



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**T É S I S**

**RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA DEL VOLCÁN  
TACANÁ PARA DESARROLLAR UN MAPA DE RIESGOS**

**P R E S E N T A**

**FELIPE MARTÍN ALBARRÁN GUERRERO**



**PARA OBTENER TÍTULO DE:  
INGENIERO TOPÓGRAFO Y GEODESTA**

**MÉXICO D.F. 2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis abuelos, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional.

A mi madre que, a pesar de nuestra distancia física, siento que está conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento es tan especial para ti como lo es para mí.

A mis tíos y hermanos que siempre han estado a mi lado en las buenas y en las malas.

Y muy en especial a mi esposa que siempre me ha impulsado con su amor a cerrar este círculo tan importante.

A mis hijos esperando sea para ellos el aliciente necesario, que los haga salir adelante y ser personas de bien.

A mis compañeros de trabajo GyMSA, Gondwana, Compañía Minera Izucar, que me apoyaron en este proyecto.

Y un agradecimiento especial a mi Director de Tesis por el gran apoyo durante la elaboración de este documento, así como a los sinodales por sus atenciones.

***“La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar”.***

**Thomas Chalmers**

# RESTITUCION FOTOGRAMÉTRICA DEL VOLCÁN TACANA PARA DESARROLLAR UN MAPA DE RIESGOS

## ÍNDICE

### INTRODUCCIÓN

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>GENERALIDADES</b>	pág. 7
1.1	El volcán Tacana	
1.2	Localización geográfica	
1.3	Antecedentes eruptivos del volcán	
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>PLANEACIÓN DEL VUELO FOTOGRAMÉTRICO</b>	pág. 10
2.1	Factores que influyen en la planeación del vuelo	
2.2	Escala de vuelo	
2.3	Distancia focal	
2.4	Cálculo de la cantidad de líneas de vuelo y fotografías	
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>APOYO TERRESTRE</b>	pág. 17
3.1	Visión Estereoscópica	
3.1.1	La Visión Humana	
3.1.2	La Percepción del Relieve	
3.1.3	Visión Estereoscópica Artificial	
3.2	Ubicación de puntos de control	
3.3	Obtención de coordenadas de los puntos de control	
3.3.1	Introducción Al Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	
3.3.2	Obtención de Coordenadas de Puntos de Apoyo	
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>AEROTRIANGULACIÓN</b>	pág. 28
4.1	Densificación de Puntos para Aerotriangulación	
4.2	Aerotriangulación	
4.2.1	Fases de la Aerotriangulación	
4.2.2	Métodos de Aerotriangulación	

<b>CAPÍTULO 5</b>	<b>RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA</b>	pág. 30
5.1	Orientación interior o Interna	
5.2	Orientación Relativa	
5.3	Orientación absoluta o Exterior	
5.4	Equipos de Restitución	
5.5	Trazo de altimetría y planimetría	
<b>CAPÍTULO 6</b>	<b>EDICIÓN Y ELABORACIÓN DE LOS MAPAS</b>	pág. 42
6.1	Elementos de un mapa	
6.2	Generación de mapas anexos	
6.2.1	Mapa altimétrico	
6.2.2	Mapa planimétrico	
6.2.2	Modelo digital de elevación	
<b>CONCLUSIONES</b>		pág. 55
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		pág. 61

**OBJETIVO DE LA TESIS:** En vista de la problemática de la zona en estudio, el presente trabajo está enfocado al desarrollo de un mapa de riesgos el cual conlleva tocar varios temas que se vieron en el transcurso de la carrera de Ingeniero Topógrafo y Geodesta.

## Introducción

Dentro de la historia de la civilización, la fotografía aparece como un invento de consecuencias incalculables. Los pintores en su análisis descubrieron las leyes de la perspectiva, la proyección cónica y la geometría proyectiva. Sin embargo, tardaron mucho tiempo en conseguirse las condiciones técnicas necesarias para resolver el problema de la conservación de las imágenes.

Con el paso del tiempo, la fotografía se ha convertido en un auxiliar para casi todas las ciencias y técnicas de la investigación.

Los usos cartográficos de la fotografía se desarrollaron pronto, pero en principio se limitaron a su empleo en sustitución de los croquis panorámicos; solo cuando fue posible la toma de imágenes desde el aire se encontró la posibilidad de aplicaciones más valiosas.

La obtención de fotografías del terreno tomadas desde el aire y apuntando directamente hacia el suelo, producen una primera impresión de sorpresa, más tarde producen un excesivo entusiasmo, y se crea la errónea sensación de que puede sustituir totalmente al mapa. Esta idea es equivocada, el mapa sigue siendo insustituible y la fotografía puede ayudar a mejorarlo, e incluso a construirlo, pero no lo sustituye, porque entre ambas imágenes hay diferencias básicas.

El estudio de las condiciones geométricas de la fotografía, pone de manifiesto que las propiedades de los puntos de la imagen respecto al terreno son totalmente distintas en fotografía y mapa. El mapa es el resultado de una proyección ortogonal y sobre él es posible medir distancias, ángulos, o calcular superficies; en la fotografía no puede hacerse nada de esto, porque sus imágenes son el resultado de una proyección cónica.

La interpretación de una imagen fotográfica aérea no es sencilla, y requiere de cierto entrenamiento. Las fotografías que llamamos oblicuas son parecidas a las imágenes que el OJO ve de forma natural cuando observa el campo desde una torre o una montaña y se entienden e identifican de forma natural; las imágenes tomadas desde la vertical son extrañas y muestran un aspecto del mundo al que él observador no está habituado, incluso cuando corresponden a una zona conocida, la simple identificación de objetos resulta trabajosa, porque corresponden a un punto de vista nuevo e inusual.

La fotografía vertical constituye una fuente de información valiosísima y casi inagotable. Hay una primera etapa, en la que el observador se limita a reconocer objetos que le son familiares (casas, árboles, puentes, parcelas, caminos etc.) de la que ya se puede obtener provecho en la revisión de mapas o en su actualización. Esta fase en la que el trabajo realizado es solo de comprobación y contraste entre realidades manifestadas en la foto y su existencia en el mapa o el terreno, puede llamarse fotoidentificación, y es ya una aportación notable, pero es solo el principio de una serie de utilizaciones de mucho mayor alcance.

Como consecuencia insensible de la fase de fotoidentificación, quien observa una foto comienza a hacer deducciones, al principio directas, después no evidentes para todos. Ya que es cierto que en los mapas ve más el que más sabe y así sucede en las fotografías, ya que cada uno distingue lo que conoce y puede apreciar cosas que están en los ojos de todos, pero que contienen un mensaje que solo algunos entienden. Esta es la fase de la auténtica fotoidentificación, en la que a la observación de los detalles se unen los conocimientos propios del observador, que le hacen capaz de deducir informaciones no perceptibles para los demás, pero que tampoco podrá percibir si antes no ha aprendido a fotointerpretar.

La otra gran utilización de la fotografía aérea es la fotogrametría, expresión cuyo significado va mucho más allá del significado etimológico de la palabra. Si la palabra “fotogrametría” hace pensar en mediciones sobre fotografía, el significado real de ésta técnica tiene mayores pretensiones. No se trata solo de medir, sino de realizar una serie sistemática de mediciones que nos lleven a la formación de mapas. En nuestros días la fotogrametría es el método topográfico habitual, que si bien no elimina por completo los trabajos de campo, los reducen en volumen y tiempo, además de mejorar la calidad.

Ciencias como la geomorfología deben su desarrollo actual a la posibilidad de disponer de mapas cuya representación del relieve no es ya convencional, sino real y exacta; un técnico forestal no se limitará a advertir un cambio de tonalidad en una masa de árboles, sino también una diferencia de humedad, o la presencia de una plaga; un geólogo no solo percibirá diferencias en la estructura del terreno, sino que en virtud de sus conocimientos podrá asegurar el tipo de roca existente; pero solo son porque se trata de temas que ellos conocen. Esta es la causa por la que no es posible la formación de fotointerpretes totales, es una tarea de equipo donde cada especialista aporta sus conocimientos para la elaboración de mapas temáticos.

Con respecto al tema que me compete desarrollar dentro de esta tesis, es la realización de un mapa que refleje las zonas de riesgos en las faldas del volcán Tacana y la descripción de las fases de la producción cartográfica para dicho fin.

Estas fases son en general las siguientes:

- Realización del vuelo fotogramétrico.
- Apoyo de campo.
- Corrección de campo.
- Restitución fotogramétrica.
- Edición de la cartografía obtenida de la restitución.
- Generación de mapa o mapas temáticos.

En primer lugar se tiene que diseñar el vuelo fotogramétrico para que cumpla con las especificaciones necesarias para realizar el trabajo. Habrá que definir las direcciones de las líneas de vuelo, la altura a la que debe volarse, la cámara que se debe usar, el tiempo entre un disparo y otro, el tipo de película y las condiciones meteorológicas más adecuadas.

Una vez realizado el vuelo, se pasa a la fase de apoyo de campo, que consiste en dar coordenadas X,Y,Z a una serie de puntos identificables tanto en fotos como en el terreno, y obteniendo de cada uno de estos puntos un croquis perfectamente entendible por el operador de restitución, para que a partir de estos se densifique el apoyo mediante métodos fotogramétricos y tener cubierto todo el mosaico fotográfico.

Posteriormente se inicia el proceso fotogramétrico que consiste en la obtención de la visión estereoscópica del terreno reflejado por cada par estereoscópico, y se inicia la restitución con el fin de extraer la información contenida en las fotografías (altimetría, planimetría) y se irá generando el mapa de la zona de estudio.

Mediante la utilización de algún software, en este caso AUTOCAD se proceda a la edición cartográfica y a la depuración de fallas provocadas por el equipo de restitución o en su defecto fallas causadas por el operador. Se integran datos necesarios como norte, cuadros de construcción, escala gráfica, nombre del cliente y la empresa que realiza el trabajo; en fin se hace lo que llamamos vestir el plano, para que quede listo para ser entregado.

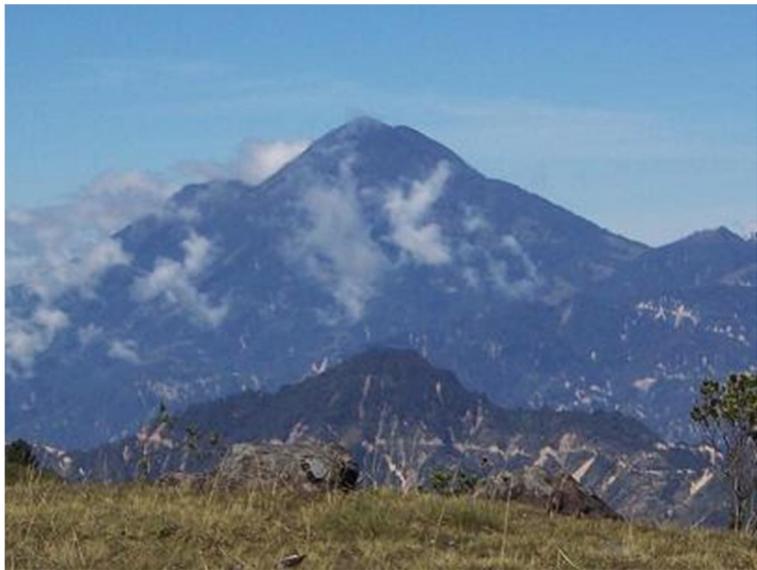
Cabe hacer mención que la finalidad del mapa que realizamos, es para apoyar en la elaboración de un mapa de riesgos desarrollado por el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México; y que la descripción de la importancia de tener como base un plano topográfico se explicará más adelante.

## CAPÍTULO I GENERALIDADES

### 1.1 El volcán Tacana

El volcán Tacana, término que significa "Casa de fuego", durante la colonia Española, el volcán era conocido como el Volcán de Soconusco. Tiene una altura de 4 092 metros sobre el nivel del mar; aún se encuentra en actividad, la última erupción fue el 8 de mayo de 1986. Además, su cráter tiene una longitud de 110 metros y una anchura de 30 metros.

El volcán está constituido por rocas de andesita de hiperstena y augita, y se eleva sobre un basamento de rocas volcánicas del Terciario y rocas ígneas de composición granítico-diorítica. En el flanco O-SO, se localiza una zona de fumarolas, con temperaturas variables entre los 82 y 94°C. Además, entre las elevaciones de 1500 y 2100 msnm se localizan manantiales termales con temperaturas que varían de 40 a 55°C, en el lugar conocido como Agua Caliente.



Cada año, en la época de Semana Santa se celebra la Confraternidad Montañista del Sureste, reuniéndose más de 100 personas en su cumbre, venidos de varios lugares: México, Guatemala, El Salvador, Honduras, Costa Rica y países invitados. Este evento es organizado por la Asociación de Excursionismo y Montañismo del Instituto Politécnico Nacional, y por la Federación de Andinismo de Guatemala, y su objetivo principal es mantener viva la llama del excursionismo.

En la región prevalece un clima cálido subhúmedo, que deriva en una flora del tipo selvático consistente principalmente en: ceiba, caoba, cedro rojo, volador y guapaque.

La fauna está compuesta básicamente por mamíferos y aves: Tlacuache, sarahuato, puerco espín y venado cola blanca; en la parte de la meseta: tepezcuintle, tigrillo, jabilí, mono, oso hormiguero, lagarto y jaguar; en las llanuras costeras: cocodrilo, tortuga y aves acuáticas.

La población más cercana al volcán y que rodea a este, es del tipo rural con una economía limitada; de aquí la necesidad de salvaguardar la integridad de los lugareños y visitantes que acuden con bastante frecuencia.

## 1.2 Localización Geográfica

El volcán Tacaná cuyas coordenadas son (15°08' N, 92°09' W; 4 092 m). El Tacaná representa uno de los límites internacionales entre la República de Guatemala y México; es uno de los volcanes activos de nuestro país y de mayor riesgo, dado que está circundado por una población cercana a los 300 000 habitantes, viviendo en un radio de 35 km de su cima.



## 1.3 Antecedentes eruptivos del volcán.

Los primeros fechamientos de material carbonizado en depósitos prehistóricos del volcán Tacaná fueron obtenidos por Espíndola et al. (1989). Estos autores fecharon en 42 000 años un depósito de flujos de bloques y ceniza en la localidad de La Trinidad. Este depósito correspondía a algunos de los depósitos más viejos del Tacaná.

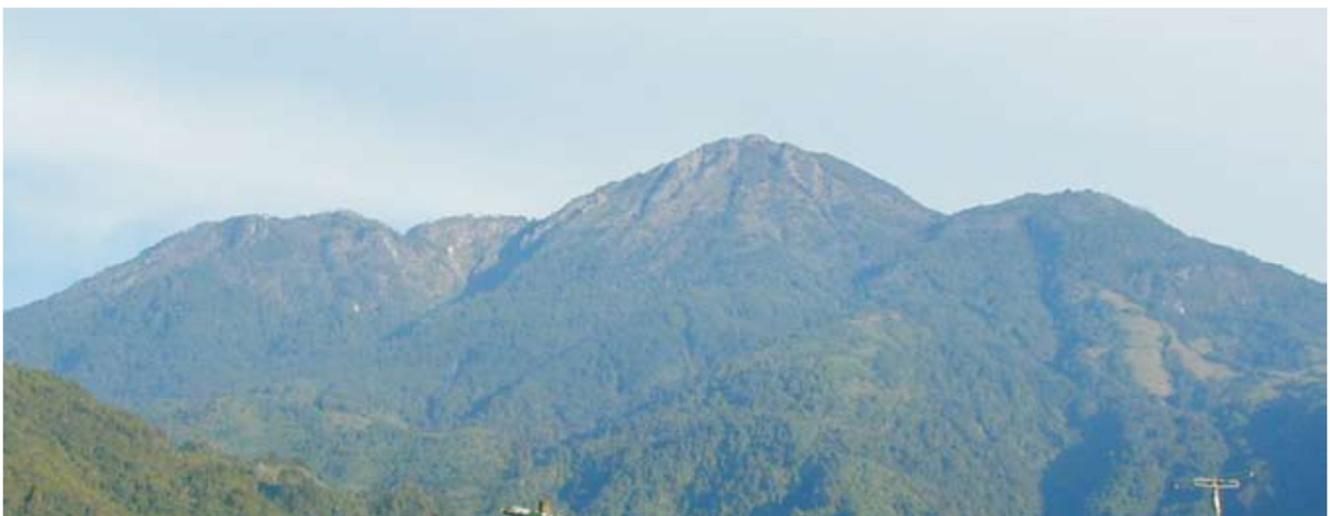
Posteriormente, Macías et al. (2000) identificaron dos erupciones ocurridas hace 10 000 y 1 950 años, lo que indicaba que el Tacaná había tenido al menos cuatro erupciones de gran magnitud durante los últimos 40 000 años. La erupción de hace 1 950 años proveniente del volcán San Antonio produjo un abanico de piroclastos. Esta erupción causó el abandono temporal del centro ceremonial de Izapa (Macías et al., 2000) ocurrido durante el primer siglo de nuestra era (Lowe et al., 1982). Las erupciones acaecidas hace 40 000, 30 000 y 1 950 años, habían sido producidas por la destrucción parcial o total de un domo central con la

generación de flujos piroclásticos de bloques y cenizas, capaces de viajar varios kilómetros y de rellenar barrancas con varios metros de espesor. Recientemente se han identificado al menos otras seis erupciones del volcán Tacaná, ocurridas hace 32 000, 28 000, <26 000, 16 000, 7 500 y 6 500 (Macías et al., 2004b; Mora et al., 2004; García-Palomo et al., 2006).

Algunas de estas erupciones no habían sido consideradas en la zonificación de peligros volcánicos (Mercado y Rose, 1992; Macías et al., 2000). Las erupciones que se presentaron hace 28 000 y 16 000 años fueron producidas por la destrucción de un domo central, por lo que se suman a las erupciones descritas anteriormente de 40 000 y 2 000 años (volcán San Antonio). Sin embargo, la erupción de 32 000 años fue un evento producido por actividad de tipo pliniana, que no había sido registrada en el volcán Tacaná, salvo una mención muy superficial en el trabajo de Mercado y Rose (1992), en donde incluían una isopaca de 2 m en el pueblo de Sibinal, Guatemala. Otra erupción sobresaliente está representada por el colapso de la porción noroccidental del volcán Tacaná, que ocurrió hace menos de 26 000 años.

Este evento produjo una avalancha de escombros que viajó 8 km hasta el río Coatán, bloqueando el drenaje de los ríos San Rafael y Chocabj. El depósito tiene un H/L de 0.35, cubre un área mínima de 8 km<sup>2</sup> y tiene un volumen mínimo de 1 km<sup>3</sup> (Macías et al., 2004b). Las erupciones fechadas alrededor de 7 500 y 6 500 años han producido flujos piroclásticos de ceniza y pómez y oleadas piroclásticas, respectivamente, cuyos depósitos cubren el cono moderno del volcán Tacaná.

Todas estas erupciones han producido lahares a lo largo de los cauces de los ríos Coatán, Cahoacán y Mixcun, los cuales drenan hacia el Océano Pacífico. En el estudio de Macías et al. (2000) se reporta que el sitio prehispánico de Izapa fue abandonado alrededor del primer siglo D.C., debido a inundaciones asociadas a la erupción Peleana, ocurrida hace 1 950 años en el Tacaná. Es muy impresionante observar que diversos depósitos de lahar de edad desconocida afloran en las zonas limítrofes de la ciudad de Tapachula (250 000 habitantes).



Panorámica del complejo volcánico de Tacaná, México-Guatemala. Vista desde el poblado de Unión Juárez hacia el NW de los edificios volcánicos de Chichuj (Ch), Tacaná (T), domo las Ardillas (DA) y San Antonio (SA).

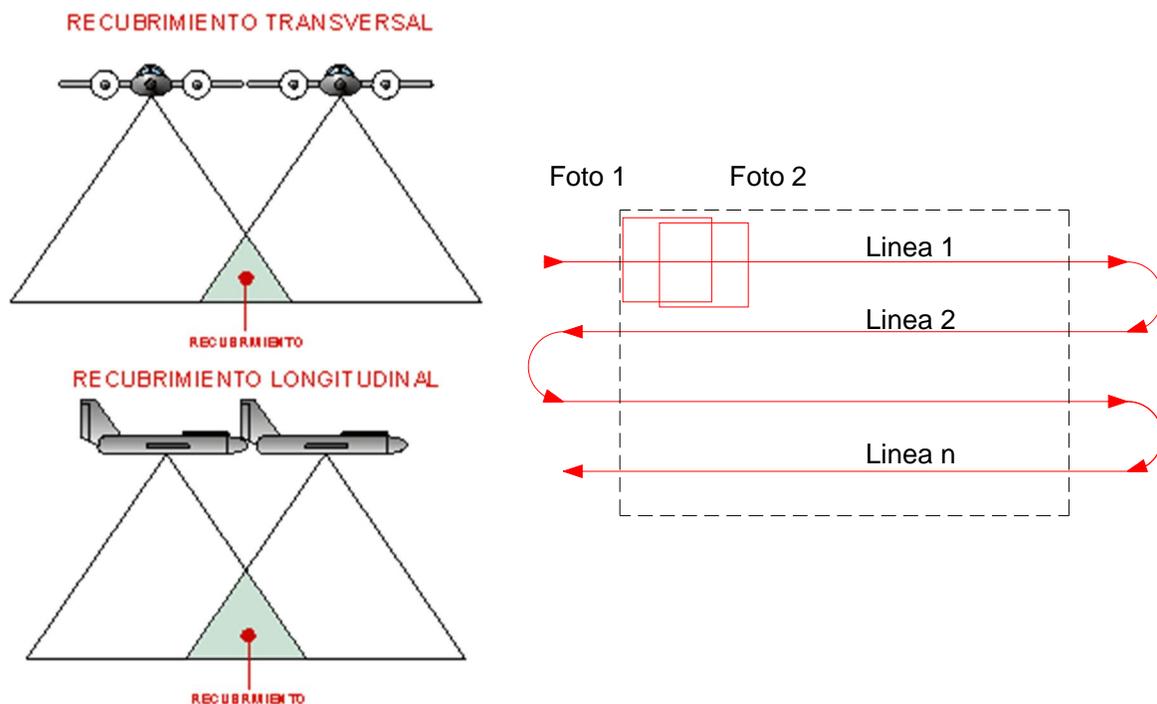
La ciudad de Tapachula está asentada en los límites de dos enormes abanicos aluviales de edad Pleistoceno-Holoceno, y entre los ríos Coatán y Cahoacán. En estos ríos ocurren inundaciones anuales y en ocasiones algunas más graves como las producidas en octubre de 2005 por el huracán Stan.

Desde un punto de vista petrológico el complejo volcánico de Tacaná está compuesto principalmente por andesitas con dos piroxenos con una asociación mineralógica de plagioclasa, augita, hiperstena+óxidos de hierro y en ocasiones hornblenda. El volcán Tacaná presenta flujos de lava basáltico andesíticos (56-61% SiO<sub>2</sub>), flujos de lava y domos andesíticos y dacíticos (61-64% SiO<sub>2</sub>), y flujos piroclásticos con líticos juveniles de composición andesítica (60-63% SiO<sub>2</sub>). El volcán San Antonio ha originado flujos de lava andesíticos y domos dacíticos (58-64% SiO<sub>2</sub>).

## CAPÍTULO II PLANEACIÓN DEL VUELO FOTOGRAMÉTRICO

La misión del vuelo fotogramétrico tiene por objeto, el sobrevolar una zona a altura y velocidad constante, describiendo una serie de trayectorias (pasadas), paralelas entre sí, mediante su control de deriva.

Dentro de una pasada, la cámara irá tomando exposiciones de terreno a un ritmo tal, que la distancia B, entre dos puntos principales consecutivos, nos aseguro el traslape longitudinal y transversal necesarios para llevar a cabo la estereoscopia.



## 2.1 Factores que influyen en la planeación del vuelo

Para la planeación del vuelo se deberán tener en cuenta las especificaciones técnicas que se refieren a la recopilación de datos, con los que se efectuará el proyecto:

1. Usuario	Gymssa Estudios de Planeación Regional
2. Zona	Volcán Tacaná
3. Escala	1:20000
4. Distancia Focal	153 mm
5. Película	Plus x 2402
6. Tipo de Cámara	Wild RC-10
7. Formato de Fotografía	23 x 23
8. Traslape Longitudinal	60% +- 5%
9. Traslape Transversal	30% +- 10%

Aparte de las especificaciones técnicas hay que tener en cuenta las siguientes exigencias para la realización plena del proyecto:

- Uso de la fotografía aérea (cuantitativo o cualitativo)
- Finalidad del producto deseado (mapa, plano o mosaico)
- Especificaciones de exactitud
- Tamaño del área a fotografiar
- Relieve existente en el área
- Escala necesaria del modelo

## 2.2 Escala del Vuelo

La escala de la fotografía se determina como una función representativa, de la misma forma en que se designa la escala de un mapa. Sin embargo, la escala de la fotografía es solo aproximada a causa de los cambios, producto de las variaciones del terreno en función de la altura de vuelo.

La escala de la fotografía viene dada por la relación:

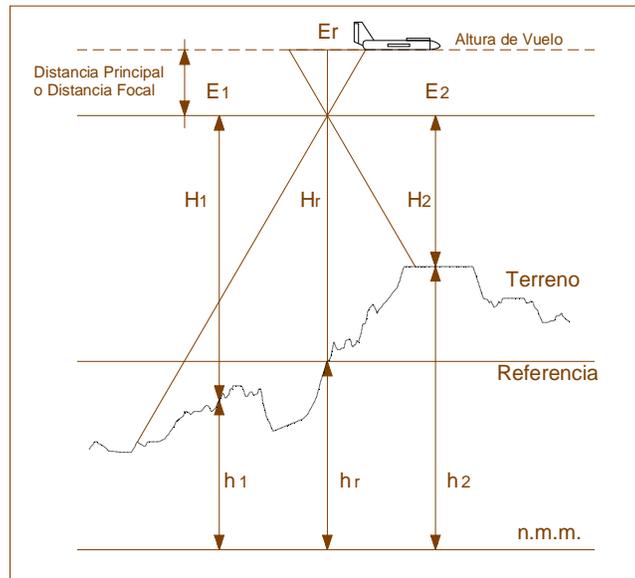
$$E = c/H$$

c = distancia principal (también f o distancia focal)

H= Altura del vuelo sobre el terreno

En un perfil de terreno no llano existirán infinitos valores de escala. Por ello al referirme a la escala de una fotografía, lo estoy haciendo a un valor medio, respecto a un plano de

referencia, elegido con el criterio de que se encuentre equidistante, entre el plano tangente a las mayores elevaciones ( $H_2$ ), y al de mayores depresiones ( $H_1$ ), donde:



$H_0$  = Altura de vuelo sobre el nivel medio del mar

$H_1$  = Altura de vuelo sobre las máximas depresiones del terreno

$H_2$  = Altura de vuelo sobre las máximas elevaciones del terreno

$H_r$  = Altura de vuelo sobre el plano de referencia

$h_1, h_2, h_r$  son las altitudes de los puntos notables del terreno y del plano de referencia.

Las escalas máximas ( $E_2$ ) y mínimas ( $E_1$ ) resultantes, deberán ajustarse lo mejor posible para que sus diferencias con la escala media ( $E_r$ ), no excedan del  $\pm 10\%$  de ésta última.

La escala aproximada de la fotografía se puede calcular, por la razón entre las distancias medias en la foto y sus correspondientes en el terreno o un plano. O bien, por el conocimiento de la altura de vuela que se registra en el altímetro de la cámara y la distancia principal de ésta.

Se debe tener en cuenta que el altímetro está referido al nivel medio del mar por lo que, para conocer la escala de una fotografía con el referido indicador, será preciso restar la altitud del plano de referencia, al valor que indica el contador altimétrico en la fotografía.

La altura de vuelo ( $H-h$ ) es la elevación en metros sobre el promedio de la altura del terreno ( $h$ ).

Sugiriendo una altura absoluta de vuelo de 5000 metros; mil por arriba de la cota máxima que se obtendrá tendremos una escala aproximada de:

$$Escala = \frac{f}{H - h}$$

- Donde:
- f      Distancia principal o distancia focal expresada en metros
  - H      Altura absoluta de vuelo expresada en metros
  - h      Cota media del terreno expresada en metros

Tendremos por lo tanto una escala de:

$$E = \frac{0.153}{5000-1740} \quad E = 1/20000$$

### 2.3 Distancia Focal

La distancia principal o distancia focal es uno de los elementos más importantes de la cámara fotográfica aérea, ya que en relación con ella se encuentran ligadas estrechamente determinadas características de la fotografía:

- a) El tipo y tamaño de la distancia principal determinará la magnitud de los desplazamientos en las imágenes fotográficas, así como el crecimiento aparente de la altura de los objetos en el modelo estereoscópico.

La distancia principal es inversamente proporcional al desplazamiento de las imágenes fotográficas:  $> c <$  desplazamiento y viceversa.

- A mayor distancia principal, el campo o ángulo de la lente fotográfica es menor, lo que ocasiona que el haz de luz de la imagen tienda a ser ortogonal.
- b) A una misma altura de vuelo la distancia principal es directamente proporcional a la escala fotográfica:  $> c >$  escala fotográfica (para misma altura de vuelo)
- A mayor distancia principal se reduce el área de cobertura; por lo tanto, al estar representado en una misma área fotográfica menor espacio de terreno, los objetos representados en la imagen aparecen de mayor tamaño.

- c) Para obtener una misma escala fotográfica, la distancia principal varía en forma directamente proporcional a la altura de vuelo:  $c > z$  (para una misma escala).
- Abarcando la misma área de cobertura se requiere mayor altura de vuelo a medida que la distancia principal es mayor. Esto se debe a que el campo visual de la lente es más perpendicular al plano del terreno.

Según la distancia principal de la cámara fotográfica, los usos más frecuentes que se hacen de ella son los siguientes:

<b><i>Tipos de cámaras aéreas</i></b>		
<b>TIPO</b>	<b>DIST. PRINCIPAL</b>	<b>APLICACIONES PRINCIPALES</b>
<b><i>Supergranangular</i></b>	88/85 mm	Levantamientos de grandes superficies a escalas pequeñas, especialmente con aviones de poco techo; vuelos especiales por debajo de las nubes. Alta precisión altimétrica.
<b><i>Granangular</i></b>	150/153 mm	Tareas universales, para triangulación aérea y levantamientos topográficos y de escalas grandes. Precisiones equivalentes en altimetría y planimetría.
<b><i>Ángulo normal</i></b>	210 mm	Fotomapas y levantamientos, cuando no puede utilizarse el tipo de ángulo normal, por ej.: por no adecuarse a los restituidores existentes.
<b><i>Ángulo estrecho</i></b>	300/305 mm	Fotoplanos, ortofotos, levantamientos de precisión, mapas básicos urbanos (disminución de espacios muertos). Altas precisiones planimétricas.

## 2.4 Cálculo de la cantidad de líneas de vuelo y fotografías

De acuerdo con los conceptos antes mencionados y a través del siguiente ejercicio trato de hacer notar cómo se realiza el cálculo de los incisos 2.4 al 2.6.

### a) Abarcamiento total de cada Fotografía en el Terreno

Si multiplicamos el denominador de la escala por el formato de las fotografías (  $s$  ) tendremos la distancia en metros que abarcará cada una de nuestras fotografías aéreas y le llamaremos  $S$ .

$$S = 20000 * s$$

$$S = 20000 * 0.23 \text{ mts}$$

$$S = 4600 \text{ mts}$$

Donde 20000 está dada por el denominador de la escala y 0.23 es el formato de la fotografía, recordemos que estas son a un tamaño de 23 x 23 cm. Lo que implica que abarcaremos una distancia de 4600 metros de terreno en cada exposición, en sentido horizontal o vertical a esta escala.

### b) Distancia entre Líneas de Vuelo (D)

Ahora bien si multiplicamos el abarcamiento por 0.7 considerando que tenemos un traslape transversal del 30 %.

$$D = S * 0.7$$

$$D = 4600m (0.7)$$

$$D = 3220 \text{ m}$$

La distancia entre nuestras líneas de vuelo será de 3220 mts.

### c) Avance entre Fotografía y Fotografía (a)

Para este avance y recordando también que el traslape longitudinal es del 60% lo que abarcaremos entre fotografía y fotografía es de:

$$a = S * 0.40$$

$$a = 4600m (0.4)$$

$$a = 1840 m$$

#### d) Cantidad de Líneas de Vuelo (No. L)

La cantidad de líneas de vuelo está dada por el cociente entre el ancho de la zona ( l ) y la distancia entre líneas de vuelo.

$$No. L = \frac{l}{D}$$

l : Ancho de la zona de estudio en metros.

$$No. L = \frac{35000m}{3220}$$

$$No. L = 10.86$$

Lo que implica que se volarán 11 líneas de vuelo para cubrir el ancho de la zona de estudio.

#### e) Cantidad de Kilómetros Lineales (Km)

Está dada por el largo de la zona de estudio y multiplicada por la cantidad de líneas de vuelo (cabe hacer mención que no todas las líneas de vuelo tendrán forzosamente la misma distancia, habrá que analizarlas previamente en una carta topográfica).

$$Km = L(No. L)$$

L : Largo de la zona de estudio dado en metros.

$$Km = 30 (11) = 330 \text{ Kilómetros}$$

#### f) Cantidad de Fotografías (Fotos)

Se dividen los Kilómetros lineales obtenidos entre el avance de fotografía y fotografía.

*FOTOS = 330/1.840*

***FOTOS = 179 Fotografías***

Por lo tanto podemos entender que nuestro proyecto lo desarrollaremos a través de la restitución fotogramétrica de alrededor 90 pares estereoscópicos.

**NOTA IMPORTANTE:** Cabe hacer notar que el trabajo se propuso desarrollar bajo los términos anteriormente mencionados, pero las condiciones económicas y de tiempo no permitieron por parte del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (El Cliente); llevarlos a cabo.

Se trabajo con material fotográfico escala 1:50,000 y por lo tanto adecuándonos a esto tenemos los siguientes puntos:

- |  |                        |
|--|------------------------|
| 1. Abarcamiento total de cada fotografía | <b>S= 11500 m</b>      |
| 2. Distancia entre líneas de vuelo       | <b>D= 8050 m</b>       |
| 3. Avance entre foto y foto              | <b>a= 4600 m</b>       |
| 4. Cantidad de líneas de vuelo           | <b>No. L= 3 Líneas</b> |
| 5. Cantidad de kilómetros lineales       | <b>L= 74 200 Km</b>    |
| 6. Cantidad de fotografías               | <b>FOTOS= 18</b>       |

## **CAPÍTULO III APOYO TERRESTRE**

### **3.1 Visión Estereoscópica**

#### **3.1.1 La visión humana**

El conocimiento del mundo circundante, la percepción de los objetos y la estimación de distancias, actividades básicas del ser humano, está dado principalmente por el sentido de la vista, considerado en conjunto como la visión. El fenómeno de la visión es un proceso complejo, que consiste, a grandes rasgos, en captar a través de los ojos la energía procedente de una fuente emisora, transmisora o reflectora de radiaciones luminosas. La energía puede ser cuantificada en esta etapa mediante el uso de la óptica y la fotometría y convertida en señales neurobiológicas. El proceso termina con la interpretación y la comprensión de la señal inicial, es decir, la percepción del mundo que nos rodea.

### 3.1.2 La percepción del relieve

El sistema visual humano posee la capacidad de percibir el relieve mediante el uso de mecanismos tanto psicológicos como fisiológicos, según la visión sea monocular o binocular, respectivamente. Así pues, la percepción del relieve presenta un doble aspecto; en primer monocular, ya que estamos en capacidad de reconstituir el espacio a partir de la visión obtenida a través de un solo ojo, y siguiente y con especial relevancia binocular, ya que al mirar simultáneamente con ambos ojos se obtiene la visión estereoscópica, la cual nos permite apreciar realmente el relieve, en forma independiente de la visión monocular.

**La visión monocular.** Nos da la visión de relieve haciendo uso de mecanismos psicológicos, que tienen su origen en numerosas informaciones que el sentido de la visión posee, producto de la experiencia. Entre estos tenemos:

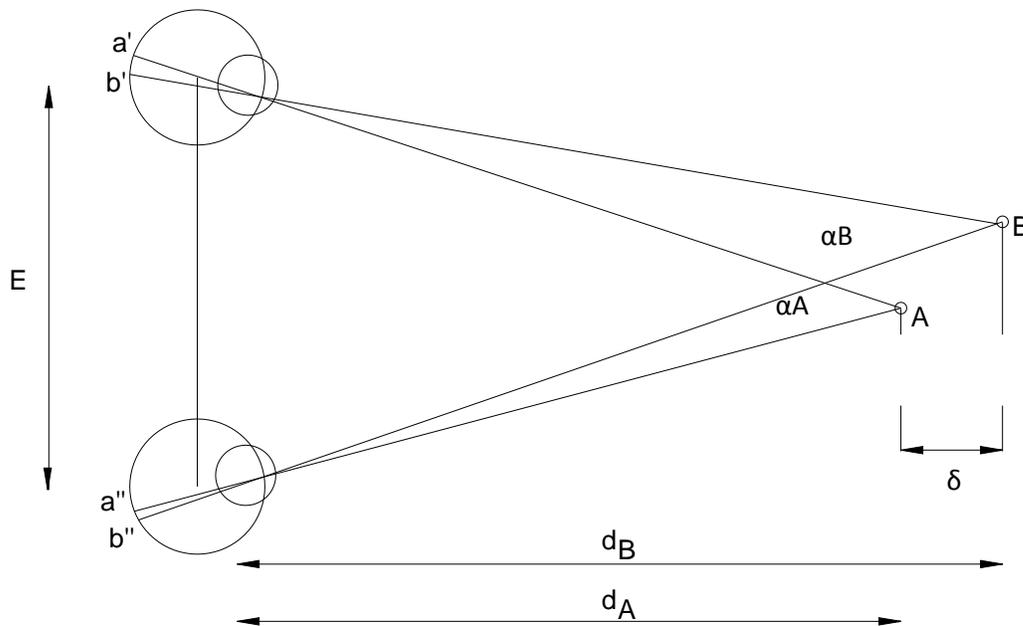
- El tamaño relativo de los objetos
- El grado de detalles o nitidez que posee un objeto
- El desplazamiento relativo de los objetos
- La perspectiva
- La decoloración de los objetos
- Las sombras
- Diferencias en el enfoque del ojo

**La visión binocular.** En este tipo de visión ambos ojos observan la misma escena u objeto, pero desde un punto de vista ligeramente diferente, ya que están separados por una distancia que es, en promedio, de 65 mm, denominada ***distancia interpupilar***. Esta diferencia de posición hace que cada ojo posea una vista ligeramente diferente de la visada. Estas diferencias son procesadas por el sentido de la visión y el resultado del mismo es la sensación de relieve, la cual puede variar ligeramente entre los individuos, dependiendo de la distancia interpupilar y de las características propias de su visión.

**La visión estereoscópica.** La visión estereoscópica (esteropsis) es la visión que implica la percepción de la distancia y la profundidad, así como la altura y la anchura de los objetos. Esta visión se debe en gran parte a la distancia entre las pupilas de los ojos. Los objetos que están más cerca producen imágenes en las retinas ligeramente diferentes. Es decir, el ojo derecho ve un poco más de un lado de un objeto, mientras que el ojo izquierdo ve un poco más de la otra parte. Estas dos imágenes son de alguna manera superpuestas e interpretadas por la corteza visual del cerebro, y el resultado es la percepción de un objeto en tres dimensiones.

Esta visión estereoscópica se logra mediante mecanismos fisiológicos siendo éstos los siguientes:

- **Acomodación:** Es la tensión del músculo que cambia la curvatura del cristalino, y por ende, la distancia focal del mismo. Como la tensión se hace mayor este mecanismo solo es útil para distancias cortas.
- **Convergencia:** Es el ángulo formado por la intersección de los ejes ópticos de los ojos. Este mecanismo también es solo válido para objetos cercanos.
- **Paralaje:** Si un lápiz es mantenido a 30 cm de la distancia de los ojos, frente a un determinado objeto ubicado en el fondo, y haciendo énfasis en éste, se cierran y abren alternadamente ambos ojos, en rápida sucesión, se tiene la sensación de que el lápiz se desplaza con respecto al objeto. Si se enfoca ahora alternativamente el lápiz y el objeto, se tiene la impresión de que los objetos se encuentran a distancias diferentes.



Esquema de las trayectorias visuales

La diferencia en la retina, de los ángulos de convergencia, es el paralaje relativo entre los dos objetos, es decir  $a'-a''$  y  $b'-b''$ . Esta diferencia en paralaje es el factor más importante para la percepción del relieve. Al igual que para la estimación de la distancia, su límite está en un minuto de arco. Esto significa que la visión estereoscópica puede apreciar diferencias en profundidad de hasta 0.075 mm.

### 3.1.3 Visión estereoscópica artificial.

En la fotogrametría se hace uso de la visión estereoscópica para la observación de los pares estereoscópicos, donde los paralajes, relativamente grandes, son producidos mediante los métodos de toma de vistas.

Ya que cada ojo observa en su retina direcciones hacia puntos, se puede reemplazar la visión tridimensional del entorno natural superponiendo delante de cada ojo una fotografía que

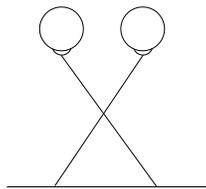
contenga las mismas direcciones dadas por la visión natural del entorno, ya que al existir los mismos paralajes, se producirán en la visión los mismos mecanismos de percepción que dan origen a la visión estereoscópica. La observación independiente de cada ojo sobre su respectiva fotografía da origen entonces a un modelo tridimensional del terreno en la mente del observador.

Los requisitos para realizar la visión estereoscópica son los siguientes:

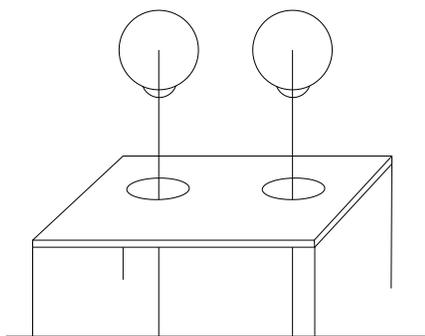
- A cada ojo hay que presentarle una imagen que cubra un área común y que presente paralaje con respecto a la que observa el otro ojo.
- Los rayos visuales hacia puntos homólogos deben intersectarse en el espacio de dos en dos. Esto significa que la observación debe realizarse según planos epipolares es decir, que los rayos epipolares homólogos estén sobre la misma recta.
- Los puntos más lejanos de ambas imágenes no han de tener una separación mayor que la distancia interpupilar del observador, o a la base de visión del aparato utilizado.

**Formas de visión estereoscópica artificial.** Existen tres formas de crear el efecto tridimensional, en base a los ejes de convergencia de la visión, clasificándose en:

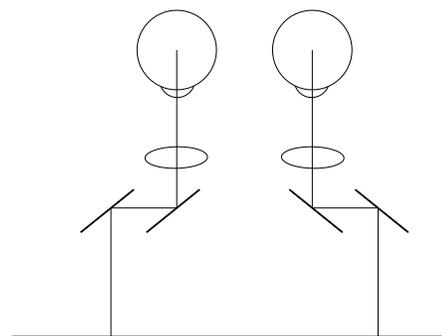
- **Ejes cruzados.** Casi no se utiliza en la práctica o solo para personas experimentadas ya que se tiene que hacer a ojo desnudo (sin ningún otro dispositivo). Anteriormente se usó en aparatos restituidores que poseían el llamado paralelogramo de Zeiss, actualmente en desuso.



- **Ejes paralelos.** Esta modalidad es la más utilizada, tanto en los estereoscopios como en la mayoría de los aparatos restituidores, en la cual la óptica obliga a los ojos a mantener los ejes de la visión paralelos entre sí.



Estereoscopio de Bolsillo

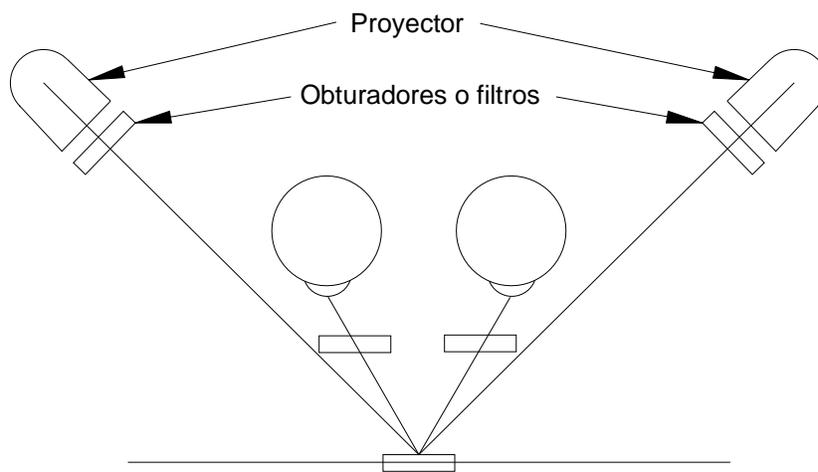


Estereoscopio de Espejos

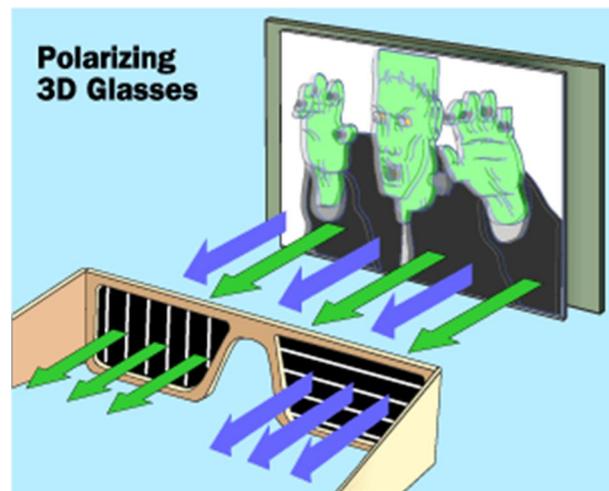
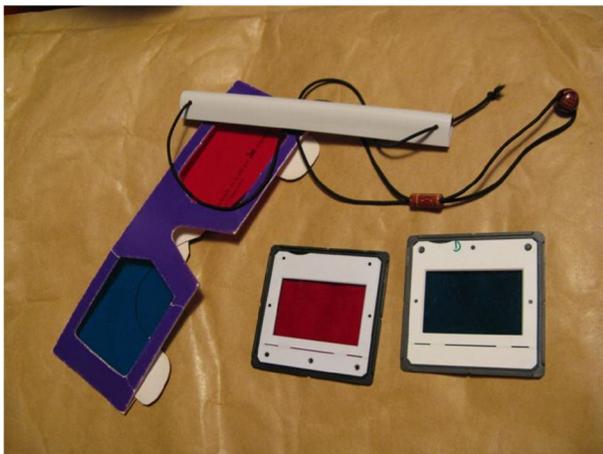
- **Ejes convergentes.** En este caso la estereoscopia se consigue por medios que transmiten a cada ojo su respectiva imagen, impidiendo la visualización de la otra imagen.

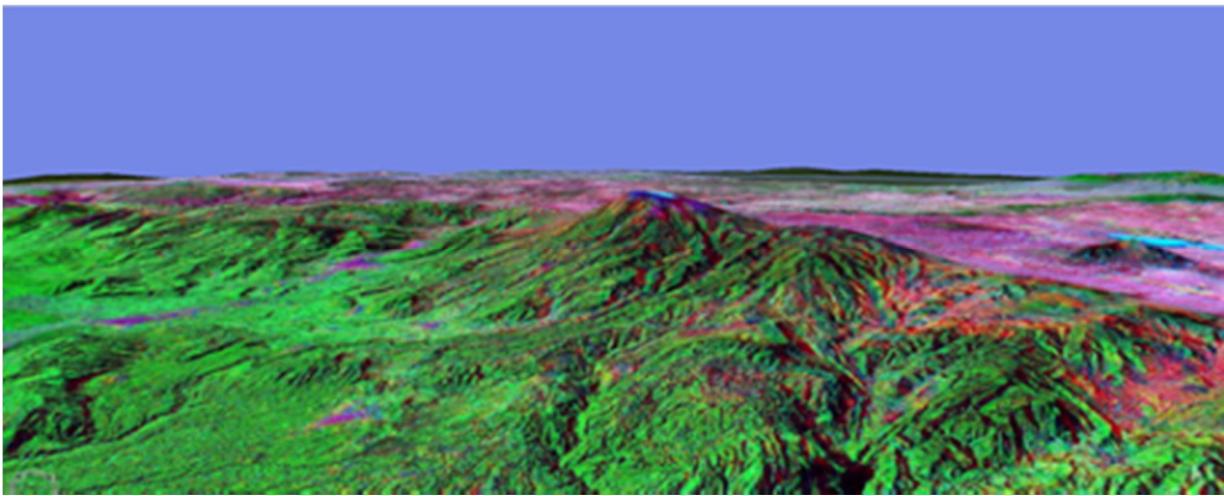
La visión mediante ejes convergentes puede realizarse mediante tres formas posibles para controlar la visualización: **Anaglifos** que utilizan filtros de colores primarios (azul y rojo ó verde y rojo) para la proyección de la diapositiva y para su observación.

**Filtros polarizados** con una rotación de 90°, entre los filtros de la izquierda y los de la derecha. **Obturadores sincronizados** se hace uso del principio de retención de una imagen en la retina durante un lapso de tiempo (alrededor de 1/30 seg). El obturador del proyector izquierdo deja pasar la luz, al igual que el obturador de observación izquierdo, mientras que los de la derecha permanecen cerrados; una fracción después, se abren los derechos y se cierran los izquierdos.



Estereoscopio de Ejes Convergentes

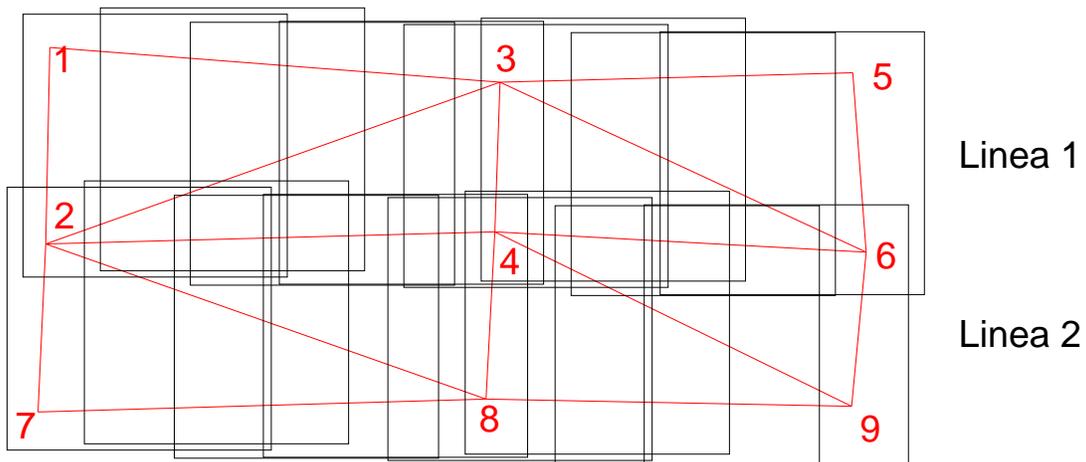




### 3.2 Ubicación de Puntos de Control

Para hacer corresponder el vuelo fotogramétrico con el terreno, a través de las fotografías obtenidas; es necesario llevar a cabo lo que llamamos apoyo terrestre. Este consiste en ubicar estratégicamente puntos de terreno (cruces de caminos, esquinas de linderos, pequeños arbustos, etc.) fotoidentificándolos en las fotografías a lo largo de las líneas de vuelo, directamente en campo para ser posicionados vía gps (Sistema de Posicionamiento Global) o bien mediante una serie de levantamientos topográficos tradicionales que nos permitan determinar con toda precisión las coordenadas de dichos puntos.

La cantidad de estos puntos será a criterio pero más o menos son dos puntos cada 3 a 4 modelos o pares estereoscópicos consecutivos, cuidando que nuestra triangulación sea lo más rígida posible. Como podemos observar en la siguiente figura.



En el momento de llevarse a cabo la medición de los puntos de control, deberá marcarse en la fotografía correspondiente la ubicación del punto que se está levantando mediante un pinchazo de alfiler, aguja y etiquetarse con la numeración preestablecida de acuerdo a la posición donde se encuentre el punto dentro de la foto.



- 17 Indica la Línea de Vuelo
- 1 Indica punto superior en la foto
- 2 Indica punto inferior en la foto
- 23 Indica número de fotografía en la línea

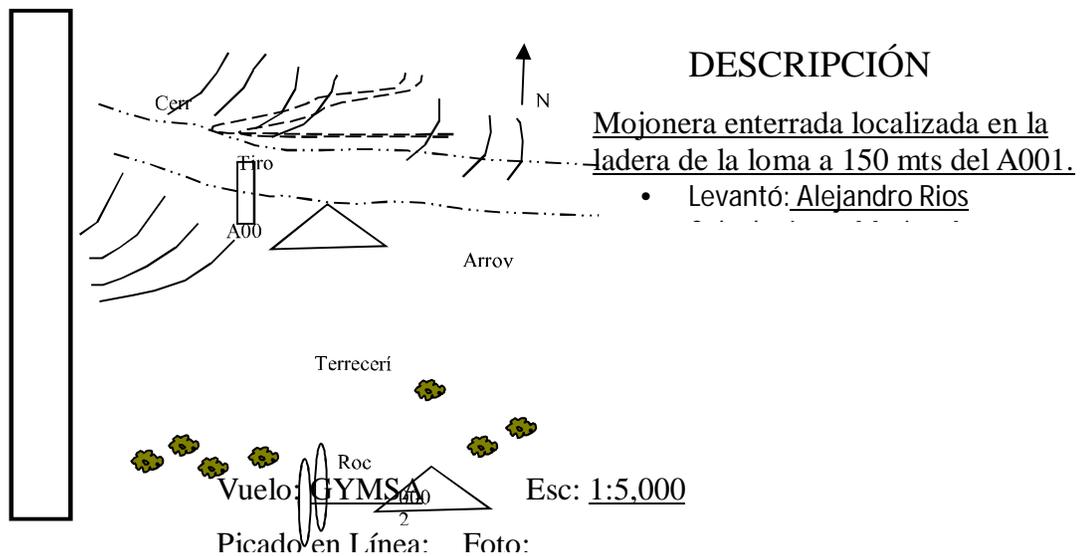
El levantamiento de estos puntos de control deberá ir acompañado de un croquis elaborado en campo, el cual contenga referencias importantes, orientación y observaciones durante el proceso del levantamiento (fecha, lugar, número de punto y nombre de quien lo levantó). Así como fotografías del lugar por lo general una panorámica y otra de acercamiento.

**GOLDEN TRUMP RESOURCES, S.A. DE C.V.**  
**LEVANTAMIENTO GEODÉSICO – TOPOGRAFICO REALIZADO EN EL**  
**PROYECTO EL AGUILA, OAXACA**

VÉRTICE: A002 PANORAMICA

FECHA: 1 MARZO 2004





### 3.3 Obtención de Coordenadas de los Puntos de Control

El sistema de posicionamiento global mediante satélites (*GPS*), supone uno de los avances tecnológicos más importantes de las últimas décadas y nos sirve para proporcionar estimaciones precisas de posición, velocidad y tiempo. En el ámbito civil y por razones de seguridad solo se permite el uso de un subconjunto degradado de señales GPS. Sin embargo se han encontrado alternativas para obtener una excelente precisión en la localización mediante las denominadas técnicas diferenciales.

#### 3.3.1 Introducción al Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

GPS es la abreviatura de Global Positioning System y utiliza la constelación NAVSTAR, siendo el acrónimo en inglés de **NAV**igation **S**ystem for **T**ime **A**nd **R**anging, traducido como Sistema de Posicionamiento Global.

La metodología se basa en la determinación de la posición de puntos sobre la superficie, apoyándose en la información radioeléctrica enviada por los satélites.

El GPS es un sistema basado en satélites artificiales activos, formando una constelación con un mínimo de 24 de ellos. Permite diferentes rangos de precisión según el tipo de receptor utilizado y la técnica aplicada.

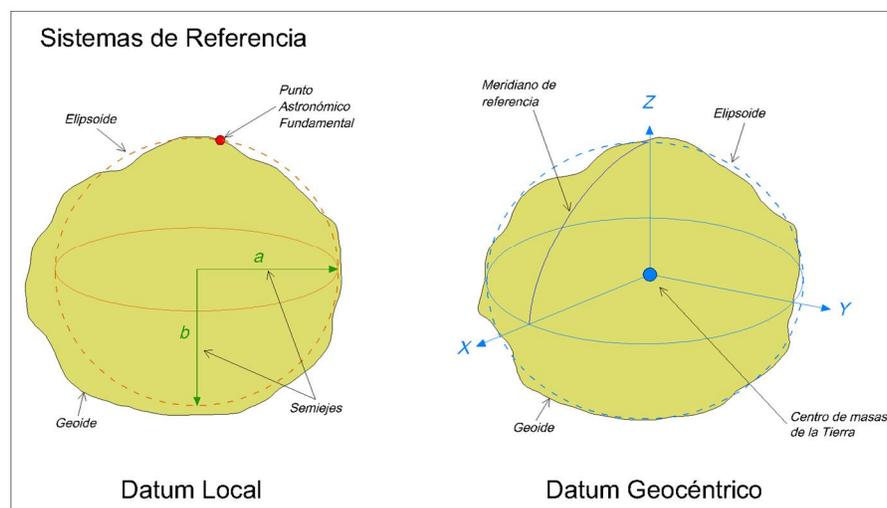
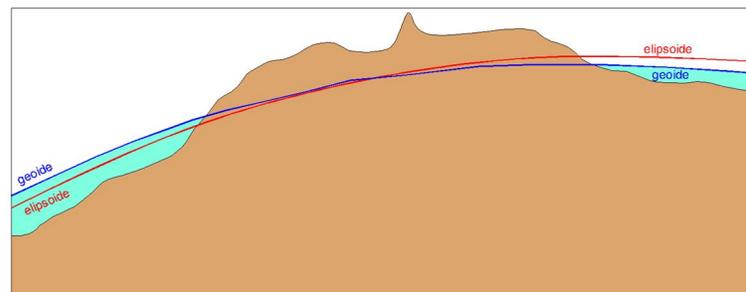
El sistema de referencia asociado se conoce como *World Geodetic System (WGS)*. El primer elipsoide global de referencia se estableció en 1960, hasta la versión actual denominada

WGS84. Sobre este sistema de referencia se obtienen las coordenadas cartesianas o polares del punto en el que se ha realizado la observación.

Al calcular la posición de un punto por métodos de posicionamiento GPS deberemos tener en cuenta que éstas lo son con respecto al sistema geodésico de referencia WGS84 y que han de hacerse las oportunas observaciones y transformaciones, que nos permitan obtener los resultados en el sistema de coordenadas deseado.

En altimetría la ondulación del geode (N) es la distancia existente entre el elipsoide de referencia y el geode, medida sobre la normal geodésica. Este es el parámetro que nos permitirá relacionar alturas elipsoidales y ortométricas.

Recordemos que el geode es la superficie equipotencial del campo gravitacional que cubre por completo el globo, por debajo de la topografía continental, y que en cualquiera de sus puntos es perpendicular a la línea de la plomada o la dirección de la gravedad.



### 3.3.2 Obtención de Coordenadas de Puntos de Apoyo

La formación de un modelo estereoscópico, que se realiza mediante las operaciones que conforman la fase de orientación absoluta en la fotogrametría, necesita el conocimiento de las coordenadas terrestres de puntos de las fotografías para poner a escala y nivelar el modelo.

Los trabajos topográficos necesarios para la determinación de las coordenadas planimétricas y altimétricas de estos puntos es lo que llamamos **apoyo de campo**.

El apoyo de campo o terrestre son puntos de control horizontal y vertical a través de los cuales es posible referir las imágenes al terreno como ya lo comente anteriormente; dicho apoyo se divide en puntos de control básico (apoyo terrestre) y puntos de control fotogramétrico.

Dichos puntos de apoyo deberán estar ligados a una red geodésica o topográfica ya existente y servirá de base para la determinación de los puntos de apoyo fotogramétrico.

Para el caso específico de los puntos de apoyo para el proyecto del Volcán Tacaná, se eligieron puntos perfectamente identificables tanto en las fotografías aéreas como en las cartas topográficas 1:50,000 de la zona (D15B43 "PAVENCUL" y D15B53 "TAPACHULA").

Cabe recordar que los puntos antes mencionados se tomaron como si fuera el apoyo terrestre dado a las fotografías aéreas, ya que el cliente por cuestiones de economía no pudo pagar el apoyo terrestre con gps; por lo tanto se le sugirió obtener las coordenadas de manera gráfica.

No. De Punto	X	Y	Z	TIPO
1	1,666,130.00	589,840.00	1080.00	AEROTRIANGULADO
2	1,664,530.00	584,045.00	450.00	AEROTRIANGULADO
11	1,679,137.25	582,965.13	2647.46	AEROTRIANGULADO
12	1,679,861.36	594,354.87	2074.14	AEROTRIANGULADO
13	1,682,360.53	582,999.89	2516.75	AEROTRIANGULADO
14	1,683,263.54	589,849.72	2841.14	AEROTRIANGULADO
15	1,682,910.39	594,972.77	2277.67	AEROTRIANGULADO
16	1,686,261.21	589,788.50	3170.32	AEROTRIANGULADO
17	1,685,711.05	583,146.08	2641.09	APOYO
18	1,686,545.28	594,980.04	2840.56	APOYO
19	1,664,750.00	577,000.00	520.00	AEROTRIANGULADO
20	1,665,920.00	572,830.00	215.00	AEROTRIANGULADO

3	1,665,450.00	595,700.00	1275.00	AEROTRIANGULADO
21	1,658,800.00	572,360.00	175.00	APOYO
22	1,658,500.00	576,625.00	385.00	AEROTRIANGULADO
23	1,658,995.00	584,950.00	435.00	APOYO
24	1,672,550.00	571,795.00	550.00	APOYO
25	1,672,180.00	577,825.00	945.00	AEROTRIANGULADO
26	1,674,600.00	572,125.00	880.00	AEROTRIANGULADO
27	1,675,170.00	577,050.00	860.00	AEROTRIANGULADO
28	1,678,675.00	572,350.00	1290.00	AEROTRIANGULADO
29	1,678,550.00	577,660.00	1565.00	AEROTRIANGULADO
30	1,682,360.00	572,650.00	1825.00	AEROTRIANGULADO
4	1,672,170.00	589,530.00	1890.00	AEROTRIANGULADO
31	1,682,800.00	577,850.00	2400.00	AEROTRIANGULADO
32	1,685,460.00	571,700.00	2150.00	APOYO
33	1,685,645.00	578,100.00	2410.00	AEROTRIANGULADO
34	1,679,050.00	601,310.00	2960.00	AEROTRIANGULADO
35	1,679,400.00	606,425.00	2900.00	APOYO
36	1,675,440.00	602,390.00	2470.00	AEROTRIANGULADO
37	1,675,820.00	606,560.00	2400.00	AEROTRIANGULADO
38	1,672,655.00	601,500.00	2865.00	AEROTRIANGULADO
39	1,672,160.00	606,110.00	1750.00	APOYO
40	1,668,660.00	595,600.00	1950.00	AEROTRIANGULADO
5	1,672,105.00	594,810.00	3670.00	APOYO
41	1,668,950.00	601,930.00	1730.00	AEROTRIANGULADO
42	1,668,750.00	606,530.00	1985.00	AEROTRIANGULADO
43	1,664,875.00	601,275.00	1725.00	AEROTRIANGULADO
44	1,665,040.00	605,320.00	2482.00	AEROTRIANGULADO
45	1,661,700.00	596,110.00	845.00	APOYO
46	1,661,920.00	601,020.00	1235.00	AEROTRIANGULADO
47	1,661,890.00	607,410.00	1200.00	AEROTRIANGULADO
49	1,659,200.00	600,700.00	635.00	AEROTRIANGULADO
49	1,658,730.00	594,925.00	600.00	AEROTRIANGULADO

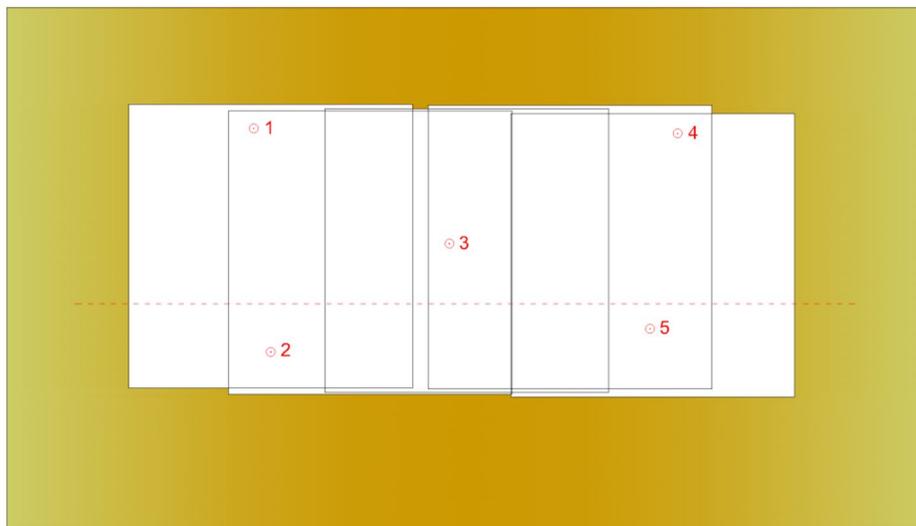
50	1,659,475.00	606,850.00	990.00	APOYO
6	1,672,100.00	584,260.00	1340.00	APOYO
7	1,675,971.74	588,286.47	971.90	AEROTRIANGULADO
8	1,675,701.78	582,656.22	1831.12	AEROTRIANGULADO
9	1,676,514.83	595,013.02	2390.40	AEROTRIANGULADO
10	1,679,369.61	589,749.84	1856.20	AEROTRIANGULADO

## CAPÍTULO IV AEROTRIANGULACIÓN

### 4.1 Densificación de puntos para la aerotriangulación

Los puntos de control básico o terrestre constituyen la referencia a partir de la cual se propagan las coordenadas a los puntos de control fotogramétrico (vértices geodésicos, bancos de nivel, estaciones fijas etc.) El control fotográfico son puntos identificables en la fotografía que sirven de control para las operaciones de fotogrametría.

Geoméricamente se demuestra que tres puntos son necesarios para determinar un plano, sin embargo para trasladar la figura cuadrada de las fotografías aéreas a su proyección plana correspondiente, el número de puntos utilizados es de por lo menos cuatro, que deben estar perfectamente situados cerca de las esquinas garantizando que puedan estar contenidos tanto en los modelos anteriores, posteriores, en la línea superior e inferior.



DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS DE APOYO TERRESTRE QUE SERVIRÁN DE BASE PARA LA DENSIFICACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL, MEDIANTE LA AEROTRIANGULACIÓN.

Los puntos de apoyo fotogramétrico pueden marcarse antes del vuelo, de tal manera que una vez realizado este; en las fotografías aparezcan señalizados. Pero es más frecuente

seleccionarlos y observarlos después de realizado el vuelo. Es de suma importancia elegir como tales puntos aquellos que sean claramente identificables, como pueden ser cruces de caminos, cercas, pequeños arbustos, etc.

Los puntos elegidos se marcarán con ayuda de un equipo especializado de tal manera que se realice simultáneamente en ambas fotografías del par estereoscópico.

El posterior cálculo de coordenadas determinará la posición planimétrica exacta de cada punto y también su cota, a la escala prevista para la restitución.

## **4.2 Aerotriangulación**

Es la técnica de interpolación que tiene como finalidad extender fotogramétricamente el control horizontal y vertical (apoyo terrestre) proporcionado por un número mínimo de puntos de control, a todos los modelos estereoscópicos.

### **4.2.1 Fases de la aerotriangulación**

El proceso de aerotriangulación usual consta de las siguientes fases:

1. Preparación del bloque donde generalmente se seleccionan las imágenes fotográficas, definimos las pasadas, se analizan los recubrimientos (longitudinales y transversales) y se recopila la información de las cámaras y puntos de apoyo.
2. Determinación de los puntos de paso (también llamados de aerotriangulación), que son aquellos puntos de conexión de imágenes pertenecientes al bloque. Esta fase se divide en tres operaciones:
  - Identificación y selección de puntos de paso y asignación de nombres o números de identificación.
  - Transferencia de puntos homólogos mediante un transferidor de puntos (puk).
  - Medición de las coordenadas imagen de los puntos de paso. La transferencia y medición de puntos puede llevarse a cabo monoscópica o estereoscópicamente, en restituidores analíticos o digitales, y de manera manual o automática.
3. Medición de las coordenadas imagen de los puntos de apoyo en todas las imágenes en las que aparezcan.
4. Compensación del bloque, a partir de cualquiera de los métodos de compensación existentes. Esta fase lleva asociada labores de corrección y análisis de los datos, detección de errores mayores, depuración de los resultados y determinación de parámetros.

## 4.2.2 Métodos de aerotriangulación

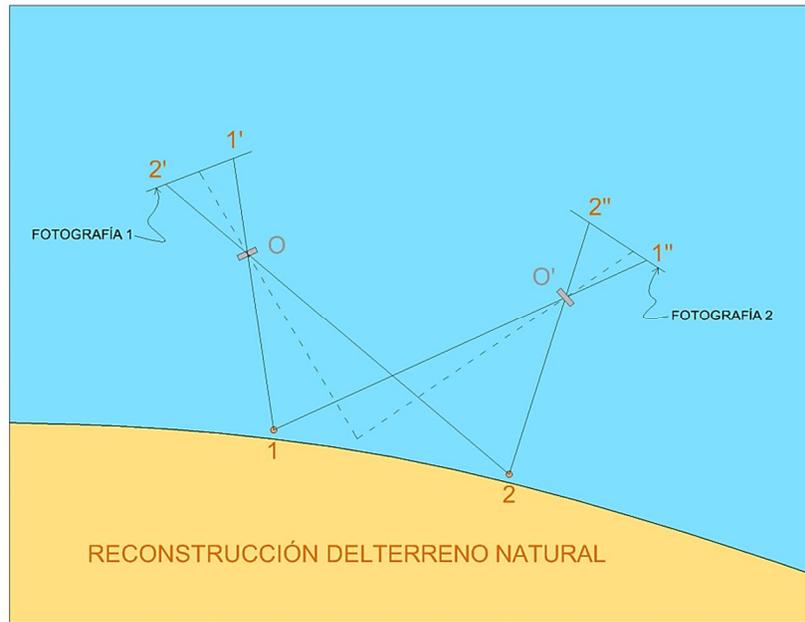
- a) Aerotriangulación por modelos independientes. La unidad de trabajo es el modelo formado por fotografías consecutivas y se condiciona a que una vez formado el modelo se observan las coordenadas de dicho modelo.
- b) Aerotriangulación por el método de haces de rayos. En este caso la unidad de trabajo es la fotografía. Se trata de un método de intersección inversa espacial. A partir de la reconstrucción del haz de rayos que representa la fotografía al realizar la orientación interna, se observan las fotocoordenadas de los puntos de paso y de los puntos de apoyo de campo que aparecen en la imagen con el fin de obtener las coordenadas del centro de proyección y su orientación en el espacio.

La manera de numerar los puntos de control, es con el único fin de tener organizada la información y una de las formas es aquella que contenga el número de línea de vuelo, número de fotografía en la línea; si se trata de un punto superior (1), central (0),o inferior (2) por ejemplo:



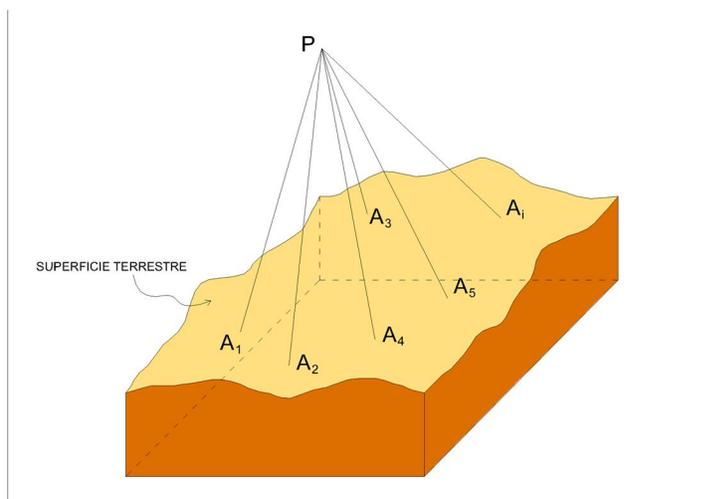
## CAPÍTULO V RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA

Mediante los procedimientos propios de la fotogrametría aérea se pretende extraer datos e información precisa a partir de pares de fotografías (pares estereoscópicos), reconstruyendo el terreno fotografiado.



Los resultados de esta metodología, que incluyen la transformación de la proyección cónica del terreno (fotografía) en una proyección ortogonal, nos permitirán la determinación cuantitativa de magnitudes geométricas como pueden ser coordenadas, longitudes, superficies, determinación de modelos digitales del terreno (MDT), volúmenes, elaborar planos y levantamientos topográficos de una parte de la superficie terrestre.

Este planteamiento implica conocer conceptos propios de la geometría descriptiva, y nociones matemáticas que se tratarán de explicar a continuación:



HACES PERSPECTIVOS DE LOS DIFERENTES PUNTOS DEL TERRENO, DESDE UN PUNTO DE VISTA EN PARTICULAR.

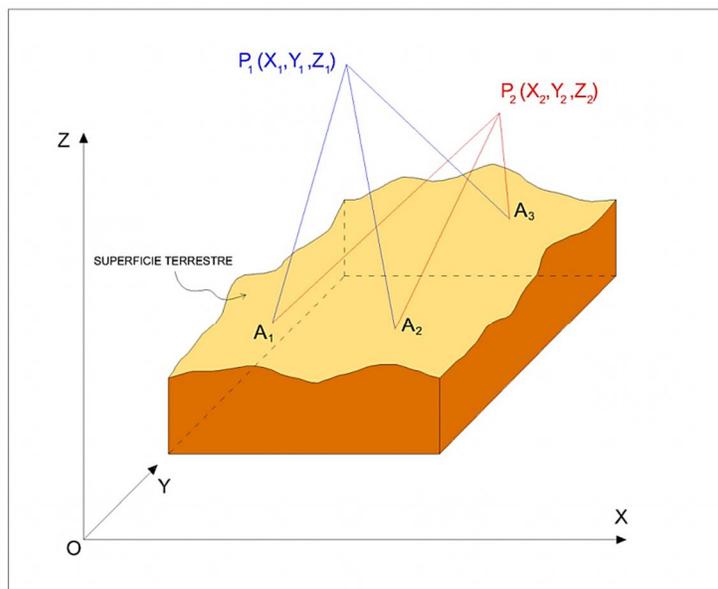
Donde: **P** Punto de vista  
**S** Superficie o área analizada

**A<sub>i</sub>** Puntos sobre la superficie del terreno

**PA<sub>i</sub>** Rayo perspectivo, cada una de las semirectas definidas. Al conjunto finito o infinito de estas rectas se denomina haz perspectivo.

Con este sencillo planteamiento el haz perspectivo queda determinado si se conoce el punto de vista **P** y la superficie **S**, sin embargo el conocimiento del haz y del punto de vista no permiten definir por si mismos la superficie.

Por tal motivo considerando ahora la intersección de dos haces perspectivos, respecto a dos puntos de vista distintos  $P_1(X_1, Y_1, Z_1)$  y  $P_2(X_2, Y_2, Z_2)$ , a cada punto  $A_i$  le corresponden dos rayos, desde  $P_1$  y  $P_2$  únicos denominados rayos homólogos.



LOS HACES PERSPECTIVOS DE LOS DIFERENTES PUNTOS DEL TERRENO DESDE DIFERENTES PUNTOS DE VISTA DETERMINAN LOS RAYOS HOMOLOGOS.

Si **OXYZ** es un sistema de referencia ortogonal, podemos referir a éstos los puntos del terreno y los puntos de vista  $P_1$  y  $P_2$ . Además los haces perspectivos que definen los puntos de vista y los distintos puntos sobre el terreno, se pueden calcular fácilmente como rectas que pasan por estos puntos.

Sin embargo lo que realmente nos interesa es, a partir de los haces perspectivos definir la superficie como el conjunto de intersecciones de rayos homólogos, para lo cual será preciso tener en cuenta lo siguiente:

- Cada haz perspectivo tiene una configuración propia, es decir la posición relativa de los diferentes rayos que pueden ser definidos por “datos externos”, no dependen de consideraciones externas ni del sistema de referencia adoptado.

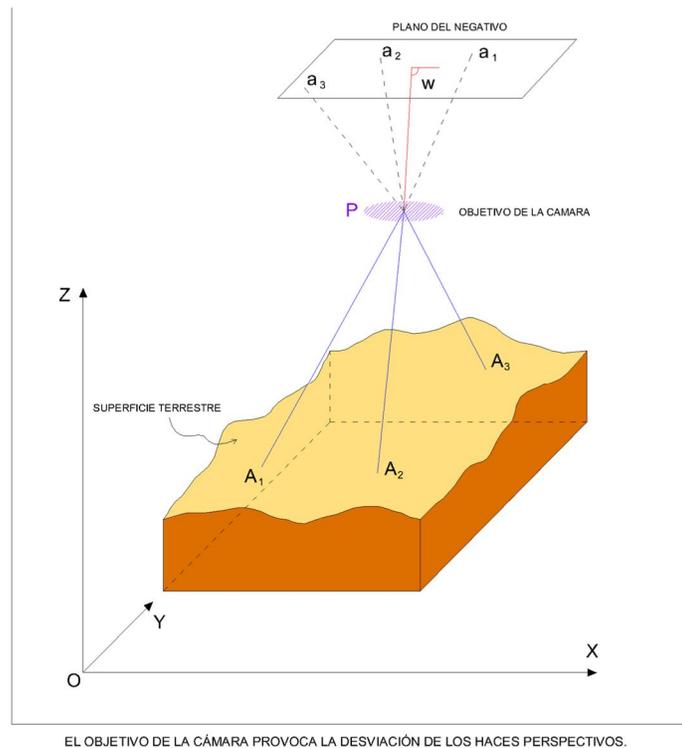
- En el caso de definir un sistema de convencional de referencia, la posición de cada haz se podrá referir a este, como el sistema elegido es ajeno al propio haz, a estos datos se les denomina “externos”.
- Los rayos homólogos se han de definir sin ambigüedad.

Para la solución de estos problemas: determinación de datos internos, datos externos e identificación de rayos homólogos, se reduce a un solo problema geométrico de intersección de rayos homólogos.

Los procedimientos de reconstrucción de los haces perspectivas y la determinación de los rayos homólogos se denomina **Restitución Fotogramétrica**, que es por tanto la operación inversa a la perspectiva.

Tras analizar las nociones anteriores de la perspectiva y el planteamiento del problema, ahora resulta necesario analizar los conceptos propios de la fotografía aérea para definir el haz perspectivo a partir de sus datos internos.

En primer lugar el objetivo fotográfico de la cámara no actúa como un punto de vista adimensional, por ello al atravesar este dispositivo se produce una modificación del haz perspectivo entrante que da lugar a otro saliente.



En la que:

- **Eje Principal.** Definido por la recta perpendicular desde P al plano del negativo.
- **Punto Principal (w).** Intersección del eje principal y el plano.

- A cada rayo  $PA_1$  entrante le corresponde un  $Pa_1$  saliente.
- **Distancia Principal (f)**. Determinada por la longitud del segmento  $Pw$  (Eje Principal).
- En el objetivo se producen distorsiones por lo que los ángulos  $A_1PA_2$  no coincide con  $a_1Pa_2$ .

El haz perspectivo saliente se define en función de los elementos internos: punto principal ( $w$ ) y el punto de vista. El haz perspectivo entrante se reconstruye a partir del saliente si se conoce la función de distorsión, obtenido a partir del ángulo de salida. Los elementos internos por lo tanto son:

- La distancia principal
- La posición del punto principal
- La función de distorsión

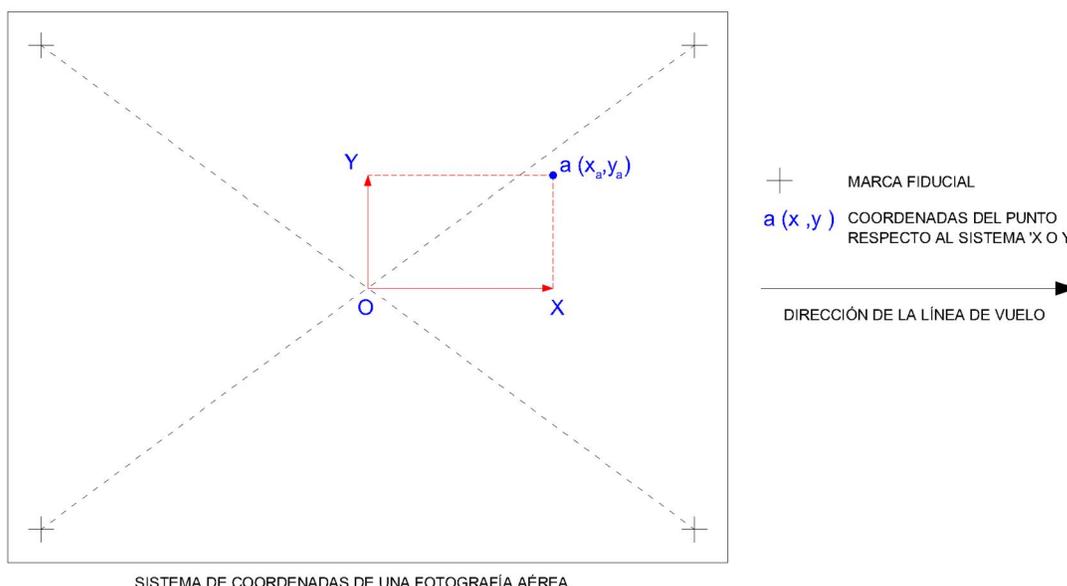
La determinación rigurosa de estos elementos o parámetros internos constituye en definitiva, el primer objetivo de la restitución fotogramétrica.

Para resolver el problema de reconstruir el terreno a partir de las fotografías aéreas (pares estereoscópicos) es preciso recurrir a un proceso combinado de restitución que contemple las operaciones siguientes:

- ❖ **Método 1:** Orientación Interna + Orientación Relativa + Orientación Absoluta
- ❖ **Método 2:** Orientación Interna + Orientación Exterior

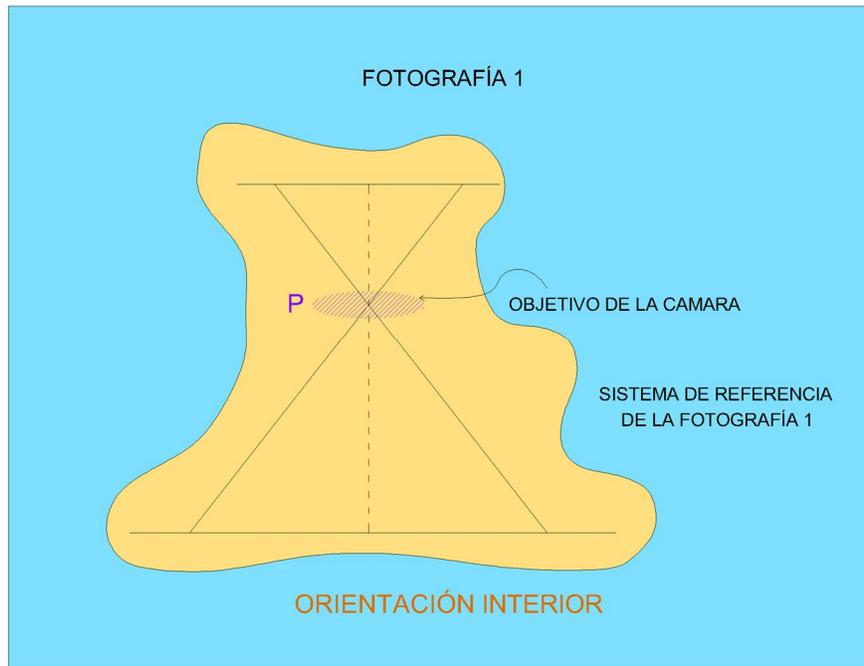
### 5.1 Orientación Interna o Interior.

Esta fase consiste en reproducir el haz perspectivo de rayos definidos por los puntos imagen y el centro de proyección; para lo cual resulta indispensable conocer los datos de calibración de la cámara aérea empleada en la toma de las fotografías como son: distancia focal, marcas fiduciales y distorsión. Además será preciso transformar las coordenadas medidas en el comparador al sistema definido por las marcas fiduciales.



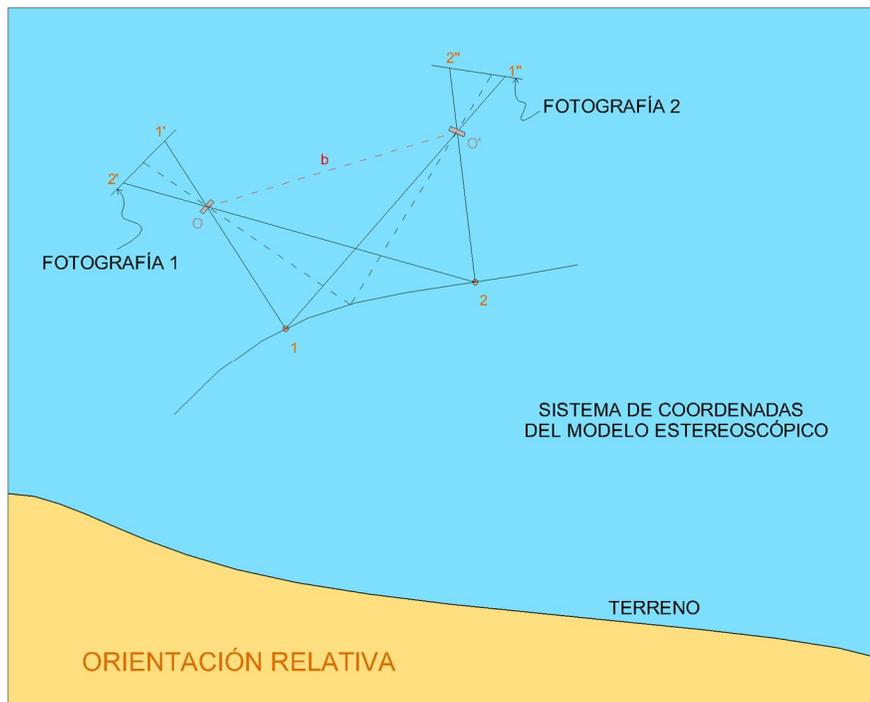
SISTEMA DE COORDENADAS DE UNA FOTOGRAFÍA AÉREA

Con la orientación interna o interior se determina el centro perspectivo interior de la fotografía aérea, tal como estaba en el instante de la exposición; por tanto cada fotografía se situará de idéntica manera que estuvo el material sensible con relación al objetivo en el momento de la impresión.



## 5.2 Orientación Relativa.

En este proceso lo que se pretende es reconstruir el modelo estereoscópico en la misma posición relativa que tenían cuando se realizó la toma fotográfica, para lo cual será preciso que los pares de rayos homólogos del par estereoscópico se intersecten en el espacio.



Para que el modelo estereoscópico quede correctamente definido será preciso que los paralajes  $P_y$  (en dirección del eje Y) sean nulos para todos los puntos del modelo. El paralaje  $P_x$  no impide la visión del relieve y se anula levantando o bajando el plano de referencia.

En la orientación relativa, es preciso definir 5 ecuaciones para resolver el problema, lo que supone que se insertan 5 pares de rayos homólogos en el espacio y esto implicará que todos los pares de rayos homólogos se intersectarán y se habrá conseguido la orientación relativa.

Con la orientación relativa se determinan, en definitiva, la posición y la altitud de una de las fotografías del modelo estereoscópico, con respecto a la otra fotografía.

### 5.3 Orientación Absoluta o Exterior.

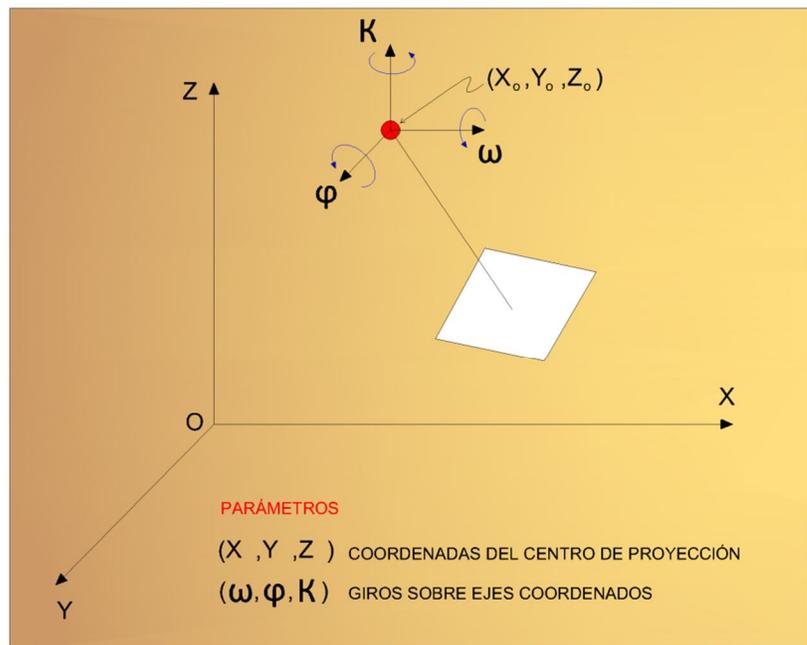
Una vez definido el modelo en cuanto a su orientación interior y relativa, la última operación de reconstrucción es el nivelado, escalado (ampliación o reducción entre la escala de la fotografía y la de su proyección) y traslación en el modelo estereoscópico.

La orientación absoluta antiguamente se resolvía mediante métodos iterativos aproximados; ahora se resuelve matemáticamente, dentro del campo de la fotogrametría analítica, mediante una transformación ortogonal espacial con cambio de escala y de origen de coordenadas.

Cada punto del terreno nos permite definir matemáticamente 3 ecuaciones, por lo cual serían precisos tres puntos con coordenadas conocidas sobre el terreno para determinar las 7 incógnitas.

Para situar el modelo, dar escala y nivelarlo bastarían dos puntos de coordenadas planimétricas conocidas y tres puntos con z conocidas.

Una vez terminada la orientación absoluta o exterior se ha realizado en definitiva, el ajuste a la escala apropiada y la nivelación u orientación del modelo, mediante un restituidor, en relación al control terrestre.



CONJUNTO DE PARÁMETROS QUE PERMITEN FIJAR LA POSICIÓN EN EL ESPACIO DE CADA HAZ PERSPECTIVO EN UN SISTEMA REFERENCIAL ESTABLECIDO.

## 5.4 Equipos de Restitución

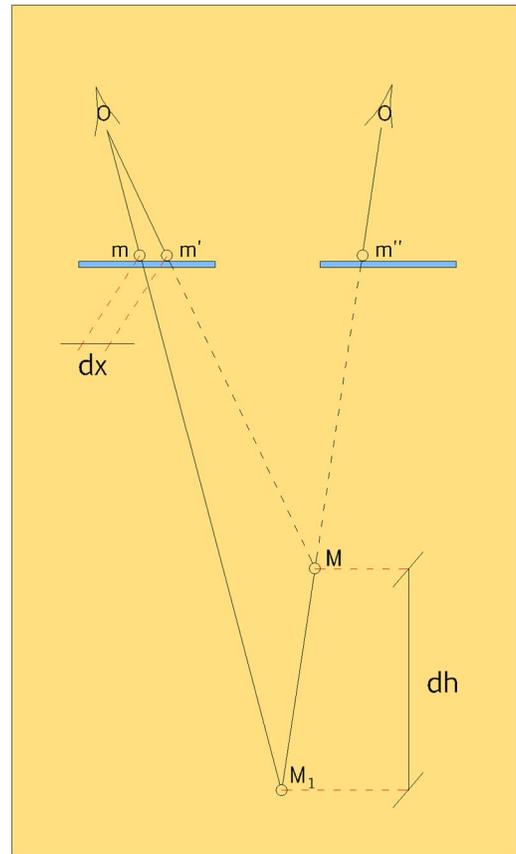
Una vez formado el modelo estereoscópico, éste constituye la base para la captura de información y dibujo del mapa correspondiente. A este proceso se le llama **restitución fotogramétrica**: Y es la extracción de la información métrica por medios estereoscópicos con ayuda de un índice móvil según el principio de la marca flotante.

**Principio de la Marca Flotante:** Si al observar un par estereoscópico de fotografías se colocan marcas idénticas sobre puntos homólogos de las fotos, las dos marcas de medida se verán fusionadas en una sola marca flotante, aparentemente formando parte de la imagen y a la misma altura que la zona que lo rodea.

Moviendo estas marcas artificiales, una respecto a la otra en dirección paralela a la línea de vuelo, se verá que la marca flotante sube o baja respecto al terreno.

Al aparato que nos permite llevar a cabo la restitución, así como todas las operaciones de medición de coordenadas y orientaciones se le denomina restituidor.

Dependiendo del método para formar el modelo, realizar las orientaciones necesarias y llevar a cabo la restitución, tendremos por distinguir 3 tipos de restituidores y como resultado 3 tipos de fotogrametría.



- **Restituidores analógicos:** Ya casi en desuso, pero estuvieron vigentes desde los inicios de la fotogrametría y hasta los años ochentas. Es ellos el modelo se forma óptica o mecánicamente o una combinación de ambas formas. Dos proyectores iluminan desde arriba los positivos en forma de transparencias, colocados en unos portaplacas que permiten físicamente los giros y las traslaciones propios de las orientaciones



respectivas. Se eliminan las paralajes verticales mediante la fusión óptica de las imágenes homólogas moviendo y girando los portaplaques según la secuencia establecida para tal caso. En los restituidores óptico mecánicos unas barras que giran en torno a unas rotulas y tienen movimiento de traslación, materializan los haces perspectivas. La exploración del modelo y la visión estereoscópica se realiza ópticamente, con un sistema similar al del estereoscopio de espejos. Mecánicamente el modelo se forma a una escala determinada y se complementa con un sistema gráfico que permita dibujar a otra escala el mapa, a través de un sistema trazador.

- **Restituidores analíticos:** Constan de un sistema similar en cuanto al portaplaques, pero las relaciones entre coordenadas fotografía y terreno se realizan analíticamente, por cálculo y transformación de coordenadas y la exploración del modelo y los movimientos en la orientación se realizan a través de servomotores en los portaplaques. Un elemento esencial es un estereocomparador que permite medir coordenadas fotografía con gran precisión. Un ordenador o computadora transforma en tiempo casi real estas coordenadas a coordenadas terreno, a través de los parámetros de orientación externa y un software CAD permite restituir los elementos gráficamente en el mapa al recorrerlos con el índice de la marca flotante. El sistema puede ser de anaglifos, gafas polarizadas o pantallas asíncronas. Actualmente, también estos aparatos, que empezaron a aparecer en los años ochentas, están siendo sustituidos por los restituidores digitales, debido a su menor costo y versatilidad.



- **Restituidores digitales o estaciones fotogramétricas digitales (EFD).** Son simples computadoras con pantallas de buena resolución y un sistema de visión estereoscópica similar a los analíticos. La medición y transformación de coordenadas así como las orientaciones es realizada analíticamente por la computadora. El modelo estereoscópico se presenta aplicando en tiempo real la transformación a las imágenes mediante un procedimiento analítico. De la misma forma, un índice va explorando el modelo u mediante un CAD asociado permite el



trazado de mapas. Las fotografías son imágenes digitales, para lo cual previamente hay que escanear las fotografías a gran resolución (15-30 micras por pixel), de tal manera que se necesitan escáneres de alta calidad.

Desde finales de los años 90 y hasta la actualidad la fotogrametría digital se ha impuesto, debido principalmente a los altos costos de los equipos tradicionales y además que una simple computadora realiza todas las tareas, incluso las que antes requerían de un operador; lo realmente costoso por este método es el software.

Cualquiera de los tres tipos de instrumentos permiten formar el modelo con calidad y precisión, para posteriormente el operador comenzar a capturar la información, diferenciándola a través de macros, layers o capas, códigos; en diferentes niveles de información. Después será siempre necesario un trabajo de edición para corregir errores e insertar los elementos necesarios para conformar un plano o mapa.

La información a restituir y el detalle dependerá de la escala final de la cartografía: Por ejemplo una zona urbana a escala 1/500 necesitará llevar niveles de construcción, lotes, banquetas, postes, coladeras etc; mientras que uno a escala 1/10,000 será suficiente con dibujar el contorno de las manzanas. La información se puede dividir en planimetría y altimetría.

## 5.5 Trazo de Planimetría y Altimetría

En las proyecciones topográficas se distinguen dos partes: La Planimetría y La Altimetría.

**Planimetría** es la proyección de cada punto de interés del terreno sobre un plano horizontal, tomado como referencia.

Al restituir nuestros modelos estereoscópicos la información contendrá todos los detalles identificables, a partir del vuelo, en su exacta posición y verdadera forma (a escala), los detalles aún más pequeños podrán ser representados mediante símbolos.

**Altimetría** es la determinación de las cotas de los diferentes puntos del terreno, con respecto al plano horizontal de comparación, el cual, aunque puede ser tomado a una altura arbitraria, en general se relaciona con el plano horizontal teórico formado por el nivel del mar.

La combinación de las dos áreas de la topografía plana, permite la elaboración o confección de un “plano topográfico” propiamente dicho, donde se muestra tanto la posición en planta como la elevación de cada uno de los diferentes puntos del terreno; esta elevación se representa mediante las curvas de nivel que son líneas que unen puntos de igual altura. Las curvas de nivel nos sirven para reproducir en el dibujo la configuración topográfica o relieve del terreno.

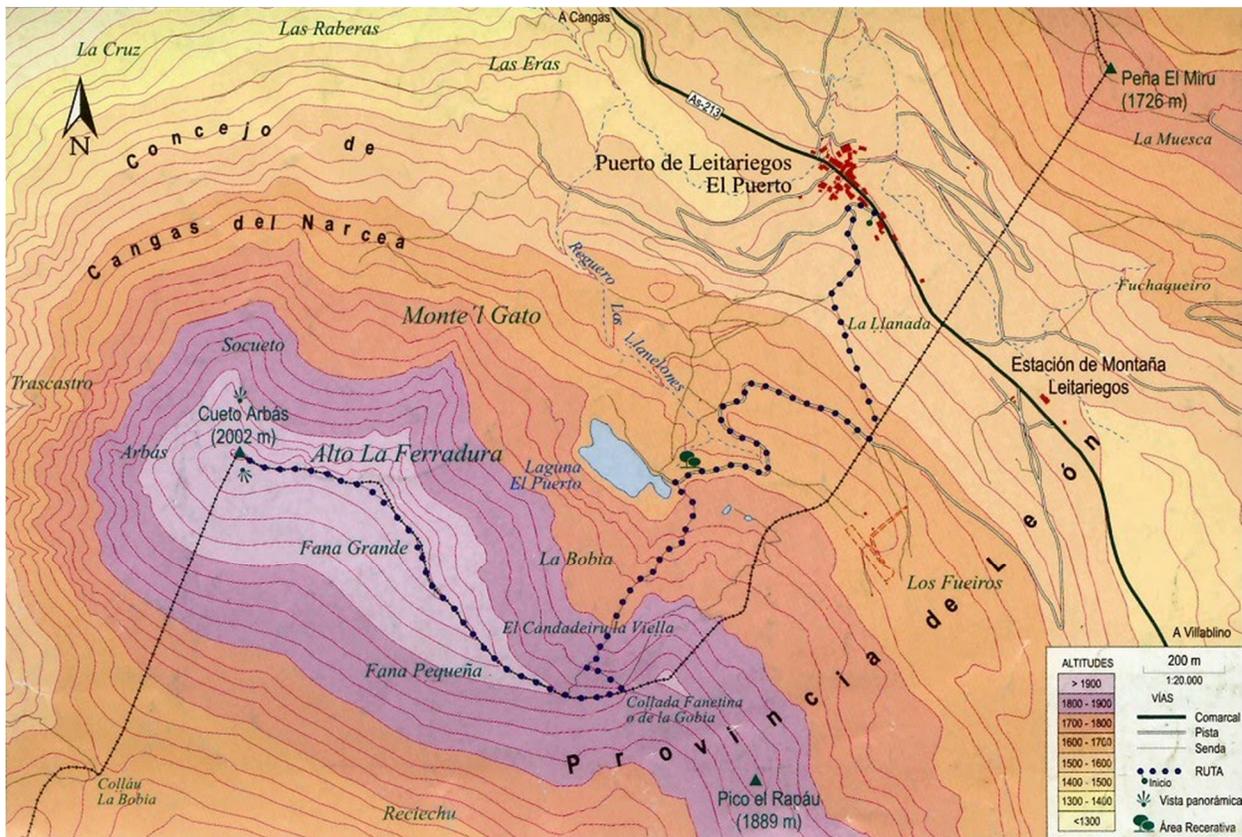
**Superficie de nivel.** Si se pudieran eliminar todas las irregularidades de la superficie terrestre se obtendría una superficie imaginaria esférica, cada uno de cuyos elementos sería normal o perpendicular a la dirección de la plomada en el mismo. La superficie de esta clase que corresponde a la altura media del mar se llama “nivel medio del mar” y es la superficie de referencia para las nivelaciones y mediciones topográficas.

**Altura, cota o elevación de un punto.** La altitud de un punto es la distancia vertical medida desde el nivel medio del mar. Si la distancia vertical se mide desde cualquier otro plano tomado como referencia usualmente se le denomina **cota**.

**Cota fotogramétrica** son puntos con elevación de acuerdo al sistema de referencia empleado, que deberán colocarse en las áreas donde no haya una curva de nivel que nos represente la elevación del terreno, esto debido a las formas planas del terreno o a la alta densidad de vegetación del mismo.

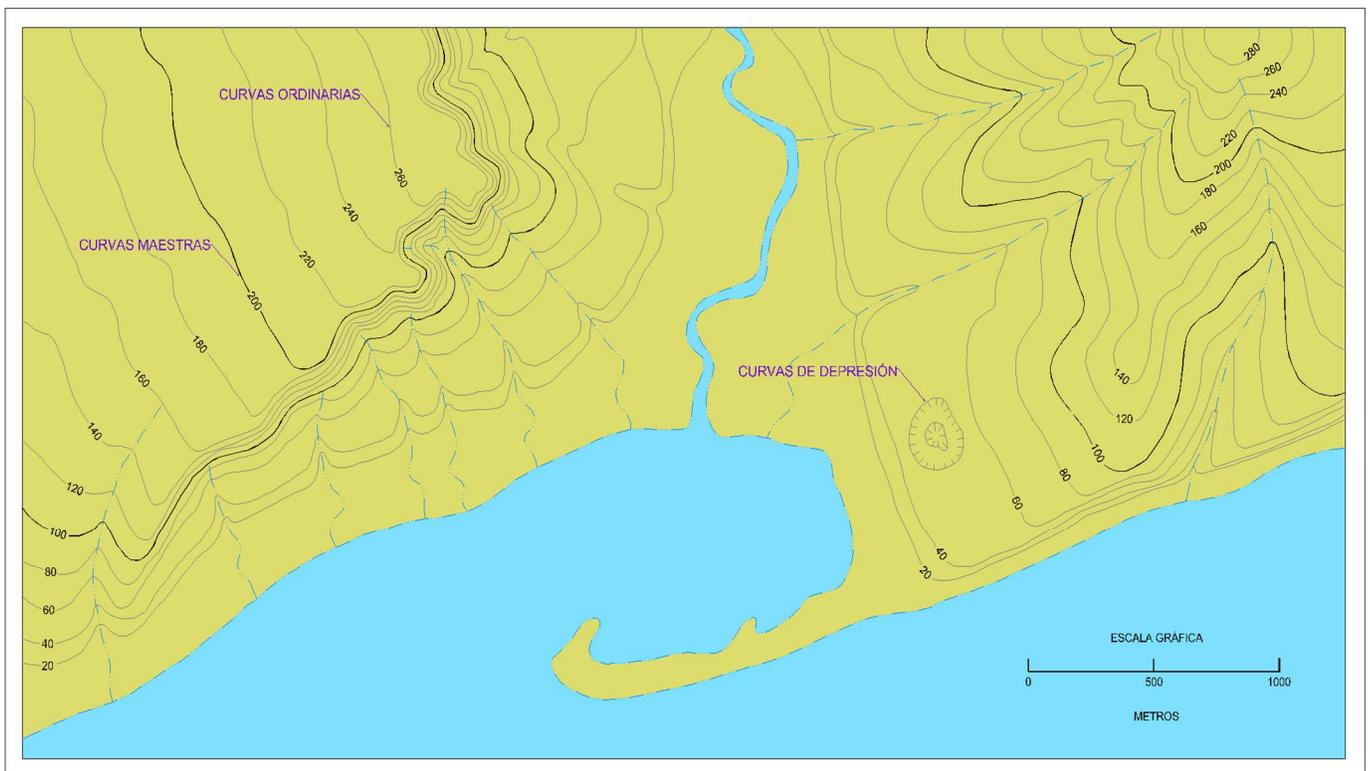
El desnivel entre dos puntos está dado por la diferencia de altitud o cota entre dichos puntos.

**Curvas de nivel.** Se utilizan para representar un terreno en todas sus formas y accidentes, tanto en un plano horizontal como en sus alturas, con ellas se representa en planta y elevación simultáneamente la forma de un terreno, es decir el **relieve**. Para lograr una representación objetiva del relieve el espacio entre las curvas de nivel debe ser constante.



## Características de las curvas de nivel.

1. Toda curva es cerrada sobre si misma, no puede dividirse o ramificarse.
2. No se pueden fundir dos o más curvas en una sola; existen casos en donde pueden verse juntas pero en realidad están superpuestas, una sobre otra, pero cada una en su nivel.
3. Si en determinado lugar se cruzan las curvas podría significar una cueva o saliente en volado.
4. Al representar zonas de pendiente uniforme las curvas deben quedar equidistantes.
5. La separación de las curvas depende de ciertas características: Si están muy separadas es porque existe una pendiente suave, si están muy juntas la pendiente es fuerte y si están superpuestas indican un corte vertical.
6. Una serie de curvas cerradas, concéntricas indican un promontorio (altura de tierra considerable) o una oquedad (hueco), según las curvas vayan creciendo o decreciendo hacia el centro.



## CAPÍTULO VI ELABORACIÓN Y EDICIÓN DE LOS MAPAS

### 6.1 Elementos de un mapa

La información restituida pasará por un proceso que garantice la autentica representación del levantamiento en un plano o mapa, con todos sus elementos que estos deben contener.

En un mapa topográfico se pueden distinguir tres partes fundamentales o principales:

**El Campo** área que contiene el mapa en sí, en ella esta cartografiada una parte de la superficie de la tierra. Para representar el relieve como ya hemos mencionado se utilizan las curvas de nivel. Las vías de comunicación, poblaciones, hidrografía y límites administrativos, se representan con una simbología específica que quedará reflejada en la leyenda del mapa.

**El Marco** separa el campo de su margen, en él se encuentran las coordenadas, ya sean latitud y longitud o coordenadas de proyección UTM.

**El Margen** en él se incluye toda la información necesaria para su correcta interpretación. A veces por razones de espacio la información se coloca en un recuadro dentro del campo del mapa. Es lo que se conoce como leyenda, que incluye:

- ❖ Signos convencionales: Carreteras, caminos, ferrocarriles, límites, vértices geodésicos, etc.
- ❖ Escala gráfica y numérica para medir y calcular distancias.
- ❖ Datos magnéticos de declinación: Ángulo entre norte magnético y norte geográfico.
- ❖ Usos de suelo: Bosque de coníferas, cultivos, dunas, etc.

Además de estas partes, todo mapa presenta una **portada** con los datos más importantes de la dependencia o cliente que solicitó los trabajos y la empresa o persona que los realizó y datos como fecha y área para firmas en caso de ser necesarias.



### 6.1.1 Sistemas de Referencia o Sistemas de Coordenadas

El concepto de sistemas de coordenadas se debe al matemático francés René Descartes (1596-1650), aunque el empleo de tales sistemas, compuestos por dos ejes perpendiculares, era conocido y utilizado por los agrimensores egipcios con mucha anterioridad.

En los trabajos que aquí estamos planteando se utiliza como referencia el sistema de coordenadas inerciales, es decir, aquellos sistemas donde un objeto se mueve con velocidad constante, sin que en él actúen fuerzas externas.

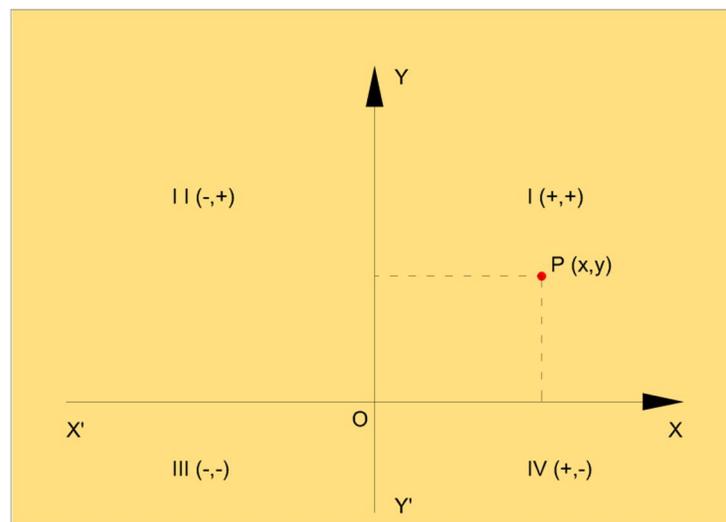
En los planos o mapas se pueden utilizar desde sistemas de coordenadas arbitrarias, coordenadas topográficas locales, coordenadas referidas a un sistema real como son las geográficas o referidas a un elipsoide en especial.

**Coordenadas Rectangulares en el Plano.** Este sistema en que un punto puede moverse en todas direcciones, manteniéndose en un plano bidimensional, consta de dos rectas dirigidas ( $X, X'$  e  $Y, Y'$ ), perpendiculares entre sí, llamados ejes coordenados.

Las rectas  $X$  e  $Y$ , y el punto “ $O$ ” de intersección de las rectas, “origen”. Las cuatro regiones en que las rectas perpendiculares dividen al plano, se llaman cuadrantes, y las enumeramos de acuerdo a la siguiente figura. Las direcciones positivas de los ejes  $X$  e  $Y$  son: hacia la derecha sobre el eje  $X$  y arriba sobre el eje  $Y$ .

La posición de un punto  $P$ , en este sistema, está representada por las distancias ortogonales de los ejes al punto, las que se señalan por un par ordenado de números reales  $(X, Y)$ .

Este es el caso en el cual la altimetría de los levantamientos es irrelevante. Para conservar y manejar solo coordenadas positivas podremos variar el valor de los datos del origen a nuestra conveniencia y mantener toda nuestra información en el primer cuadrante.



**Coordenadas Rectangulares en el Espacio.** Si consideramos tres planos mutuamente perpendiculares que se cortan en un punto común “ $O$ ”. Las rectas de intersección de estos

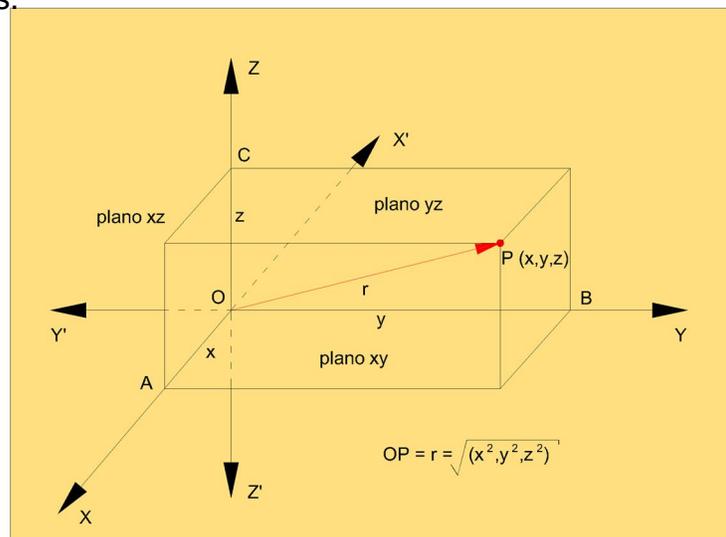
planos  $X, X'$ ,  $Y, Y'$  y  $Z, Z'$  se llaman ejes coordenados, y el punto "O", origen del sistema de coordenadas rectangulares.

Dichos ejes se llaman respectivamente ejes  $X, Y, Z$ . Las ocho regiones que los planos perpendiculares dividen el espacio se llaman "Octantes".

La posición de un punto P en el espacio está dada por sus distancias ortogonales a los planos coordenados  $XY$ ,  $XZ$ , e  $YZ$  en que las coordenadas del punto P en el espacio son:  $OA, OB$ , y  $OC$ , llamadas  $X, Y, Z$  respectivamente.

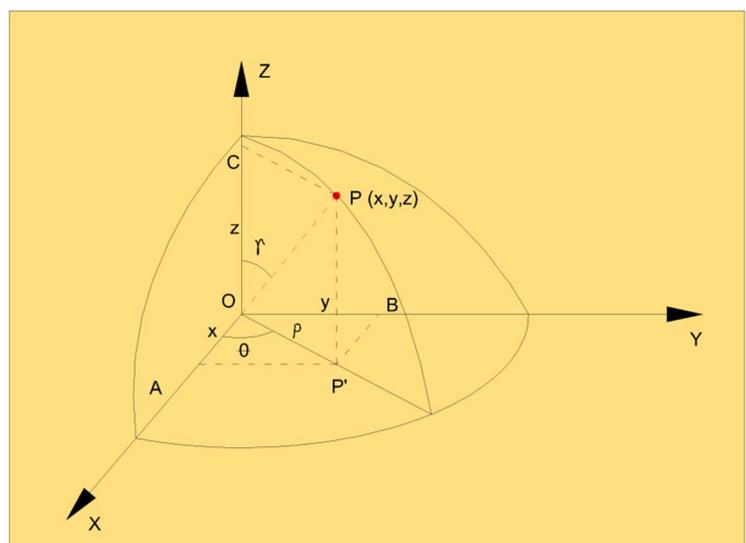
Las coordenadas de un punto, entonces, están formadas por una terna ordenada de números reales  $(x, y, z)$ , en que O y P son vértices opuestos de un paralelepípedo rectangular, cuyos lados corresponden a las coordenadas de P.

Como en el caso de las coordenadas en el plano podremos seleccionar las coordenadas del punto de origen "O" y entonces tendremos un sistema de coordenadas en el espacio "arbitrario" siempre pensando en mantener la información dentro de nuestro cuadrante de coordenadas positivas.



**Sistema de Coordenadas Esféricas.**

Sea P  $(x, y, z)$  un punto cualquiera de una superficie esférica de centro en el origen "O" y radio vector "r", la porción de esta superficie comprendida en el primer cuadrante se aprecia en la figura siguiente:



Sea  $\rho = CP = OP'$  , del triángulo OPC se tiene:

$$\rho = r \operatorname{sen} \varphi$$

Así mismo, de los triángulos OAP, OBP y OPC, se tiene:

$$x = r \operatorname{sen} \varphi \cos \theta$$

$$y = r \operatorname{sen} \varphi \operatorname{sen} \theta$$

$$z = r \cos \varphi$$

Con estas ecuaciones se puede localizar cualquier punto P sobre una superficie esférica mediante los valores  $(r, \varphi, \theta)$ , conocidas como coordenadas esféricas de P.

**Sistema de Coordenadas Cilíndricas.** Las coordenadas cilíndricas son especialmente útiles en los casos en que la superficie límite es una superficie de revolución, como lo es el elipsoide de revolución en el estudio de la geodesia.

La figura representa en el primer octante una parte de la superficie de un cilindro circular recto, de radio r cuyo eje central es la coordenada z.

Sea  $OP' = r$  y  $\theta$  el triángulo entre  $OP'$  y el eje x.

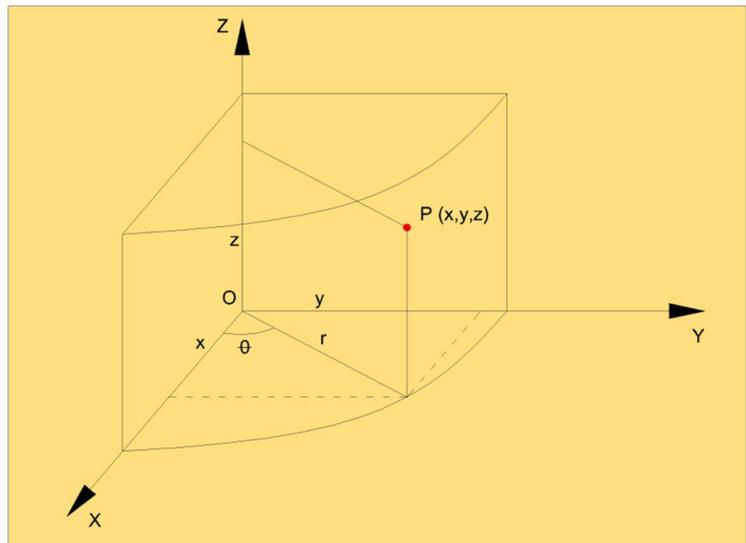
De donde podemos decir que:

$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \operatorname{sen} \theta$$

$$z = z$$

Al trío ordenado de números reales  $(r, \theta, z)$  se le llama coordenadas cilíndricas.



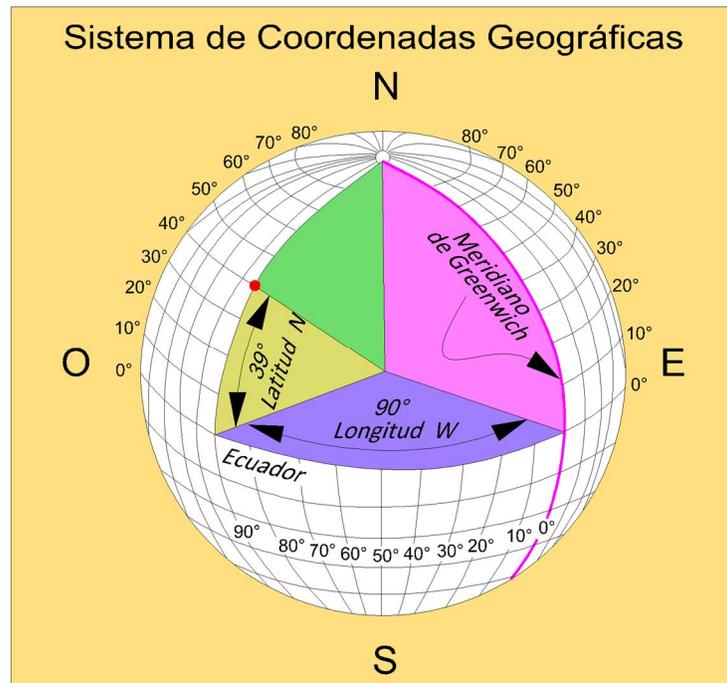
**Sistema de Coordenadas Geográficas Y UTM.** La cartografía actualmente usa para la medición de coordenadas el sistema de coordenadas geográficas y el sistema de coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator), para los cuales se emplea el sistema

clásico UTM y el sistema GPS (Global Positioning System), su diferencia radica en que su origen es distinto.

Uno de los métodos más antiguos para localizar un punto sobre la superficie terrestre está basado en el Sistema de coordenadas Geográficas.

La Tierra se representa aproximadamente por una esfera que se cubre mediante un sistema de círculos máximos que pasan por los polos terrestres. Estos círculos máximos se denominan **meridianos**, y a partir de la línea del Ecuador, que también es un círculo máximo, se trazan círculos concéntricos paralelos hacia los polos, los que se denominan **paralelos**.

Este sistema de coordenadas geográficas constituye la **Latitud** y la **Longitud**, relacionados con **Paralelos** y **Meridianos** respectivamente y un tercer elemento que es la **Altitud** que corresponde a la altura de un punto en cuestión medido a partir del Nivel Medio del Mar (NMM).



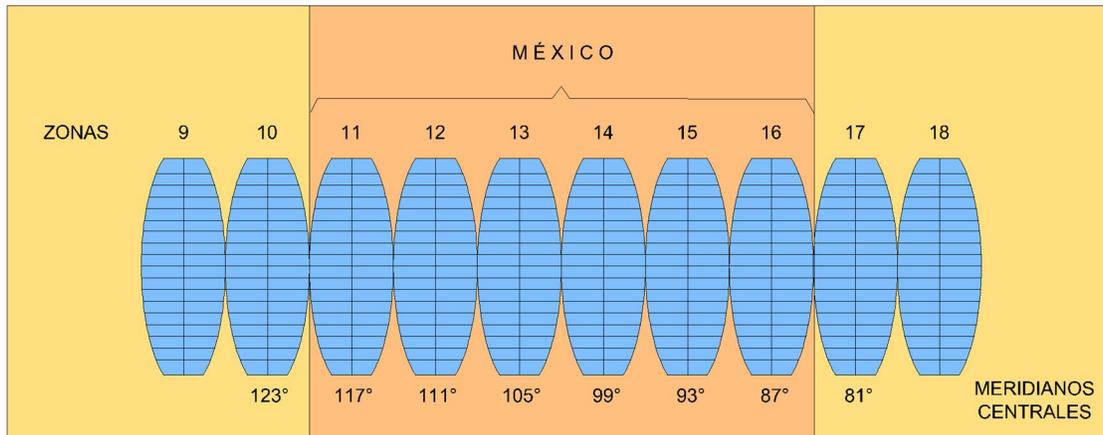
**Latitud** Es el ángulo medido sobre un meridiano y hasta el punto por ubicar, desde el ecuador y va de 0° a 90° hacia el norte o hacia el sur.

**Longitud** Es el ángulo medido sobre un paralelo, desde el Meridiano de Greenwich y hasta el punto en cuestión y va de 0° a 180° hacia el Este o el Oeste.

**Altitud** es la distancia vertical entre un punto determinado y el nivel medio del mar prolongado por debajo de los continentes.

También en el esquema anterior se observa que la latitud y la longitud se miden en una esfera, sin embargo estrictamente esto no es así, porque la Tierra no tiene una figura geométrica regular determinada. La figura que más se acerca a la real es una elipse, que al girarla se denomina **elipse de revolución**. Este elipsoide debe tener un punto origen donde “sujetar” su posición y se llama **Datum**.

En el caso de nuestro país, México, se adoptó el denominado **Elipsoide de Clark de 1866** y su datum correspondiente es **Nad27** hasta la década de los 90’s. Pero en los últimos años con ayuda de la tecnología satelital se han obtenido otros datos de elipsoides y se decidió cambiar los parámetros adoptando el **GRS80** cuyo datum es el **ITRF92**.

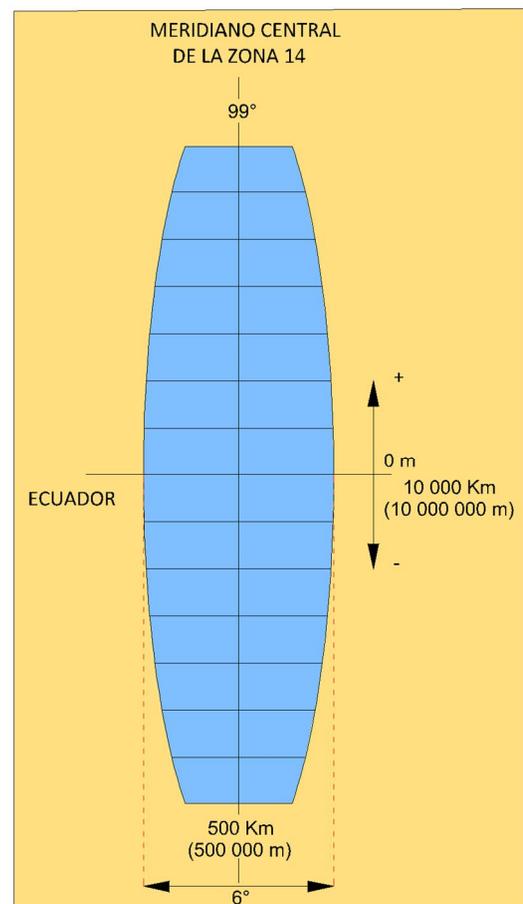


La proyección UTM es una proyección cilíndrica ubicada en forma transversal al eje del mundo. La proyección se realiza por zonas de 6° cada una, de forma que se generan 60 zonas para abarcar toda la tierra. Estas se enumeran a partir del meridiano contrario al de Greenwich en el sentido contrario al de las manecillas de reloj. Lo quiere decir que a nuestro país le corresponden las zonas 11,12,13,14,15,16.

### Origen de Coordenadas UTM

Cada una de las 60 franjas de 6°, tienen un meridiano central a los 3°, que es perpendicular a la línea horizontal que representa al Ecuador. A este meridiano central se le asigna un valor de 500 Km (500,000 m), a fin de que los valores que se obtengan a la izquierda de esta línea no resulten negativos. A este valor se le denomina “Este” (equivalente o semejante a la “x” del plano ortogonal).

El Ecuador es la línea que se toma como origen

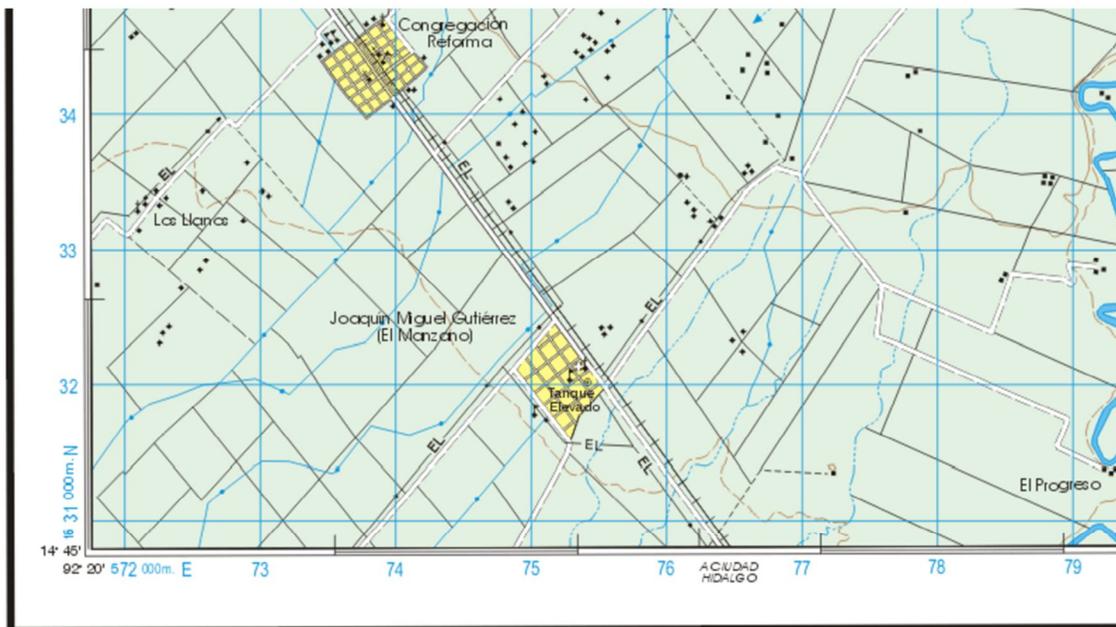


para las mediciones hacia el norte y hacia el sur. Asignándole el valor de 0m para las cantidades que estén hacia el Norte y 10,000 Km (10,000,000 m) para las cantidades que están hacia el Sur. A este valor se le llama “Norte”

Cualquiera que sea el sistema de coordenadas elegido o solicitado para referenciar nuestros trabajos este deberá estar marcado en el borde del plano o mapa en el área específica, para dar ubicación a los mismos.

La generación de una gradícula o caneová para el caso de coordenadas geográficas, o una cuadrícula o retícula para las UTM deberá estar contenido sobre el área de dibujo.

También deberán indicarse mediante una nota el sistema utilizado así como la referencia del elipsoide y datum si son coordenadas UTM.



LOS NÚMEROS DE LA CUADRÍCULA UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR ESTÁN REPRESENTADOS POR DOS DÍGITOS. EL NÚMERO COMPLETO APARECE EN LAS PRIMERAS COORDENADAS DEL ÁNGULO INFERIOR IZQUIERDO DEL MAPA.

PARA TRANSFORMAR COORDENADAS DE DATUM ITRF92 A NAD27:  
 COORDENADAS GEOGRÁFICAS: RESTAR 3.49" EN LATITUD  
 RESTAR 0.31" EN LONGITUD

COORDENADAS U.T.M.: SUMAR 11 M. EN E  
 RESTAR 208 M. EN N

### 6.1.2 Norte, Símbolos, Leyenda, Escala, Toponimia y Cuadro de Datos

**Norte** es una marca del norte verdadero, marca del norte magnético, con el valor de la declinación a la fecha de impresión.

Marca de la diferencia de declinación entre el norte verdadero y la malla de la cuadrícula.

Las líneas con el asterisco estrella, marca la dirección del norte geográfico o norte verdadero; la línea con media punta de flecha se utiliza para indicarla dirección y la magnitud

aproximada de la declinación magnética, la línea con la marca NC de las hojas de INEGI, muestra la dirección de la diferencia entre el norte verdadero y el norte de la cuadrícula, también llamado **norte de Mercator**.

**Símbolos** pueden ser de tres tipos: **puntuales, lineales y de área**.

- a) **Los Símbolos puntuales** representan rasgos sobresalientes, aislados que se localizan puntualmente, tales como faros, casas aisladas, puntos geodésicos, torres de microondas etc.
- b) **Los Símbolos lineales** representan rasgos continuos concretos tales como: las vías de ferrocarril, líneas de transmisión, líneas de conducción, carreteras, terracerías, y cuestiones abstractas como curvas de nivel, isotermas etc.
- c) **Los Símbolos de área** representan superficies perfectamente diferenciadas, tales como los lagos, lagunas, manglares, dunas, pantanos, bosque, zonas de inundación etc.

Existe también una **simbología en cuanto a colores**, por ejemplo en los mapas topográficos todos los rasgos culturales se representan de color negro, los rasgos hidrográficos de color azul; y el verde en las diferentes coberturas vegetales. Además, el color amarillo para las manchas urbanas, y color gris para la sombra del relieve en modelos digitales de elevación.

	ZONA URBANA		AUTOPISTA		VERTICE GEODÉSICO
	ZONA PARCELADA		CARRETERA FEDERAL		IGLESIA
	ZONA SERVICIOS		TERRACERIA		CASA AISLADA

**Leyenda** es la explicación de los símbolos, sombreado y colores usados en un mapa o plano, suele localizarse generalmente en el margen del mapa, en cuadros insertados en él, aunque la mayoría de las leyendas se presentan en cuadros independientes con sus respectivos símbolos, en ocasiones reproducen una parte del mapa, real o imaginaria, en la que aparecen anotados los significados de los símbolos.

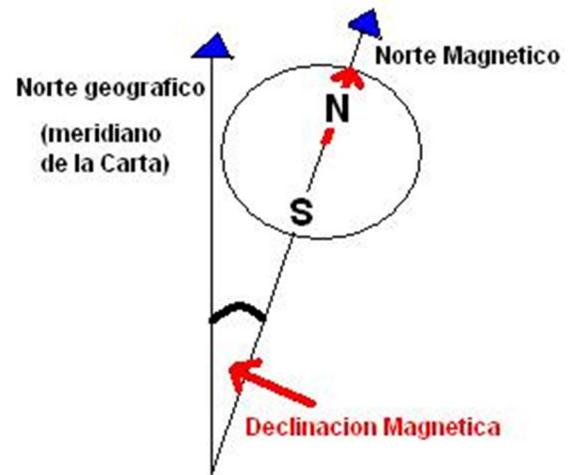
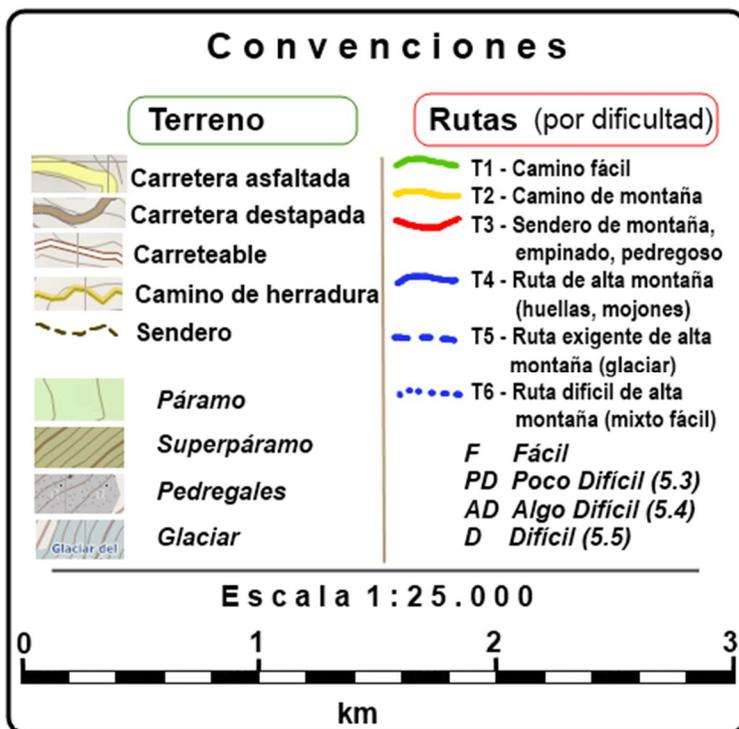
**Escala** es la relación entre la distancia que separa dos puntos en un mapa y la distancia real de esos mismos puntos en la superficie terrestre o realidad. La escala puede expresarse de tres formas distintas: En forma de proporción o fracción como por ejemplo 1:50,000 ó 1/50,000, que significa que una unidad medida en el mapa equivale 50,000 de esas mismas unidades sobre la superficie de la tierra; con una escala gráfica, que suele ser un segmento recto en la que se marcan las distancias, expresadas la mayoría de las veces en kilómetros u

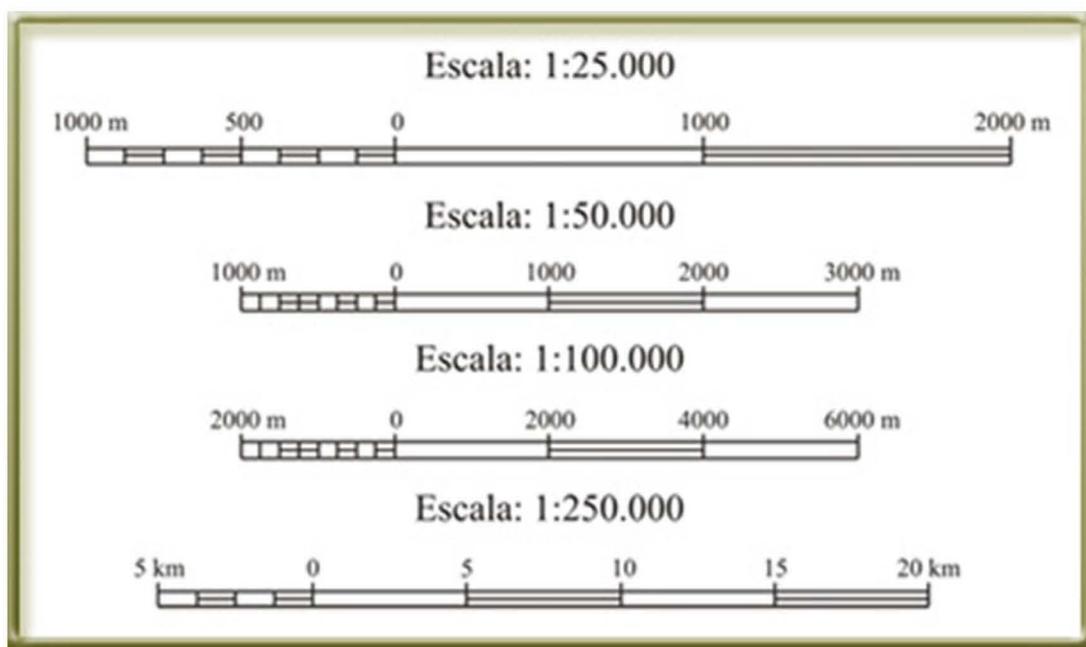
otras unidades de longitud; o bien por último con una expresión en palabras y cifras como por ejemplo: “Un centímetro representa 100 Kilómetros”.

Cuanto mayor es la escala, más se aproxima al tamaño real de los elementos de la superficie terrestre, Los mapas a pequeña escala generalmente representan grandes porciones de la Tierra y, por lo tanto, son menos detallados que los mapas realizados con escalas grandes.

**Toponimia** constituye el total de vocablos o referencias espaciales utilizadas para nominar, describir e identificar la totalidad de accidentes naturales y culturales representados en una determinada fuente cartográfica. El Tamaño y el tipo de letra empleado señalan la importancia del accidente geográfico identificado.

**Cuadro de Datos** como ya se mencionó con anterioridad, es el cuadro en el que aparecerán los datos referentes a la compañía o empresa que elaborara los trabajos o levantamientos plasmados en el mapa o plano, así como los datos del cliente, fecha, y firmas de aprobación y certificación cuando sea el caso.





### SITIOS DE INTERES

- Castillo Histórico
- Iglesia Colonial
- Monumento Histórico
- Venta de Artesanía
- Balneario o Playa
- Vista Panorámica
- Teleférico
- Parque Merendero
- Estación de Servicio
- Hotel
- Aguas Termales
- Lancha de Paseo
- Sitios de Interés

### VIALIDAD

- Autopista
- Vía Asfaltada
- Vía de Tierra
- Identificación de la Vía
- Distancia en Kilómetros
- Puente

### TRANSPORTE

- Aeropuerto Internacional
- Aeropuerto Nacional
- Pista de Aterrizaje
- Puerto Marítimo
- Puerto de Cabotaje
- Chalana
- Ruta de Ferry

### HIDROGRAFÍA

- Ríos
- Lagos y Embalses

### CIUDADES Y PUEBLOS

- Área Urbana
  - Capital de Estado
  - Capital de Municipio
  - Capital de Parroquia
  - Población
- CARACAS** Capital Nacional
- CORO** Capital de Estado
- PETARE** Capital de Municipio
- CAPAYA** Capital de Parroquia
- Birongo** Población

### LÍMITES

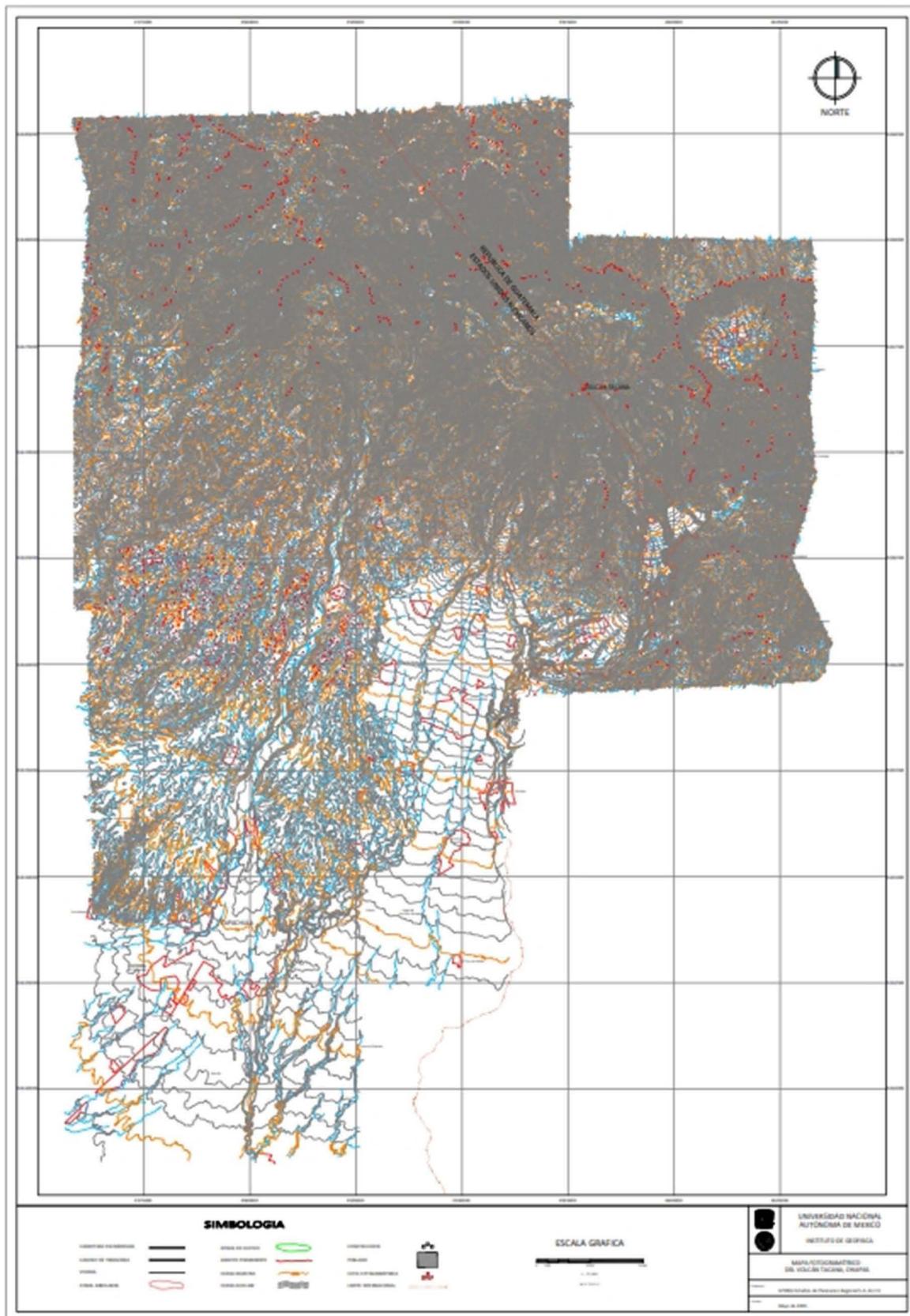
- Internacional
- Estado
- Parque Nacional
- Monumento Natural
- Refugio o Reserva de Fauna y Flora

### RELIEVE

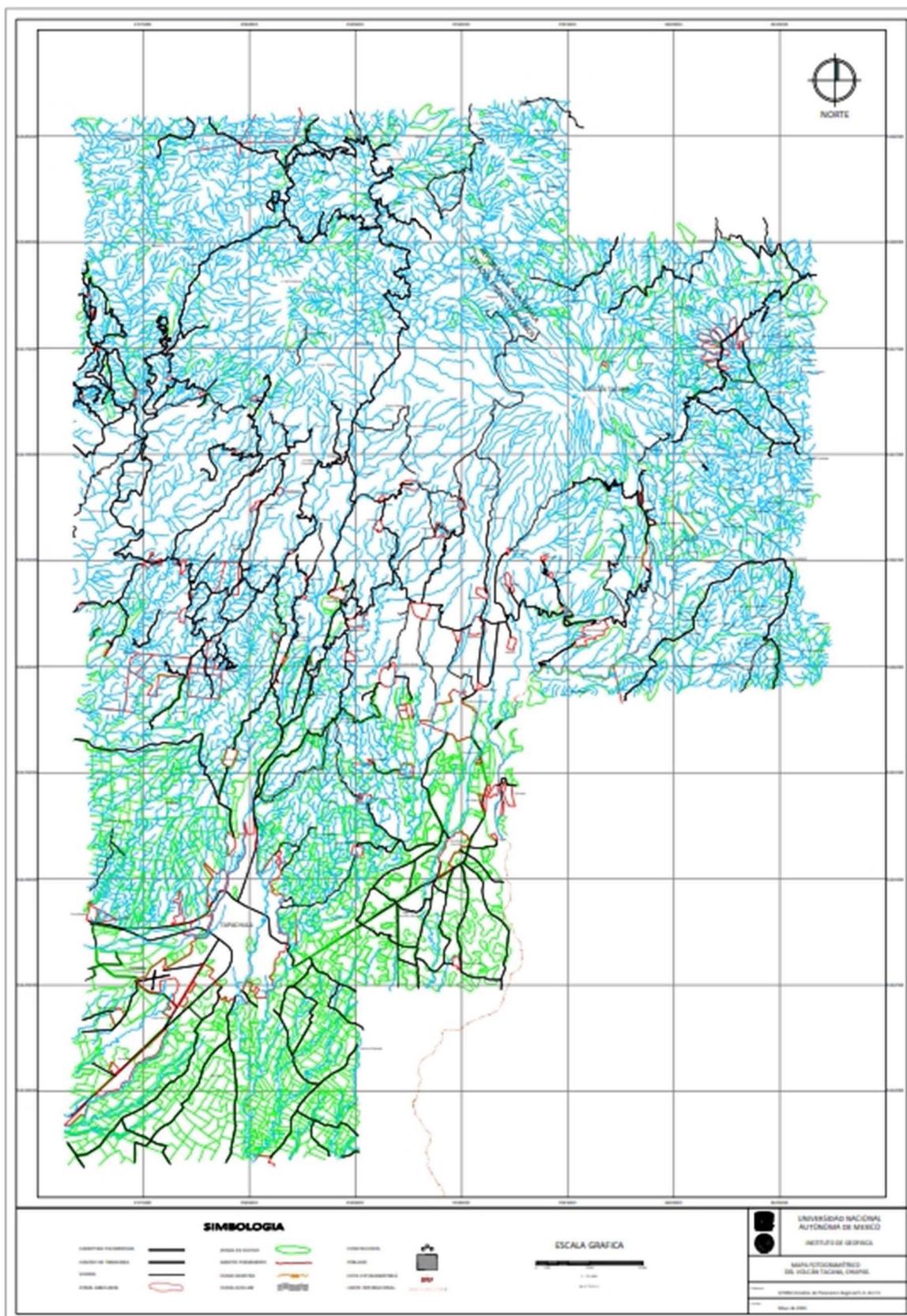
- 0-100 mts.
- 0-100 mts.
- 0-100 mts.
- 0-100 mts.

## 6.2 Generación de Mapas Anexos

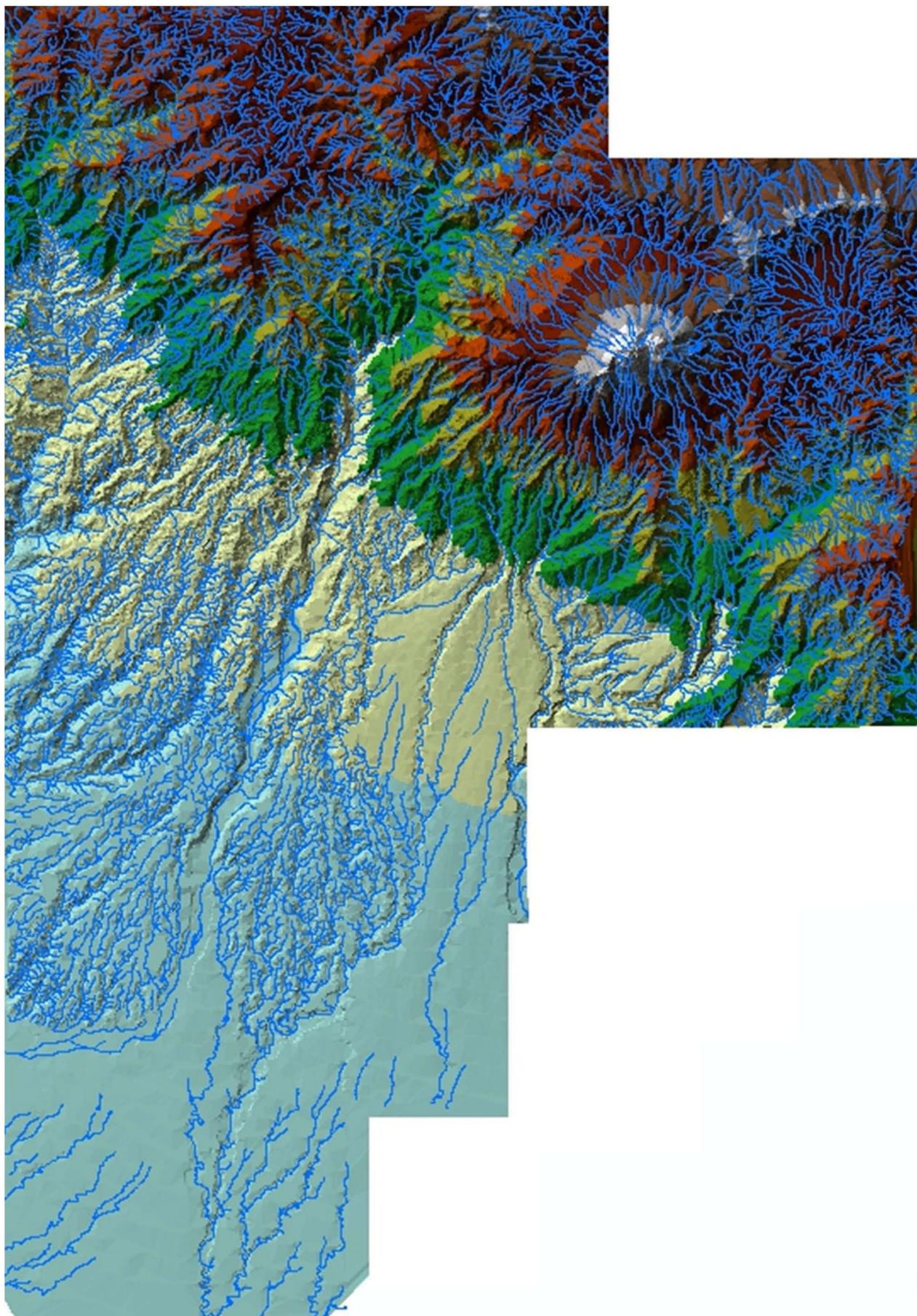
### 6.2.1 Mapa Altimétrico



## 6.2.2 Mapa Planimétrico



### 6.2.3 Modelo Digital de Elevación (MDE)



## CONCLUSIONES

El Plan Operativo de Protección Civil del Volcán Tacaná requirió como he tratado de mostrar en páginas anteriores, de todo un **Proceso Fotogramétrico**, para la elaboración de un documento en el que se pudieran visualizar: entornos naturales, obras civiles, bienes materiales, pero lo más importante localización de asentamientos humanos.

A partir del producto final de este trabajo el “Mapa de Riesgos” se ha podido “Diseñar, elaborar, implementar y apoyar al desarrollo de programas especiales ante sucesos propios del volcán”; en coordinación con las dependencias federales, estatales y municipales involucradas.

A la fecha se encuentra instalada la Red de Monitoreo Sísmico con tres estaciones: Pavencul, Chiquihuites y La Patria, las cuales proporcionan información correspondiente del volcán, coordinado a través del centro de monitoreo Volcanológico-Sismológico, por parte de la Subsecretaría de Protección Civil, la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, el Centro Nacional de Desastres, el Servicio Sismológico Nacional y el Instituto de Geofísica de la UNAM.

A nivel regional, el drenaje desemboca hacia la Cuenca del Pacífico y está regido principalmente por el gradiente topográfico regional, el fracturamiento y el tipo de roca. En la zona del Volcán Tacaná se distinguen dos tipos de drenaje principalmente: el drenaje dendrítico arborescente y el drenaje radial centrífugo abierto.

El primero, representa el drenaje regional de la zona y el más extendido, ya que en general se presenta en rocas graníticas y volcánicas terciarias. Dentro de esta red de corrientes principales son el Río Coatán, ubicado al N-NE del volcán y el Río Suchiate al SE.

De ambos ríos el más importante es el Coatán, debido a que es el que drena la mayor parte de la región. A lo largo de este río desembocan numerosas corrientes del drenaje radial centrífugo proveniente del volcán, como son los ríos Aguascalientes y Toquián (al norte del volcán), los cuales tienen grandes caudales que se tomaron en cuenta para el análisis de riesgos, debido a que un posible flujo piroclástico podría encauzarse por tales ríos y al mezclarse con el agua formar un lahar (Flujo de lodo). Es importante mencionar que el Río Coatán, antes de desembocar en el Océano Pacífico pasa por una serie de poblados como es la ciudad de Tapachula, considerada como una de las ciudades más importantes del estado de Chiapas, tanto por su importancia económica como su población.

Cabe mencionar que el Río Coatán lleva su cauce siguiendo un fracturamiento preferencial en las rocas, con dirección N – S.

Por su parte el Río Suchiate aunque de mayor interés, por no tener tanta distribución en la zona no deja de ser importante, ya que tiene un caudal considerable y una parte de las corrientes del drenaje radial del volcán vierte sus aguas a este río, que está ubicado en la

porción SE de las faldas del Tacaná, fluye de NE a SE, esto es de Guatemala a México, desembocando al Océano Pacífico.

El drenaje radial centrífugo está controlado por la estructura volcánica conformada por andesitas y lahares principalmente. Toda el agua que precipita sobre el volcán se drena mediante este sistema radial, alimentando en su gran mayoría a las corrientes del Coatán y en menor grado a las del Suachiate.

Es importante mencionar que la gran mayoría de los valles de este drenaje, son profundos con buena extensión longitudinal en las laderas del volcán, una pendiente de hasta 30° y con caudales considerables en época de lluvias.

Apoyándose en lo expuesto y en la posibilidad de que ocurra una erupción volcánica en la región, los materiales eyectados descenderán primeramente por las pendientes mayores y éstas son las éstas son los cauces principales, establecidos por el drenaje; en base a los datos obtenidos del mapa topográfico generado se elaboran mapas de zonación de riesgo volcánico y zonas críticas. Los escenarios originados por el Huracán Stan en 2005, son similares a lo que podría suceder con lahares provocados por una erupción del volcán Tacaná.

A simple vista parece fácil calificar el riesgo volcánico en una región en particular, pero en realidad es complejo. El riesgo presentado para las comunidades por un peligro volcánico no necesita ser el mismo para varios elementos de esas comunidades tales como su infraestructura, animales, maquinaria y viviendas.

Existen varios tipos de peligros volcánicos que están íntimamente relacionados en composición y situación tectónica del volcán que les da origen y se pueden clasificar de la siguiente manera:

<b>Alto Riesgo</b>	<b>Riesgo Intermedio</b>	<b>Bajo Riesgo</b>
Flujos y oleadas piroclásticas	Caída de tefra	Flujo de lava
Lahares y/o flujos de lodo	Gases y lluvia ácida	Actividad sísmica
Explosiones laterales y colapso estructural		Efectos atmosféricos
Tsunami		

**Tabla 1.** Grado de riesgo según el peligro volcánico. Blong (1984).

De los municipios que puedan resultar afectados por éste fenómeno se encuentran con certeza Unión Juárez, siendo la cabecera municipal con el mismo nombre completamente expuesta en caso de un evento magmático del volcán. El municipio de Cacahoatán, en su parte noreste también se ve afectada por desplazamiento de flujos y oleadas piroclásticas provenientes del Tacaná pero desplazándose sobre las principales barrancas donde fluyen los ríos y cursos fluviales secundarios. Los poblados de Vega del volcán y San Rafael, del lado de Guatemala, así como comunidades aledañas se verían afectadas, y en general, a una distancia de entre 10 y 15 Km. del volcán Tacaná.

AMENAZA	DISTANCIA ( Km )	ÁREA AFECTADA ( Km <sup>2</sup> )	NIVEL DE RIESGO
Sismicidad	5	800	Bajo
Flujo piroclástico	5 – 10	10 – 20	Alto
Bomba	2 – 5	10	Medio
Caída de Tefra	Más de 10	Más de 1000	Medio
Flujo de lava	3 – 10	2	Bajo
Lahar	10 – 20	10 – 20	Alto
Gases/lluvia ácida	20 – 30	1000	Medio

**Tabla 2.** Alcance y Nivel del Peligro.

Desde la perspectiva del riesgo (relación entre factores de amenaza y factores de vulnerabilidad), estos factores permitirán la zonificación del riesgo volcánico en sus distintos grados.

AMENAZA	FACTORES DE VULNERABILIDAD	TIPO DE GESTIÓN
Sismicidad	Deslizamientos; derrumbes de terreno en áreas cercanas al volcán; vías terrestres cercanas; viviendas antiguas o deterioradas; debilitamiento de obras civiles (represas, puentes, túneles, etc.)	Registro de la sismicidad; monitoreo de laderas, observación de la estructura de viviendas y obras civiles.
Flujo Piroclástico	Transporte aéreo, ferroviaria y en carreteras.  Visibilidad y la salud de las personas.	Determinación de área de restricción aledañas al volcán; evacuación de la población aledaña al volcán.
Bomba	Áreas aledañas al cráter, laderas del edificio volcánico.	Determinación de área de restricción (cercanas al cráter).

Caída de Tefra	Tipo y diseño de viviendas (techos). Densidad de la población. Suelos agrícolas, animales. Elementos ambientales (aire, agua, suelo). Direcciones de vientos predominantes.	Monitoreo de vientos; restricción a zonas determinadas, despeje de vías principales, evacuación de poblaciones vulnerables (enfermes, ancianos, niños) Análisis de aguas, movilización de ganado a sectores seguros, alimentación, ganadería etc.
Flujo de Lava	Zonas aledañas a quebradas y laderas próximas al volcán.	Restricción a zonas afectadas, monitoreo a caudales y activación de quebradas por derretimiento de niveles (si hay).
Lahar	Asentamientos humanos ubicados en zonas aledañas a quebradas, pendientes, laderas y valles próximos al volcán. Infraestructura vial y obras de ingeniería (represas).	Limpieza y encauzamiento de esteros y ríos que bajan del volcán. Prohibición de nuevas construcciones habitacionales en áreas de alto riesgo. Reforzamiento de obras civiles.
Gases / Lluvia ácida	Población, flora y fauna aledañas al volcán.	Análisis de aguas, flora y fauna; evacuación de personas y animales de zonas afectadas. Protección de fuentes de agua potable (pozos, vertientes) y alimentos.

**Tabla 3.** Gestión de Riesgo Volcánico. Plan Operativo Tacaná, Chiapas (2007).

No obstante que este volcán es considerado como peligroso, la base de los resultados topográficos, geoquímicos y de sismicidad, permiten afirmar que en este momento no manifiesta peligro para la población que vive en sus cercanías.

Actualmente este volcán se encuentra principalmente con actividad fumarólica, pero sin que ello represente peligro.

Las erupciones magmáticas del volcán Tacaná son posibles en el futuro. Una actividad magmática podría desarrollarse según escenarios basados en volcanes similares como: el Arenal, el Santa María, Santiaguito y el St. Helens. A consecuencia de esta actividad magmática renovada podrían generarse graves riesgos ( Mercado R. y Williams I. Rose, 1991).

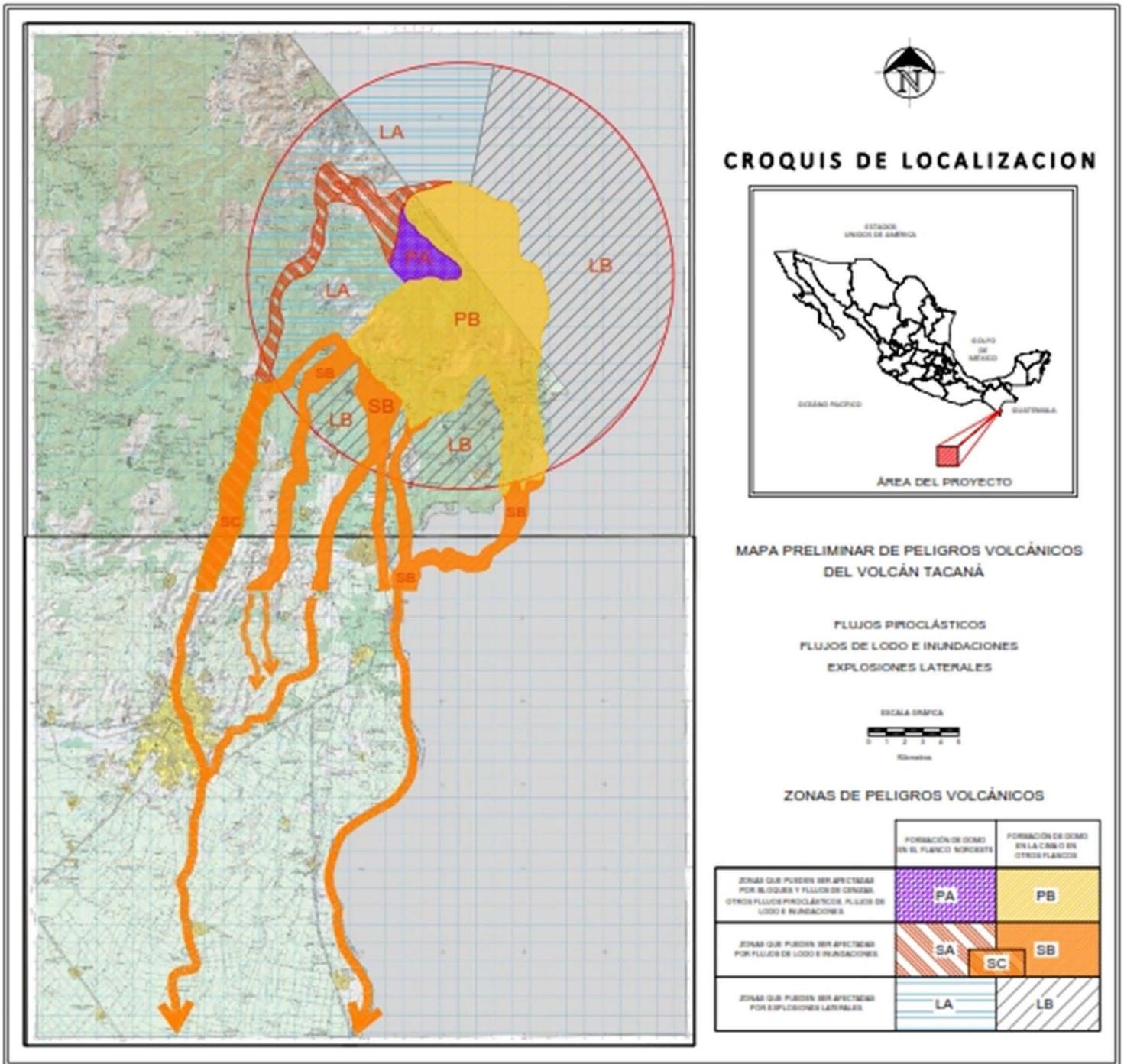
Para el volcán en cuestión y sus municipios y localidades aledañas con grado de riesgo se puede ver en la siguiente tabla:

Municipio	Población Total	Viviendas Totales	Número de Poblados	Ciudad Principal
Cacahoatán	39 033	7 799	82	Cacahoatán
Frontera Hidalgo	10 917	2 277	14	Frontera Hidalgo
Metapa	4 794	1 051	7	Metapa de Domínguez
Suchiate	30 251	6 697	157	Cd. Hidalgo
Tapachula	271 674	61 444	415	Tapachula
Tuxtla Chico	33 467	6 819	42	Tuxtla Chico
Unión Juárez	13 934	2 796	39	Unión Juárez
<b>Total</b>	<b>404 070</b>	<b>88 883</b>	<b>756</b>	

**Tabla 4.** Aspectos demográficos de los municipios aledaños al Volcán Tacaná  
Tomado y modificado de INEGI (1996).

El 28 de enero de 2003, el área del volcán Tacaná, considerado una zona de alta riqueza y diversidad biológica fue declarada Reserva de la Biosfera, comprendiendo unas 6,738 has. de los municipios de Tapachula, Cacahoatán y Unión Juárez.

# MAPA DE RIESGOS



## BIBLIOGRAFIA

- ❖ Introducción a la Fotogrametría  
Fotointerpretación y Fotogrametría  
Autor: J. Martín López  
EUIT Topográfica, Madrid, 1993
  
- ❖ Elementos de Fotogrametría  
Uso de Materiales Fotogramétricos  
Autor: Ing. M.C. Bernard Herrera Herrera  
Ed. Limusa
  
- ❖ Topografía  
Autor: Miguel Montes de Oca  
Ed. Alfaomega, 4ª. Edición
  
- ❖ Introducción a la Fotogrametría  
ETSI Camonos, Canales y Puertos  
Autor: José Antonio Sánchez Sobrino  
2006-2007  
[http://delegacion.caminos.upm.es/apuntes/ICCP/3\\_tercero/Topografia/Fotogrametria.pdf](http://delegacion.caminos.upm.es/apuntes/ICCP/3_tercero/Topografia/Fotogrametria.pdf)
  
- ❖ Introducción a la Fotogrametría  
Capítulo 1  
Autor: Luis Jauregui  
<http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/Fotogrametr%EDa/CAPITULO1.pdf>
  
- ❖ Apuntes de Fotogrametría II, III  
Universidad de Extremadura  
Centro Universitario de Mérida, España  
Autor: Juan Antonio Pérez Álvarez  
Septiembre 2001
  
- ❖ Las Coordenadas Geográficas y la Proyección UTM  
(El Datum)  
Autor: Ignacio Alonso Fernández Coppel  
Universidad de Valladolid, España  
<http://www.cartesia.org/data/apuntes/cartografia/cartografia-geograficas-utm-datum.pdf>

- ❖ Cartografía II  
Representación del Relieve  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Topografía, Geodesia y Cartografía.  
2008
  
- ❖ Guía para la Interpretación de la Cartografía  
Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)  
2005
  
- ❖ Interpretación y uso de las Cartas Topográficas  
Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)  
2005
  
- ❖ Aerotriangulación: Cálculo y Compensación de un Bloque Fotogramétrico  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Topografía, Geodesia y Cartografía.  
Autor: José Luis Lerma García  
[http://jllerma.webs.upv.es/Lerma\\_AT\\_1999\\_UPV\\_p.pdf](http://jllerma.webs.upv.es/Lerma_AT_1999_UPV_p.pdf)
  
- ❖ Fotogrametría  
Autor: Otero; A. Esquerra; R. Rodríguez-Solano; L. Martín; I. Bachiller  
[http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-cartografia-y-geodesia/contenidos/TEMA\\_11\\_FOTOGRAFIETRIA\\_Y\\_TELEDETECCION/Fotogrametria/fotogrametria\\_cap\\_libro.pdf](http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-cartografia-y-geodesia/contenidos/TEMA_11_FOTOGRAFIETRIA_Y_TELEDETECCION/Fotogrametria/fotogrametria_cap_libro.pdf)
  
- ❖ Generación de Modelos de Elevación Digital y Ortoimágenes  
Autor: Salinas Castillo, W.E. Treviño Garza, E.J. y Dávila Vega, P.  
<http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=GENERACION+DE+MODELOS+DE+EL+EVACION+DIGITAL+Y+ORTOIMAGENES>
  
- ❖ Geodesia Teórica y Práctica  
Universidad de Santiago de Chile  
Autor: Pedro Garafulic Caviedes  
<http://www.cartografia.cl/download/geodesiateorica.pdf>
  
- ❖ Modelo Geoidal en México y sus Aplicaciones  
Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)  
Autor: LMA. David Ávalos Naranjo, Ing. Raúl Muñoz Abundes,  
Ing. Manuel Sosa Gaytan  
Marzo 2006

- ❖ Elaboración de Mapas de Peligros Volcánicos  
Capítulo IV  
Autor: Alicia Martínez Bringas, Ángel Gómez Vázquez y Servando de la Cruz-Reyna
  
- ❖ Nociones de Geodesia. GPS  
Autor: Jorge Franco Rey  
[http://www.cartesia.org/data/apuntes/nociones/Nociones\\_de\\_Geodesia\\_y\\_GPS.pdf](http://www.cartesia.org/data/apuntes/nociones/Nociones_de_Geodesia_y_GPS.pdf)
  
- ❖ Modelo Digital de Elevaciones  
Autor: Ángel Manuel Felicísimo  
<Http://www.etsimo.uniovi.es>
  
- ❖ Introducción a la Fotogrametría Digital  
Universidad de Salamanca, España  
Autor: Javier Gómez Lahoz  
<http://212.128.130.23/eduCommons/enseñanzas-tecnicas/procesamiento-avanzado-de-imagenes-digitales/contenidos/Tema4.pdf>
  
- ❖ Aplicaciones Topográficas del GPS Tema 12  
Autor: M. Farjas  
<http://212.128.130.23/eduCommons/enseñanzas-tecnicas/procesamiento-avanzado-de-imagenes-digitales/contenidos/Tema4.pdf>
  
- ❖ Métodos Fotogramétricos Tema 2  
Autor: Javier Sánchez  
[http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/topografia-y-geodesia/topografia%20y%20geodesia/04\\_matClase/ud3\\_2\\_MetFotogrametricos.pdf](http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/topografia-y-geodesia/topografia%20y%20geodesia/04_matClase/ud3_2_MetFotogrametricos.pdf)
  
- ❖ Topografía Elemental  
Escuela de Ingeniería Civil-UTPL  
Unidad 4. Levantamientos de Campo  
Autora: Nadia Chacón Mejía  
<http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=TOPOGRAFIA+ELEMENTAL>
  
- ❖ Estándares de Presentación Cartográfica  
Subdirección de Información Geológico Minera INGEOMINAS.  
<http://www.ingominas.gov.co/getattachment/87683566-9048-4411-b3fb-da44c5ea56f7/Estandares-de-presentacion-cartografica-escalas-1-.aspx>