

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES  
FACULTAD DE TECNOLOGIA  
CARRERA DE GEODESIA TOPOGRAFIA Y  
GEOMATICA**



**PROYECTO DE GRADO  
NIVEL LICENCIATURA**

**ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE  
COORDENADAS P.T.L. A NIVEL URBANO DENTRO DEL  
MUNICIPIO DE LA PAZ**

**POSTULANTE : JUAN GARAY MACHICADO**  
**TUTOR : LIC. LUIS ELIZARDO MAMANI MAMANI**

La Paz - Bolivia  
2020



*Dedicatoria*

*A mis Padres*

*Margarita Machicado Velarde*

*Pablo Garay*

*Por darme la vida y ejemplo de superación*

*A mi familia*

*Julieta Valencia Paredes (Esposa)*

*Joselinne Tatiana Garay Valencia (Hija)*

*Brandon Pablo Garay Valencia (Hijo)*

*Por su constante apoyo para realizar el proyecto*



## *Agradecimientos*

*A mis Docentes*

*Gracias por compartir sus conocimientos,*

*Y forjar profesionales con sentido humano*

*Por último, gracias a todas las personas que me han animado en este largo camino, soportando y comprendiendo con estoica paciencia la dedicación que requiere la realización de un proyecto de grado.*

*Muchas gracias a todos.*



## ÍNDICE

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
<b>CAPITULO I</b>	
<b>ASPECTOS GENERALES</b>	
1.1. Introducción.....	10
1.2. Antecedentes.....	11
1.3. Justificación.....	12
1.4. Planteamiento del Problema.....	13
1.5. Referencia Geográfica.....	14
1.5.1. Delimitación Geográfica.....	14
1.5.2. Aspectos Fisiográficos.....	15
1.6. Objetivos.....	16
1.6.1. Objetivo General.....	16
1.6.2. Objetivos Específicos.....	16
<b>CAPITULO II</b>	
<b>MARCO TEÓRICO</b>	
2.1. Topografía.....	17
2.2. Geodesia.....	20
2.2.1. Sistema de Posicionamiento GNSS.....	21
2.3. Cartografía.....	26
2.3.1. Sistema De Proyección TM.....	30
2.3.2. Historia de la Proyección UTM y su Empleo en Bolivia.....	30
2.3.3. El Problema de Las Proyecciones.....	34
2.3.4. Sistema de Proyección LTM-PTL.....	35
2.4. Sistemas de Información Geográfica.....	38
<b>CAPITULO III</b>	
<b>MARCO METODOLÓGICO</b>	
3.1. Metodología Empleada.....	41
3.2. Muestra de Población.....	43
3.3. Materiales.....	54
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>DESARROLLO DEL TRABAJO</b>	
4.1. Delimitación espacial del área de estudio.....	55
4.1.1. Delimitación General a Nivel Urbano.....	55
4.1.2. Delimitación Sectorizada por zonas P.T.L.....	56



4.2. Construcción del Sistema de Coordenadas P.T.L. ....	58
4.2.1. Sistema de Coordenadas P.T.L. Urbano L.P. ....	58
4.2.2. Sistema de Coordenadas P.T.L. Sectorizada por Zonas ....	59
4.3. Proyección del Sistema de Coordenadas U.T.M. a P.T.L. ....	62
4.3.1. Proyección al Sistema de Coordenadas P.T.L. Urbano L.P. ....	62
4.3.2. Proyección al sistema de Coordenadas P.T.L. por Zonas ....	64
4.4. Análisis de los Sistemas de Coordenadas P.T.L. ....	68
4.4.1. Análisis del Sistemas de Coordenadas P.T.L. Urbano L.P. ....	69
4.4.2. Análisis del Sistemas de Coordenadas P.T.L. por Zonas L.P. ....	72
CAPITULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1. Conclusiones ....	77
5.2. Recomendaciones ....	78
CAPITULO VI	
MARCO REFERENCIAL	
6.1. Bibliografía ....	79



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Figura No. 1 - Ubicación del área de estudio .....	14
Figura No. 2 - Modelo Digital de Elevaciones del área de estudio.....	15
Figura No. 3 - Esquema de una poligonal abierta .....	19
Figura No. 4 - Esquema de una poligonal cerrada .....	19
Figura No. 5 - Esquema de una poligonal con enlace .....	20
Figura No. 6 - La geodesia y las formas de la tierra .....	20
Figura No. 7 - Superficies de referencia.....	21
Figura No. 8 - Sistema de posicionamiento GNSS.....	22
Figura No. 9 - Posicionamiento Puntual o Absoluto .....	23
Figura No. 10 - Posicionamiento Diferencial .....	23
Figura No. 11 - Esquema del cilindro y líneas loxodromicas .....	27
Figura No. 12 - Proyección transversal de Mercator (Gauss Kruger) .....	29
Figura No. 13 - Zonas universales transversales de Mercator.....	31
Figura No. 14 - Ubicación de Bolivia en las zonas UTM.....	32
Figura No. 15 - Mapa de Bolivia en las tres zonas UTM.....	33
Figura No. 16 - Sistema de proyección LTM .....	36
Figura No. 17 - Trasposición de capas temáticas georreferenciadas .....	39
Figura No. 18 - Formatos SIG Ráster y Vector.....	40
Figura No. 19 - Esquema de las características de la población muestra.....	41
Figura No. 20 - Esquema de análisis a través de comparaciones técnicas .....	41
Figura No. 21 - Esquema del proceso técnico de la metodología empleada .....	42
Figura No. 22 - Población y Muestra.....	43
Figura No. 23 - Muestra 1, Lote en la zona Agua de la Vida .....	44
Figura No. 24 - Muestra 2, Lote en la zona Bajo San Isidro .....	45
Figura No. 25 - Muestra 3, Lote en la zona Bajo Seguencoma .....	46
Figura No. 26 - Muestra 3, Lote en la zona Bajo Seguencoma .....	47
Figura No. 27 - Muestra 5, Lote en la zona Chuquiaguillo .....	48
Figura No. 28 - Muestra 6, Lote en la zona Irpavi .....	48
Figura No. 29 - Muestra 7, Lote en la zona La Glorieta .....	49
Figura No. 30 - Muestra 8, Lote en la zona Seguencoma .....	50
Figura No. 31 - Muestra 8, Lote en la Urbanización Ciudadela Stronguista.....	50
Figura No. 32 - Muestra 10, Manzano en la zona Alto la Portada .....	51
Figura No. 33 - Muestra 11, Manzano en la zona Llojeta .....	52



Figura No. 34 - Muestra 12, Parque en la zona Tembladerani .....	52
Figura No. 35 - Muestra 12, Manzano en la zona Calacoto.....	53
Figura No. 36 - Muestra 14, Manzano en la zona Mallasa .....	54
Figura No. 37 - Delimitación General P.T.L. Urbano L.P.....	56
Figura No. 38 - Delimitación P.T.L. por zonas L.P.....	57
Figura No. 39 - Proceso de transformación de sistema de coordenadas.....	63
Figura No. 40 - Proceso de transformación de sistema de coordenadas.....	63
Figura No. 41 - Proceso de transformación de sistema de coordenadas.....	64
Figura No. 42 - Transformación de UTM a PTL Zona 1 LP .....	65
Figura No. 43 - Transformación de UTM a PTL Zona 2 LP .....	66
Figura No. 44 - Transformación de UTM a PTL Zona 3 LP .....	67
Figura No. 45 - Transformación de UTM a PTL Zona 4 LP .....	68
Figura No. 46 - Grafica de diferencias en longitudes de perímetro.....	70
Figura No. 47 - Grafica de diferencias en superficies.....	72
Figura No. 48 - Grafica de diferencias en longitudes de perímetro.....	74
Figura No. 49 - Grafica de diferencias en superficies.....	76



## ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Página
Tabla No. 1 - Evolución de la TM.....	30
Tabla No. 2 - Detalles Muestra 1, zona Agua de la Vida .....	44
Tabla No. 3 - Detalles Muestra 2, zona Bajo San Isidro .....	45
Tabla No. 4 - Detalles Muestra 3, zona Bajo Seguencoma .....	46
Tabla No. 5 - Detalles Muestra 4, zona Callapa .....	47
Tabla No. 6 - Detalles Muestra 5, zona Chuquiaguillo.....	47
Tabla No. 7 - detalles Muestra 6, zona Bajo Seguencoma.....	48
Tabla No. 8 - Detalles Muestra 7, zona La Glorieta.....	49
Tabla No. 9 - Detalles Muestra 8, zona Seguencoma .....	49
Tabla No. 10 - Detalles Muestra 9, Urbanización Ciudadela Stronguista.....	50
Tabla No. 11 - Detalles Muestra 10, zona Alto la Portada .....	51
Tabla No. 12 - Detalles Muestra 11, zona Llojeta.....	51
Tabla No. 13 - Detalles Muestra 12, zona Tembladerani.....	52
Tabla No. 14 - Detalles Muestra 13, zona Calacoto .....	53
Tabla No. 15 - Detalles Muestra 14, zona Mallasa .....	53
Tabla No. 16 – Detalles de la delimitación general P.T.L. Urbano L.P.....	55
Tabla No. 17 - Detalles de la delimitación sectorizada por zonas P.T.L. ....	57
Tabla No. 18 - Parámetros de la proyección L.T.M. ....	58
Tabla No. 19 - Parámetros del sistema de coordenadas P.T.L. Urbano L.P.....	59
Tabla No. 20 - Parámetros de la proyección L.T.M. ....	59
Tabla No. 21 - Parámetros del sistema de coordenadas P.T.L. Zona 1 L.P. ....	60
Tabla No. 22 - Parámetros del sistema de coordenadas P.T.L. Zona 2 L.P. ....	60
Tabla No. 23 - Parámetros del sistema de coordenadas P.T.L. Zona 3 L.P. ....	61
Tabla No. 24 - Parámetros del sistema de coordenadas P.T.L. Zona 4 L.P. ....	61
Tabla No. 25 - Parámetros del sistema de coordenadas P.T.L. Zona 5 L.P. ....	62
Tabla No. 26 - Resultados de la transformación PTL Urbano LP .....	64
Tabla No. 27 - Elementos que corresponden a la zona 1 .....	65
Tabla No. 28 - Resultados de la transformación PTL Zona 1 LP .....	65
Tabla No. 29 - Elementos que corresponden a la zona 2.....	65
Tabla No. 30 - Resultados de la transformación PTL Zona 2 LP .....	66
Tabla No. 31 - Elementos que corresponden a la zona 3.....	66
Tabla No. 32 - Resultados de la transformación PTL Zona 3 LP .....	67
Tabla No. 33 - Elementos que corresponden a la zona 4.....	67



Tabla No. 34 - Resultados de la transformación PTL Zona 4 LP .....	68
Tabla No. 35 - Tabla de comparaciones: Perímetro Topográfico vs. PTL Urbano LP .....	69
Tabla No. 36 - Tabla de comparaciones: Superficie Topográfico vs. PTL Urbano LP .....	71
Tabla No. 37 - Tabla de comparaciones: Perímetro Topográfico vs. PTL Zonas LP .....	73
Tabla No. 38 - Tabla de comparaciones: Superficie Topográfico vs. PTL Zonas LP .....	75

## **ANEXOS**

Mapa de Diferencias en Longitudes de Perímetro PTL URBANO LP

Mapa de Diferencias en Areas PTL URBANO LP

Mapa de Diferencias en Longitudes de Perímetro PTL Zonas LP

Mapa de Diferencias en Areas de PTL Zonas LP



## RESUMEN

La representación de la Tierra, total o parcial, lleva consigo una serie de limitaciones, la forma y dimensiones de la misma, hacen que, cuando se trata de representar de forma métrica un territorio de cierta extensión, haya que trabajar con ciertos sistemas de referencia (elipsoides, esferas, etc.), así como con sistemas de representación cartográfico (proyecciones cartográficas; UTM, Lambert, LTM. PTL, etc.). El empleo de sistemas de representación conlleva una deformación (anamorfosis), aun cuando las proyecciones utilizadas son generalmente conformes (las formas se mantienen, pero no así las distancias y las superficies), por lo que esto deriva en que el valor de las distancias y superficies se ve alterado.

El presente proyecto refiere aspectos técnicos de un análisis de la aplicación de un sistema de coordenadas P.T.L. a nivel urbano, donde se aplica metodologías comparativas de un conjunto de muestras, para analizar el grado de afinidad que puedan alcanzar los resultados de dicho sistema, con respecto a los levantamientos topográficos sin deformaciones lineales y superficiales.

Se toman 14 muestras entre lotes, manzanos y parques en diferentes lugares del área de estudio, todas estas muestras se caracterizan por ser mensuras topográficas (sin factor combinado), y mensuras UTM (con factor combinado), donde, se realizan transformaciones de coordenadas UTM a coordenadas PTL. El análisis a través de comparaciones de los resultados y las muestras se realiza con respecto a los perímetros y superficies, PTL vs Topográficos.

Los resultados comprenden la construcción de dos sistemas de coordenadas PTL, uno a nivel general y otro sectorizado por zonas, donde, ambos sistemas de coordenadas P.T.L., deponen rasgos comparativamente positivos puesto que, la observación de ambos sistemas (a nivel general y por zonas), exponen en gran parte de sus resultados, un alto grado de satisfacción, considerando que los resultados de los análisis con mayor detalle, afirman que el empleo de un sistema de coordenadas P.T.L. sectorizada por zonas presenta resultados con diferencias menores en los factores lineales y superficiales (perímetro y área), con respecto a las distorsiones provocadas por las proyecciones cartográficas.



## CAPITULO I

# ASPECTOS GENERALES

### 1.1. Introducción

El presente documento es un proyecto orientado al análisis de la aplicación de un sistema de coordenadas P.T.L. a nivel urbano, como alternativa a la que por hoy en día es común e ineludible el uso del sistema de coordenadas U.T.M. dentro del Municipio de La Paz. Un sistema de coordenadas P.T.L. se caracteriza por representar superficies terrestres de no mucha extensión sin distorsión en las distancias medidas en terreno que son representadas cartográficamente.

La importancia de realizar un análisis en la implementación de un sistema de coordenadas alterno al actual, está enfocada en poseer los elementos técnicos que logren condescender la necesidad de establecer un mecanismo de representación real del terreno, donde se logre dimitir cualquier tipo de distorsión a causa de la proyección sin dejar de lado la vinculación a una referencia espacial.

A pesar de que el sistema de coordenadas UTM es un buen sistema de proyección, su utilización produce deformaciones, que para los planos topográficos con escalas pequeñas (1: 25.000 y menores, su resolución no permite apreciarlas gráficamente), no son significativas, sin embargo, para planos a escalas grandes (1: 5.000 y mayores), las precisiones obtenidas no cumplen con los requerimientos y especificaciones gráficas o de valores numéricos que en la actualidad se exigen en cuanto a precisión.

El análisis de la implementación de un sistema de coordenadas P.T.L. a nivel Urbano, se estructura principalmente en definir la viabilidad de un único sistema a nivel general o en un sistema definido por zonas de acuerdo a la fisiografía urbana y de ciertos aspectos técnicos relacionados a un sistema de coordenadas con estas características.

Debido a la gran extensión de la población urbana del Municipio de La Paz y su notable desproporción fisiográfica, es difícil someter las suficientes muestras necesarias, para un análisis completo que llegue a determinar de forma absoluta el empleo de un sistema de coordenadas P.T.L. dentro del municipio de La Paz a corto plazo, sin embargo, se lograra definir una idea clara de la viabilidad de dicho sistema.



## 1.2. Antecedentes

En el mundo y en la región, el 90 por ciento de los países, utilizan el sistema de coordenadas UTM, por ser este de carácter “UNIVERSAL”, como su nombre lo indica y por haber sido uno de los más precisos en su época (Década del 50), pese a que su empleo induce a introducir errores relativos en las mensuras, en la actualidad estos errores ya no son tolerables, Sin embargo cabe mencionar que el sistema sigue siendo el más usado a pesar de ser un sistema enfocado principalmente a la representación de elementos de la superficie terrestre a escalas medianas y ciertas escalas pequeñas (estas escalas principalmente son empleadas en la representación de grandes poblaciones a nivel provincial e inclusive a nivel departamental).

Los trabajos regulados por la ley además de las obras y proyectos, generalmente no emplean sistemas de proyección adecuados para los mismos.

Países como: Japón, Canadá, Italia, y en la región, Colombia, Brasil y Chile, comenzaron a usar variantes de este sistema, para su territorio de manera íntegra o parcial, con parámetros que sus geodestas establecieron, de acuerdo a las características geográficas y latitud de sus naciones.

Bajo este contexto, estas naciones proponen proyecciones como las denominadas: Local Transversal de Mercator LTM, Regional Transversal de Mercator RTM, o la llamada Nacional Transversal de Mercator NTM, todas ellas variantes de la UTM, que son una alternativa viable, usadas de acuerdo a la finalidad requerida.

Por ejemplo, la representación NTM, (específica para un país), es la recomendada para estados como Chile, si se desea reducir las deformaciones de la proyección en este país, cuya característica geográfica es ser extendido a lo largo de un meridiano.

Brasil comenzó a utilizar proyecciones RTM y LTM, por lo extenso y ancho de su territorio, observando siempre el fin y el para qué de sus proyectos, por ejemplo “en sus carreteras (rodovias), sus ingenieros recurren a las proyecciones LTM para minimizar las distorsiones”<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Millares, F. pág. 70.



En cuanto a Bolivia aun no existen variantes de UTM con parámetros específicos para el país, que permitan reducir los errores introducidos por la deformación de los sistemas de proyección.

Jurídicamente hablando, nuestra legislación, cuenta con un número considerable de normas que establecen, mencionan o imponen el empleo del Sistema de proyección UTM, para la ejecución de diferentes trabajos tanto de campo como de gabinete.

Al imponerse, a fuerza de ley, la utilización de este sistema de proyección, se exige realizar los diferentes trabajos, introduciendo deformaciones propias del sistema, que como consecuencia deriva en el incremento del error relativo en las faenas de campo y gabinete, es decir, se impone mediante la ley, trabajar con deformaciones que introducen diferencias, los cuales ya no son aceptables en la actualidad. El sistema de proyección Local Transversal de Mercator a través de un Plano Topográfico Local, como variante, es totalmente factible, siendo que este puede estar referido a la Red MARGEN (Marco de Referencia Geocéntrico Nacional). Esta red diseñada y establecida por el IGM para Bolivia, y vinculado a la “Red SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas), es compatible con los sistemas de posicionamiento global GNSS de alta precisión, sin tener que recurrir a parámetros de transformación aproximados, como es el caso, cuando se emplean sistemas geodésicos clásicos”<sup>2</sup>.

### 1.3. Justificación

Tomando en cuenta las experiencias de otros países, existe la necesidad de emplear un sistema LTM - PTL, por traducirse en un beneficio local dentro del municipio en cuanto a aspectos jurídicos, tecnológicos e inclusive económicos.

Actualmente, no existen en Bolivia variantes al sistema de coordenadas UTM, con parámetros específicos a nivel urbano que permitan minimizar errores en las diferentes actividades donde intervienen las geociencias. Independientemente de nuestro grado de desarrollo, puede ser aprovechado al mismo tiempo de actualizar la metodología y la normativa, en las nuevas tendencias globales de alcanzar mayor precisión.

---

<sup>2</sup> Zepeda, 2005.



De obtenerse los parámetros adecuados no solo a nivel Urbano Municipal sino inclusive a nivel Nacional y normar su empleo, esta herramienta técnica llegaría a mejorar las precisiones en los trabajos con respecto a sus representaciones cartográficas. Esto implica dejar de lado el uso de la proyección UTM en trabajos topográficos referidos al catastro, saneamiento, etc., donde las discrepancias de las distancias de terreno respecto de las proyectadas, resultan inaceptables, problema que se solucionaría si se emplearía una proyección local con parámetros específicos.

#### **1.4. Planteamiento del Problema**

Al momento de representar superficies terrestres que se encuentran a alturas mayores a la del nivel del mar, las distancias en el plano entre dos puntos, son menores que las del terreno. Al concebir zonas de  $6^\circ$  de longitud como presenta cada zona UTM, las distorsiones lineales, si bien no son excesivas, estas existen. Las líneas secantes, que no son meridianos, tienen lógicamente un factor de escala igual a 1; el meridiano central ubicado al centro de las líneas secantes tiene por construcción un factor de escala igual a 0,9996. En la medida que se produce un alejamiento en sentido este-oeste (longitud) desde las líneas secantes del cilindro transversal, aumentan las deformaciones causadas por los parámetros propios de la proyección, llegando a alcanzar valores inadmisibles en la actualidad.

Lo notorio en las actividades, trabajos o proyectos, relacionados al tema que hacen uso de estas proyecciones, es la inconsistencia de los datos geométricos, siendo que, durante la ejecución de estos trabajos, afloran las diferencias inducidas por la proyección adoptada, causando así una serie de incertidumbres en los usuarios finales. Por otro lado, estos trabajos deben ejecutarse con principios Geodésicos, y no sólo Topográficos, esto quiere decir que deben estar georreferenciados en un sistema de referencia oficial, es por ello que muchos países optaron por introducir una serie de variantes al actual sistema de coordenadas UTM para minimizar los mismos. A partir de ahí se formula el siguiente problema:

- ¿El análisis de la aplicación de un sistema de Coordenadas P.T.L. a nivel urbano del municipio de La Paz, lograra dar un enfoque de la viabilidad en el uso de dicho sistema?

## 1.5. Referencia Geográfica

El Municipio de La Paz se ubica a las riberas del río Choqueyapu dentro de la provincia Murillo, el centro principal del municipio está aproximadamente a 3650 msnm que junto a la ciudad de El Alto forman el segundo núcleo urbano más grande y poblado del Estado Plurinacional de Bolivia. La topografía del área de estudio se caracteriza por ser irregular y su morfología tiende a valles seniles como valles jóvenes, presenta una meseta altiplánica donde se muestra una pendiente regular, se ubica dentro de dos áreas fisiográficas: terrenos altiplanos y las serranías de la cordillera oriental.

### 1.5.1. Delimitación Geográfica

Específicamente el área de estudio del presente proyecto, es la mancha urbana conformada por la ciudad de La Paz, abarcando una superficie aproximada de 500 km<sup>2</sup>, ver figura No. 1.

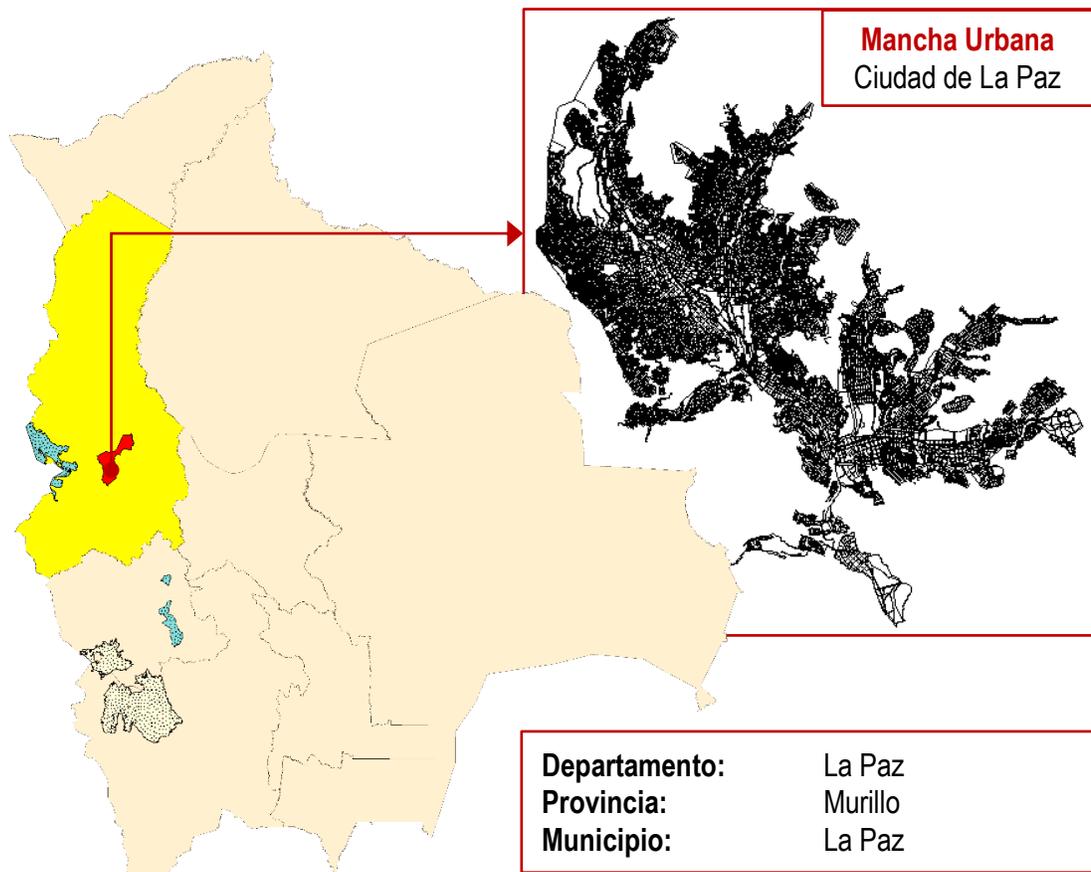


Figura No. 1 - Ubicación del área de estudio  
Fuente. Elaboración propia



## 1.5.2. Aspectos Fisiográficos

El área urbana del Municipio de La Paz se encuentra entre los 3000 a 4200 metros sobre el nivel medio del mar, La ciudad de La Paz está enclavada en un cañón rodeado por montes y montañas de gran altitud, su situación geográfica hace de una ciudad con características topográficas accidentadas, los diferentes barrios de esta ciudad se encuentran en diferentes alturas.

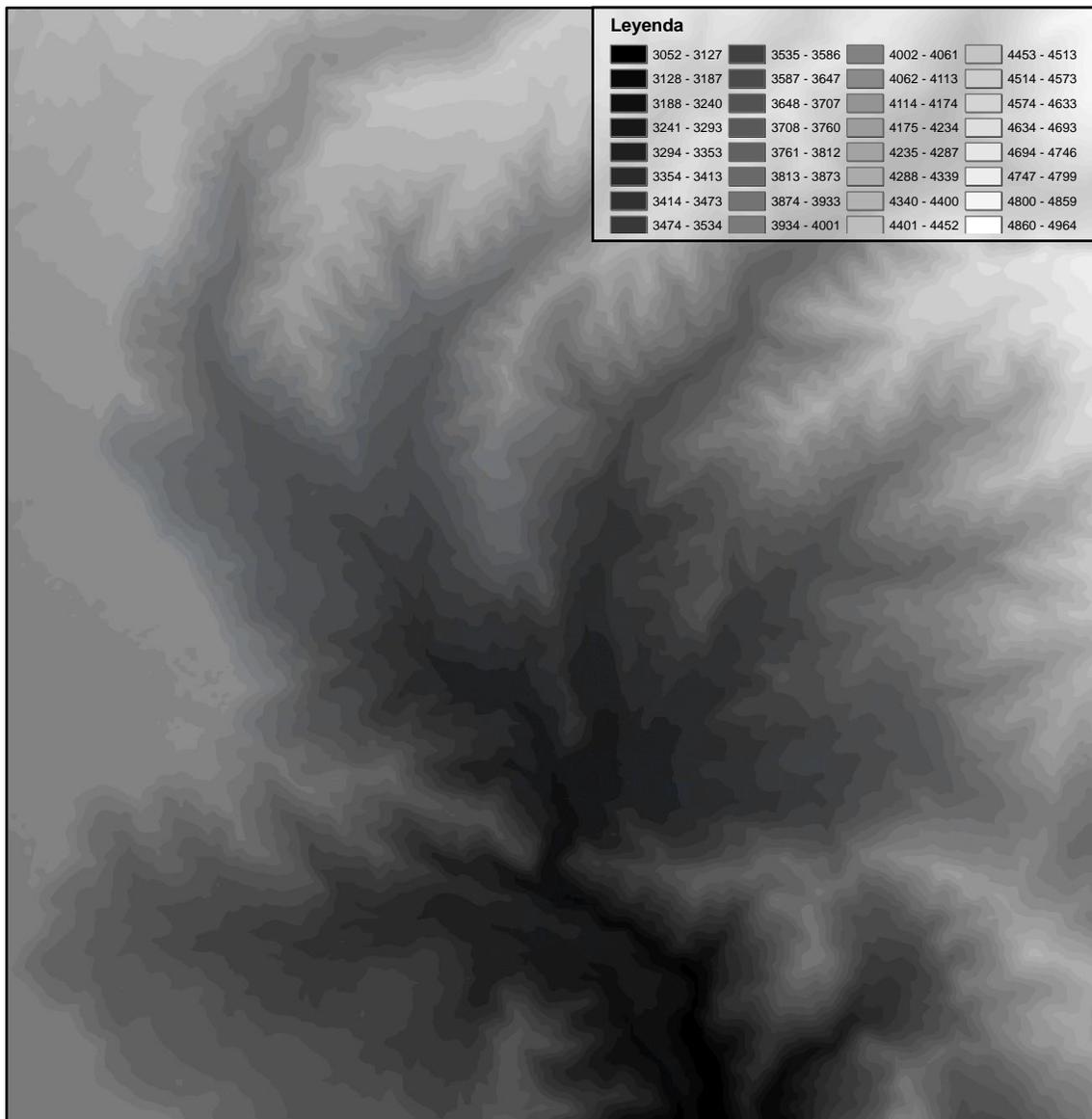


Figura No. 2 - Modelo Digital de Elevaciones del área de estudio  
Fuente. Elaboración propia



## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo General**

- Realizar el análisis de la aplicación de un sistema de coordenadas P.T.L. a nivel urbano dentro del Municipio de La Paz.

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- Realizar la delimitación espacial a nivel urbano para la definición de un sistema de coordenadas P.T.L. de forma general.
- Realizar la delimitación sectorizada para la definición de un sistema de coordenadas sectorizada por zonas P.T.L.
- Definir los parámetros necesarios para la construcción del sistema de coordenadas P.T.L. Urbano L.P. a partir de una zona L.T.M.
- Definir los parámetros necesarios para la construcción del sistema de coordenadas P.T.L. sectorizada por diferentes zonas a partir de una zona L.T.M.
- Aplicar el proceso de proyección de los elementos de muestra del sistema de coordenadas U.T.M. a P.T.L.
- Evaluar los resultados de los procesos de la aplicación del sistema de coordenadas P.T.L. Urbano L.P.
- Evaluar los resultados de los procesos de la aplicación del sistema de coordenadas P.T.L. sectorizada por zonas.



## CAPITULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1. Topografía

Es la Ciencia, Arte y Tecnología que tiene por objeto la medición de pequeñas superficies terrestres el cual es considerado como plana, además de representar los mismos con todos sus accidentes, particularidades naturales o artificiales de su superficie y tiene una longitud aproximada de limite que es de 25 km o 625 km<sup>2</sup>. La Topografía deriva del griego Topos (lugar) y Graphein (describir) y procede del vocablo “topo-grafos”, se puede traducir como la descripción exacta y minuciosa de un lugar, con todos los detalles naturales y artificiales<sup>3</sup>.

Las mediciones en la Topografía se realizan mediante las medidas lineales y angulares, necesarias para la confección de los planos y mapas, actualmente se encuentra ligado a la Geodesia. Se debe tomar en cuenta las siguientes hipótesis sobre la diferencia de la Topografía con respecto a la Geodesia.

- La línea que une dos puntos sobre la superficie de la tierra es una línea recta.
- Las direcciones de la plomada, en dos puntos cuales quiera son paralelos.
- La superficie imaginaria de referencia, respecto a la cual se toman las alturas es una superficie plana.
- El ángulo formado por la intersección de dos líneas sobre la superficie terrestre es un ángulo plano y no esférico.

La Topografía se divide en dos grandes aspectos, en sentido de la representación de la superficie de la tierra y se refiere a los siguientes:

**Planimetría:** Parte de Topografía, que estudia los métodos y procedimientos que nos servirán para conseguir la representación a escala sobre un plano, de todos los detalles topográficos artificiales y naturales, prescindiendo del relieve.

**Altimetría:** En esta parte de Topografía, se estudia los métodos que sirven para definir las posiciones relativas o absolutas, de los puntos sobre la superficie

---

<sup>3</sup> Nociones de Topografía - Enciclopedia Libre Wikipedia



terrestre (tercera dimensión), proyectados sobre el plano vertical, mediante un procedimiento fundamental conocido como la nivelación, que nos sirve para determinar diferencias de elevaciones entre diferentes puntos de la tierra.

El levantamiento topográfico, es un conjunto de operaciones ejecutadas sobre una parte de la superficie de la tierra, con los instrumentos adecuados para poder confeccionar una correcta representación gráfica de un plano, el cual es prescindible para ejecutar cualquier proyecto u obra de ingeniería ya sea en la etapa de planificación, ejecución o supervisión, que se desee llevar a cabo, además la posición de estos levantamientos en la actualidad deben ser realizadas en su posición georreferenciada (X,Y,Z).

La realización de un levantamiento topográfico en cualquier parte de la superficie de la tierra, constituye una de las actividades principales de la labor cotidiana de los topógrafos, donde han de utilizarse los diferentes métodos fundamentales de la topografía.

Anteriormente se lo realizaban con instrumentos como ser los teodolitos y taquímetros, por medio de las lecturas de ángulos horizontales, verticales y las lecturas a los (hilos medio, superior e inferior), para posterior cálculo de las distancias y coordenadas por medio de las planillas taquimétricas, todo esto de forma manual óptica y mecánica.

En la actualidad para los levantamientos topográficos se los utiliza las Estaciones Totales, que es una combinación de un teodolito y un instrumento EDM, junto a un equipo que tiene la capacidad de realizar diferentes cálculos. Estos equipos miden de forma electrónica los ángulos horizontales y verticales, distancias inclinadas, calculan los componentes horizontales y verticales de esas distancias, determinando las coordenadas de forma automática y al instante de todos los puntos observados.

Una poligonal es una serie de operaciones que se tiene que realizar para poder determinar la posición relativa o absoluta de un punto, por medio de una serie de líneas consecutivas que son conectados mediante la medición de ángulos y distancias.

Estas poligonales pueden ser realizadas mediante las mediciones de diferentes formas y con diferentes equipos y estos se clasifican en:

- Poligonal Abierta.



- Poligonal Cerrada.
- Poligonal Amarrada o de enlace.

**Poligonal Abierta:** Una poligonal abierta es cuando las líneas o las mediciones no regresan al punto de partida ni cierran a un punto con igual o mayor orden de exactitud, estas mediciones deben evitarse porque no ofrecen medio alguno de verificación por errores y equivocaciones.

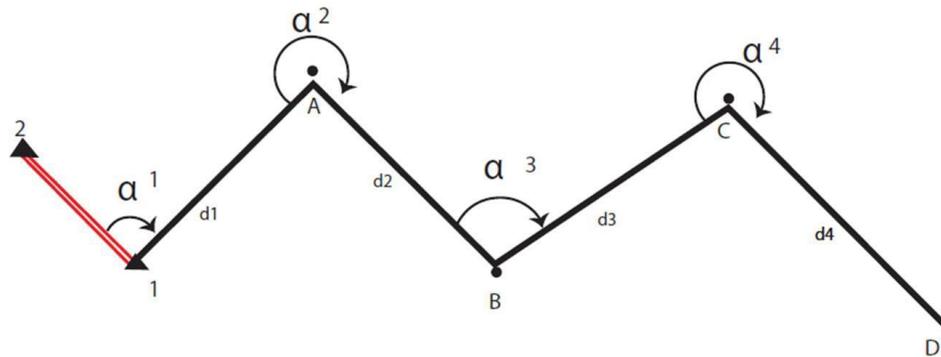


Figura No. 3 - Esquema de una poligonal abierta  
Fuente. Enciclopedia libre Wikipedia

**Poligonal Cerrada:** Una poligonal cerrada es cuando las líneas o las mediciones regresan al punto de partida, formándose así un polígono geométrico y analíticamente cerrado bajo condiciones de cierre angular  $180^\circ(n \pm 2)$ . En este caso los puntos de partida y de cierre deben ser observados dos veces de tal manera que será posible a ser verificados el cierre angular.

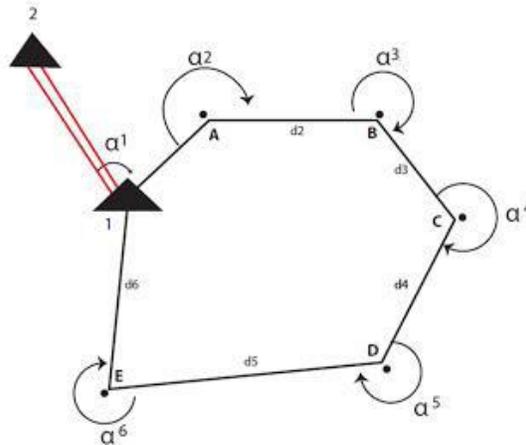


Figura No. 4 - Esquema de una poligonal cerrada  
Fuente. Enciclopedia libre Wikipedia



**Poligonal Amarrada o de Enlace:** Una poligonal de enlace o amarrada es cuando el trazo de la poligonal está sujeta a dos pares de puntos geodésicos o puntos de control conocidos, los cuales tienen un azimut y sus coordenadas (x, y, z) bien definidas que permiten la verificación e identificación de los errores y es el más usado en las carreteras.

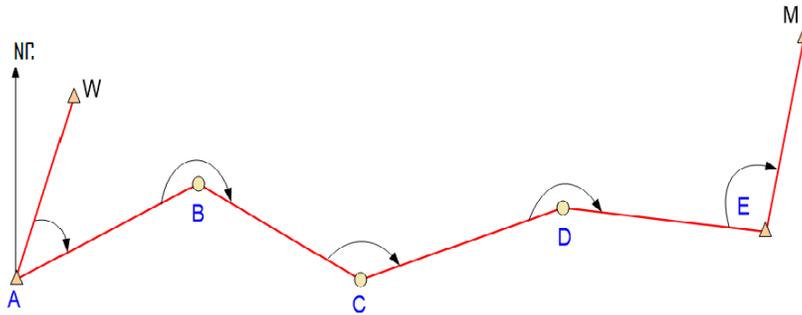


Figura No. 5 - Esquema de una poligonal con enlace  
Fuente. Enciclopedia libre Wikipedia

## 2.2. Geodesia

La geodesia es una ciencia que estudia y se encarga de establecer la forma, figura, dimensiones, campo de la gravedad externo de la tierra y otros cuerpos celestes, en función del tiempo; al igual que, determinar el elipsoide terrestre medio a partir de parámetros observados sobre y exteriormente a la superficie de la tierra. La Geodesia nos sirve para el Control Horizontal, antiguamente se los hacía por medio de los Sistemas Locales (PSAD-56), pero en la actualidad los controles Horizontales y Verticales se lo determinan por medio de los Sistemas Globales (WGS-84) y el uso de las Tecnologías GNSS que nos arrojan datos o coordenadas tridimensionales (X, Y, Z).

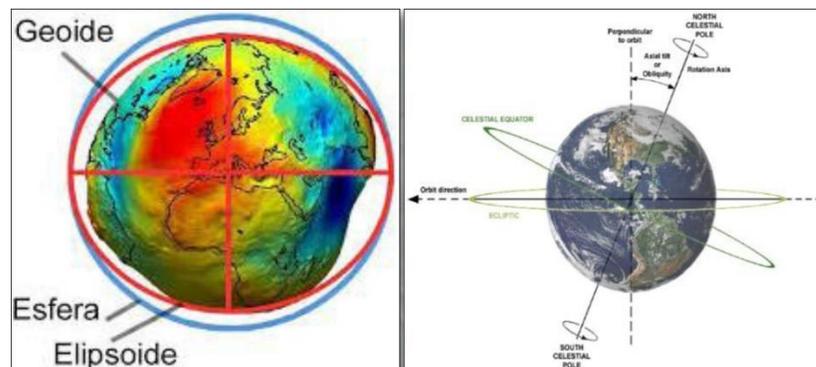


Figura No. 6 - La geodesia y las formas de la tierra  
Fuente. Revistas Interna MundoGeo

**Superficie Topográfica:** Superficie en donde el hombre realiza sus labores cotidianas (levantamientos planimétricos, altimétricos, topográficos y catastrales)

**Superficie Física:** Superficie equipotencial o de nivel del campo gravitatorio terrestre (Origen de las alturas ortométricas). Por razones de conveniencia el Nivel Medio del Mar es tomado como la superficie que mejor se aproxima al geoide, idealmente extendida bajo los continentes, de modo que la dirección de las líneas verticales cruce perpendicularmente esta superficie en todos los puntos.

**Superficie Matemática:** Superficie que más se aproxima al Geoide y donde se realizan los cálculos matemáticos que permiten obtener las coordenadas Geodésicas (Longitud y Latitud), de los diferentes puntos sobre la superficie topográfica.

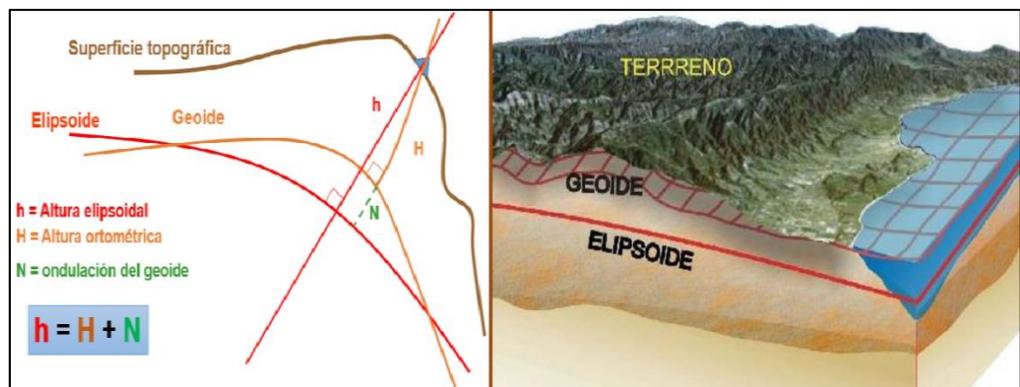


Figura No. 7 - Superficies de referencia  
Fuente. Revistas Interna MundoGeo

### 2.2.1. Sistema de Posicionamiento GNSS

Es un sistema mundial de navegación desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Es un sistema de localización geográfica de puntos sobre la superficie de la tierra, basado en posiciones de satélites con una exactitud que varía, dependiendo de la calidad del receptor GPS y la técnica que se utilice para hacer la medición, y consta con una constelación de 24 satélites conocida como NAVSTAR, orbitando en diferentes alturas a unos 20000 Km por encima de la superficie terrestre. Cada satélite da dos vueltas diarias por la Tierra, una cada doce horas. La trayectoria y la velocidad orbital han sido calculadas para que forme una especie de red alrededor de

la tierra (debe haber en todo momento cinco satélites a la vista en cualquier zona), de manera que un receptor GPS a cualquier hora del día o de la noche, pueda facilitar la posición que ocupa al captar y procesar las señales emitidas por un mínimo de cuatro satélites.

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

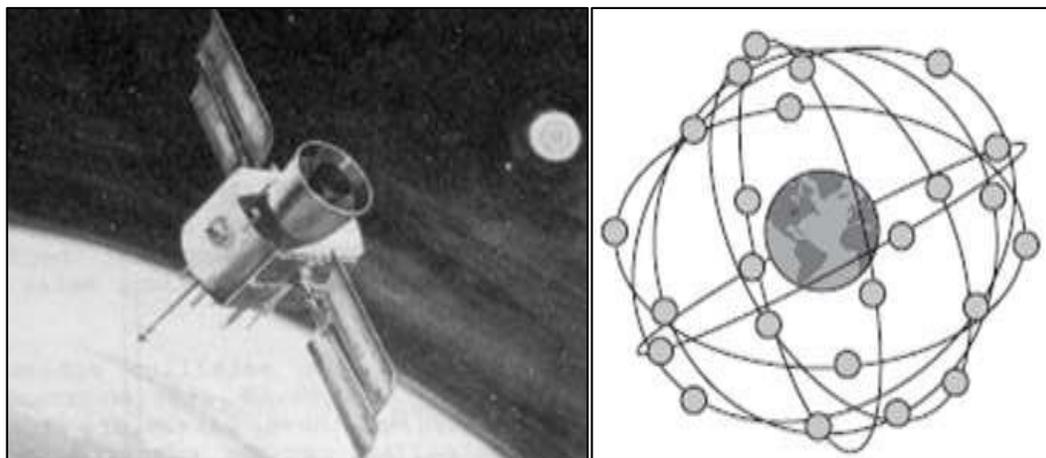


Figura No. 8 - Sistema de posicionamiento GNSS  
Fuente. Enciclopedia libre Wikipedia

Su órbita es circular de 26560 Km de radio y poseen un periodo de 12 horas promedio. Al ser el periodo de rotación de la tierra de 23h y 56 min., por lo tanto, su velocidad de rotación casi la mitad que la de un satélite GPS, este recorre en 24 horas dos veces su órbita espacial.

Debido a sus numerosas ventajas en materia de precisión, rapidez y productividad, el sistema GPS se está empleando cada vez más en topografía. No obstante, debe tenerse en cuenta que las técnicas empleadas son muy diferentes a los de métodos clásicos. Se pueden citar los siguientes tipos de posicionamiento:

**Posicionamiento Puntual o Absoluto:** Un posicionamiento es absoluto, cuando se calcula la posición del punto utilizando las medidas de pseudo distancia ya sea procedentes del código C/A, o código P. Dependiendo del código que utilicemos y de la disponibilidad selectiva obtendremos una precisión que variará de 15 a 100 m. Este tipo

de posicionamiento es utilizado por los equipos llamados navegadores. Gracias a los últimos avances tecnológicos, y la desaparición de la disponibilidad selectiva, existen en el mercado receptores que alcanzan precisiones de 3-5 m en tiempo real.



Figura No. 9 - Posicionamiento Puntual o Absoluto  
Fuente. Guzman Gallardo Javier 2006

**Posicionamiento Diferencial, Diferido o Relativo:** Este método involucra dos o más instrumentos GPS, con el fin de eliminar los errores propios del sistema GPS, calculando los incrementos de coordenadas desde el equipo de referencia al móvil. Este incremento de coordenadas vendrá dado en el sistema geocéntrico de coordenadas. La gran ventaja de este método es que los errores de posicionamiento muy similar o común en ambos puntos, no tienen ninguna influencia en los incrementos de coordenadas.

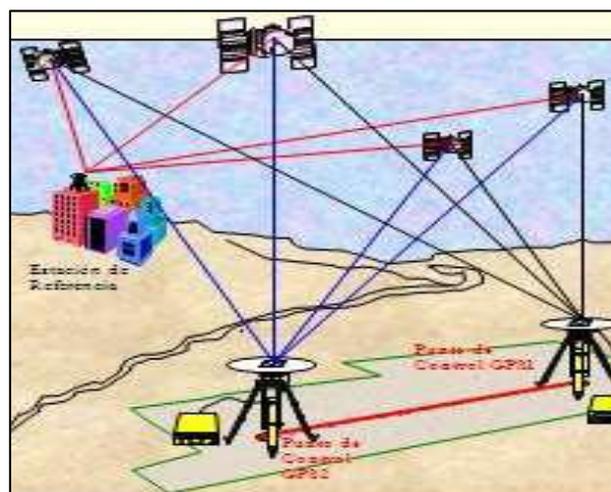


Figura No. 10 - Posicionamiento Diferencial  
Fuente. Guzman Gallardo Javier 2006



Existen diferentes técnicas de medición que pueden ser utilizadas por la mayoría de receptores topográficos GNSS.

**Método Estático:** Este fue el primer método en ser desarrollado para levantamientos con GPS. Puede ser utilizado para la medición de líneas bases largas (generalmente 20km -16 millas - o más). Se coloca un receptor en un punto cuyas coordenadas son conocidas con precisión en el sistema de coordenadas WGS84. Este es conocido como el Receptor de Referencia. El otro receptor es colocado en el otro extremo de la línea base y es conocido como el Receptor Móvil. Aplicaciones:

- Control Geodésico.
- Redes Nacionales e internacionales.
- Control de movimientos tectónicos.
- Control de deformaciones en diques y estructuras.

Ventajas:

- Más preciso, eficiente y económico que los métodos topográficos tradicionales.
- Sustituye al método clásico de triangulación.

**Método Estático Rápido:** Este método es muy similar al método estático, tanto en el levantamiento como en su procesamiento, solo se puede realizar con equipos GPS de doble frecuencia (con código P). La segunda variante es que el tiempo de posicionamiento varía dependiendo de la línea base que no podrá ser mayor a 10 Km y con un tiempo de observación de 10 a 20 minutos.

Aplicaciones:

- Levantamientos de control, densificación.
- Sustituye al método clásico.
- Determinación de puntos de control, ingeniería civil, bases de replanteo.
- Levantamiento de detalles y deslindes.
- Cualquier trabajo que requiera la determinación rápida de un elevado número de puntos.
- Apoyos fotogramétricos.



#### Ventajas:

- Sencillo, rápido y eficiente comparado con los métodos clásicos.
- No requiere mantener el contacto con los satélites entre estaciones.
- Se apaga y se lleva al siguiente punto.
- Reducido consumo de energía.
- Ideal para un control local.
- No existe transmisión de errores debido a que cada punto se mide de forma independiente.

**Método Cinemático:** El método cinemático es el más rápido en los levantamientos con equipo GNSS, pero al mismo tiempo el más exigente en cuanto a la colecta de datos y procesamiento, por lo que debe ser extremadamente cuidadoso al realizar el levantamiento, para evitar la pérdida de la señal de los satélites enganchados. Los tiempos de posicionamiento serán de dos minutos por lo menos

#### Aplicaciones:

- Determinación de la trayectoria de objetos en movimiento.
- Levantamientos de ejes de carreteras y ferrocarriles.
- Medición de perfiles transversales.
- Levantamientos hidrográficos, Batimetría.

#### Ventajas:

- Mediciones continuas rápidas y económicas.
- Debe mantenerse el contacto con los satélites.

**Método en Tiempo Real Cinemático (RTK):** Este método tiene gran utilidad en el replanteo, los equipos requieren estar conectados a un radio MODEM, el cual transmite las correcciones de error que se presentan al captar la señal de los satélites, estos errores son transmitidos por el radio MODEM al rover y este compensa y corrige, realizándose esta simultáneamente, los equipos deben ser capaces de trabajar en esta modalidad y el radio MODEM tiene un alcance de 10 Km. Como máximo además que debe tener línea de vista entre la estación y el rover, por el radio MODEM



## 2.3. Cartografía

Desde los albores de la humanidad como especie nómada, el hombre ha sentido la necesidad de representar los accidentes naturales (Hidrografía y orografía), sobre la superficie terrestre, para poder desplazarse (migrar, navegar), de manera segura, en busca de mejores niveles de subsistencia.

Con el tiempo, el objetivo de estos primeros trazos era el de servir de apoyo al traslado o navegación, e indicaban las direcciones (rumbos), necesarios para ir de un lugar a otro.

Al verse la importancia de la navegación, una vez que la humanidad dominó los mares, la exactitud en la representación de las tierras emergidas se consideraba accesorio, siendo lo fundamental la exactitud en rumbos y distancias entre los primeros puertos; sin embargo, con el tiempo ya no bastaba con poder llegar a puerto, sino que había que medir distancias y superficies sobre los nuevos territorios para conseguir mayor poderío sobre estos.

Por otro lado, “se hizo necesario representar los diversos elementos, recursos y factores de la superficie terrestre para conseguir una mejor visión de la distribución de los fenómenos naturales y asentamientos humanos sobre la superficie terrestre”.<sup>4</sup>

El año 1512, año nace en Rupelmonde, (Flandes), **Gerhard Kremer**, más conocido como **Mercator**. Famoso por su habilidad en la creación de mapas y globos, por ser el primero en utilizar la palabra "atlas" para describir la colección de mapas en un volumen, por su caligrafía y por nombrar a Norte América como tal en un mapa de 1538.

Se interesó por el gran problema de la navegación de la época, recorrer largas distancias a través del océano, siguiendo una trayectoria de rumbo constante bajo una carta náutica donde esta trayectoria aparezca representada de manera sencilla e inmediata.

En 1541 dibujó por primera vez sobre la esfera las loxodrómicas o líneas de rumbo constante (cortan a los meridianos con ángulo constante). La gran utilidad de esta proyección es que las loxodrómicas son, sobre la tierra, curvas que van cortando con un

---

<sup>4</sup> Coppel, Alonso, pag.30

ángulo constante a los meridianos, y por lo tanto fácilmente navegable al mantenerse fijo el rumbo, queda representado en la carta como una recta.

Sin embargo, la distancia más corta entre dos puntos en la Tierra no es la loxodrómica, sino la ortodrómica, proyectada en la carta como una curva.

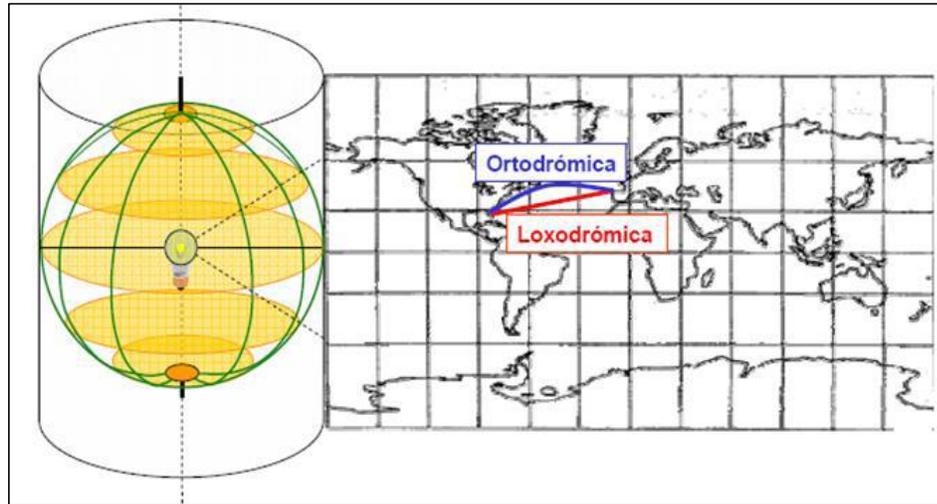


Figura No. 11 - Esquema del cilindro y líneas loxodromicas  
Fuente. Coppel, Alonso

En 1569 realizó un mapa titulado: " Nova et Aucta Orbis Terrae Descriptio ad Usum Navigantium Emendate Accommodate". (Nueva y Aumentada descripción de la Tierra con Correcciones para uso de la Navegación).

A la vez publicó su famoso Atlas bajo su nueva proyección cilíndrica. El título de esta obra dio origen a la denominación de atlas a toda colección de mapas que representen la Tierra.

Mas tarde, Edward Wright (1558-1615) de Inglaterra, desarrolló la proyección matemáticamente y en 1559 publicó tablas de secantes acumulativas, indicando el espaciado desde el Ecuador.

Mercator demostró que un sistema de proyección geométrico, junto con un sistema de localización basado en coordenadas cartesianas, es decir basadas en un par de ejes ortonormales. (X,Y), formando una cuadrícula, mejoraba la fiabilidad de distancias, áreas o ángulos medidos sobre los mapas, tiempo después su sistema se denominó, proyección Transversal de Mercator (TM).



Describió en latín la naturaleza de la proyección en su mapa de América: "...En este mapa del mundo hemos querido proyectar la superficie del globo en un plano de tal forma que los lugares estén propiamente localizados, no sólo con respecto a su dirección y distancia de unos a otros, sino también en concordancia con sus latitudes y longitudes, y más, que la forma de los países tal como aparecen en el globo, sea preservada tanto como posible. Para ello fue necesario una nueva ordenación de meridianos, haciéndolos paralelos, pues los mapas con meridianos curvos producidos por los geógrafos no sirven para la navegación. Tomando esto en consideración, hemos aumentado los grados de la latitud hacia el polo en proporción al aumento de la razón de los paralelos con el Ecuador."<sup>5</sup>

En este sistema, se emplea una superficie desarrollable intermedia como es el Cilindro, siendo esta proyección tangente a la línea del ecuador y directa, es decir el eje del cilindro coincide con el eje de la Tierra. La proyección cuya solución es matemática, aunque tiene origen cilíndrico horizontal, considera la Tierra encerrada en un cilindro transversal conforme cuyo eje orientado paralelo al plano ecuatorial, tangente al elipsoide de referencia a lo largo de un meridiano origen. Los puntos de la superficie son proyectados por rayos de proyección sobre el cilindro, que al cortarlo y desarrollarlo se obtiene un plano en que los paralelos y meridianos quedando representados por líneas curvas complejas que se cortan en ángulo recto.

A lo largo de los años, el trabajo de Mercator aportó a la solución cartográfica de los grandes viajes transoceánicos en plena era de los descubrimientos. Murió en 1595 sin sospechar la importancia que tendría posteriormente su proyección. La versión esférica de esta proyección fue presentada por el cartógrafo y matemático alsaciano Johann Heinrich Lambert (1728-1777). La gran diferencia entre esta representación y la originaria de Mercator radica en que el cilindro no se coloca en posición directa (tangente al ecuador), sino en posición transversal (tangente a un meridiano).

Lambert, publicó en 1772 un volumen con siete proyecciones (acimutal equivalente, cónica conforme, cilíndrica equivalente, etc.) siendo una de ellas la Transversal de Mercator. Los trabajos de Lambert continuaron hasta dar una tabla de coordenadas y un mapa de las Américas en esta proyección. El desarrollo paralelo de las ciencias

---

<sup>5</sup> Coppel, Alonzo, pág. 33.

matemáticas permitió la creación de tablas de transformación y el tratamiento del mapa como el resultado de la aplicación de unas determinadas leyes matemáticas. Pero hasta 1822 la proyección Transversa de Mercator no recibió un tratamiento matemáticamente preciso, donde la Tierra fuese considerada elipsódica.<sup>6</sup>

Carl Fiedrich Gauss (1777-1855), analizó la proyección de Lambert y refinó las fórmulas para que se adecuasen al nuevo modelo matemático terrestre. Es autor de numerosos teoremas y desarrollos que han contribuido en gran medida al progreso de la ciencia y la técnica. Su conocimiento y talento matemáticos los aplicó a diferentes ramas de la ciencia, como la astronomía donde ideó un sistema para el cálculo de las orbitas de los cuerpos celestes, o en la física donde investigó el magnetismo (de hecho, la unidad de inducción magnética lleva su nombre).<sup>7</sup>

Al finalizar el siglo XVIII, los estados europeos habían alcanzado el grado de organización suficiente como para establecer sociedades geográficas.<sup>8</sup> En 1912 Krüger publicó una serie de fórmulas relativas al elipsoide en las que se detallaba la transformación elipsoide-plano para puntos del elipsoide, por ello en Europa a la proyección se la conoce con el nombre de proyección de Gauss- Krüger, mientras que en EEUU se la denomina Transversa Mercator.

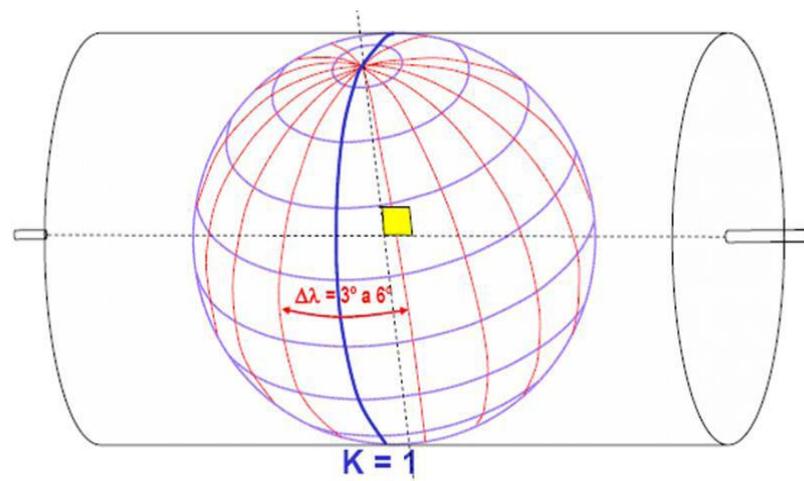


Figura No. 12 - Proyección transversal de Mercator (Gauss Kruger)  
Fuente. Vera M. 2008

<sup>6</sup> Coppel, Alonso, pág. 35

<sup>7</sup> Vera M, 2008, pág. 29

<sup>8</sup> Coppel, Alonso, pág. 38



La proyección se empleó en Europa, fundamentalmente en Alemania y Rusia. Varios países Latino americanos la adoptaron para su cartografía base, como Argentina, Brasil, Chile, Uruguay, entre otros. Era una proyección regional o propia de cada país.

### 2.3.1. Sistema De Proyección TM

En el siguiente cuadro (1) se resume la evolución del sistema.

GERHARDUS MERCATOR	EDWARD WRIGHT	JOHANN LAMBERT	CARL GAUSS	L.KRUGER
Crea la proyección cilíndrica.	Desarrolla la proyección de Mercator, matemáticamente	Resuelve el problema de pérdida de escala, colocando el cilindro transversal al eje del mundo.	Desarrolla analíticamente la proyección TM.	Pública las fórmulas referidas al elipsoide

Tabla No. 1 - Evolución de la TM

Fuente. Tapia M.

### 2.3.2. Historia de la Proyección UTM y su Empleo en Bolivia

En 1945 E.H. Thompson, presentó fórmulas cerradas válidas para calcular coordenadas de cualquier punto del elipsoide, aunque no son prácticas debido a las grandes deformaciones con la longitud, y de ahí que su utilización sea restringida a husos (zonas).

Finalizando la Segunda Guerra Mundial, los Estados Unidos desarrollaron algunas modificaciones de la proyección Gauss-Krüger, para homogenizar la cartografía de los países aliados a los esfuerzos militares de ese país.

Se planteó la necesidad de unificar un sistema de representación de uso global e impusieron la que actualmente se emplea en casi todo el mundo, denominándola Universal Transversal de Mercator (UTM). Es obra del cuerpo de ingenieros del ejército de Estados Unidos y fue adoptada por su ejército en 1947, para disponer de mapas militares con coordenadas rectangulares de cualquier país del mundo.

La conferencia llevada a cabo por la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica en Bélgica en 1951, recomendó la proyección UTM que corresponde al sistema de coordenadas planas, basada en la proyección TM, definida en el siglo XIX, a la que se le han impuesto ciertos parámetros particulares, para el levantamiento de mapas y determinación de coordenadas geodésicas.

El sistema de proyección Universal transversal de Mercator, se ha impuesto como cartografía oficial en muchos países porque reúne dos características que pocos sistemas tienen; es conforme, es decir mantiene los ángulos medidos sobre la superficie terrestre, proyectados sobre el elipsoide, y en el plano, además el sistema UTM garantiza para cualquier parte de la Tierra deformaciones lineales admisibles. Con el propósito de hacerla universal, se dividió el planeta en 60 zonas de 6° de ancho en longitud y quedó establecida una cuadrícula de coordenadas UTM para la localización inmediata de cualquier posición terrestre sobre la cartografía. Para uso civil se ha ido extendiendo de forma progresiva y actualmente está considerada como proyección cartográfica oficial en la mayoría de los países del mundo.<sup>9</sup>

Se adoptó en Bolivia en la década del 50 y es la proyección de las cartas a escala 1:50.000, 1:100.000 y 1:250.000 de la Cartografía Básica Nacional. Es de uso común en escalas mayores para levantamientos topográficos de proyectos de ingeniería y catastrales urbanos y rurales.

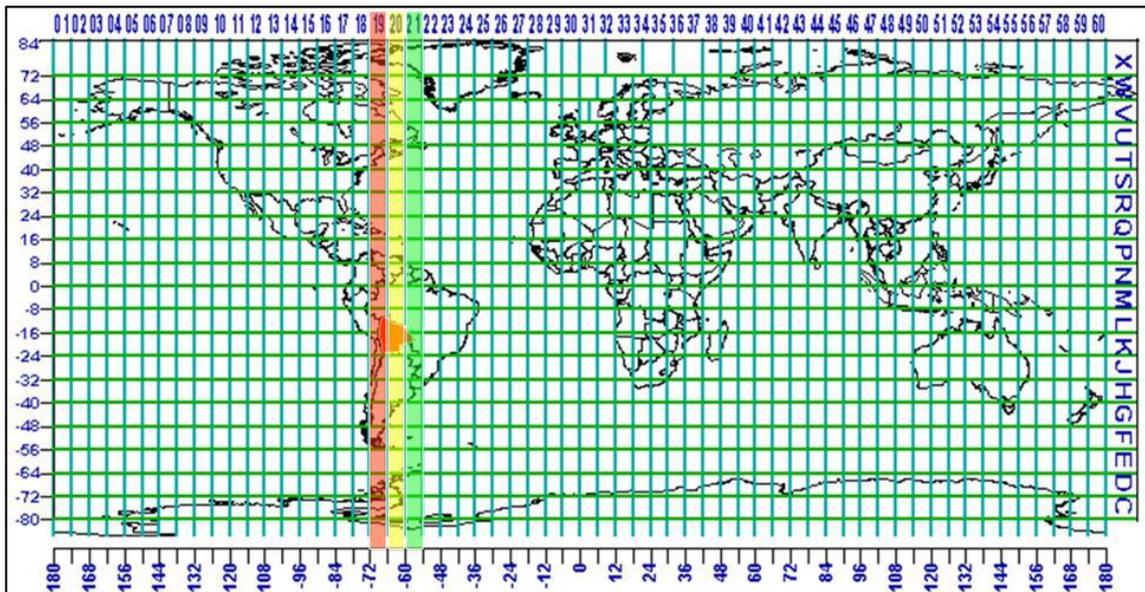


Figura No. 13 - Zonas universales transversales de Mercator  
Fuente. Vera Miguel A.

Las zonas son la división fundamental del sistema comienzan a contarse desde el meridiano 180° hacia el Este (Antemeridiano de Greenwich), quedando encuadrada

<sup>9</sup> Fuente: S. Sebastián,

Bolivia en las zonas 19, 20 y 21, en el hemisferio sur, extendiéndose la proyección desde los 84° N a 80° S de latitud, también se le dio una división en latitud, dividiendo en bandas de 8° de latitud, identificándose con letras, iniciando con la letra C a 80° S de latitud.

Bolivia queda ubicada en las bandas L y K, si bien esta división horizontal no tiene que ver con las características de la proyección se menciona porque tiene que ver con la división cartográfica y con la indicación de las coordenadas UTM en la mayoría de los navegadores GPS.<sup>10</sup>

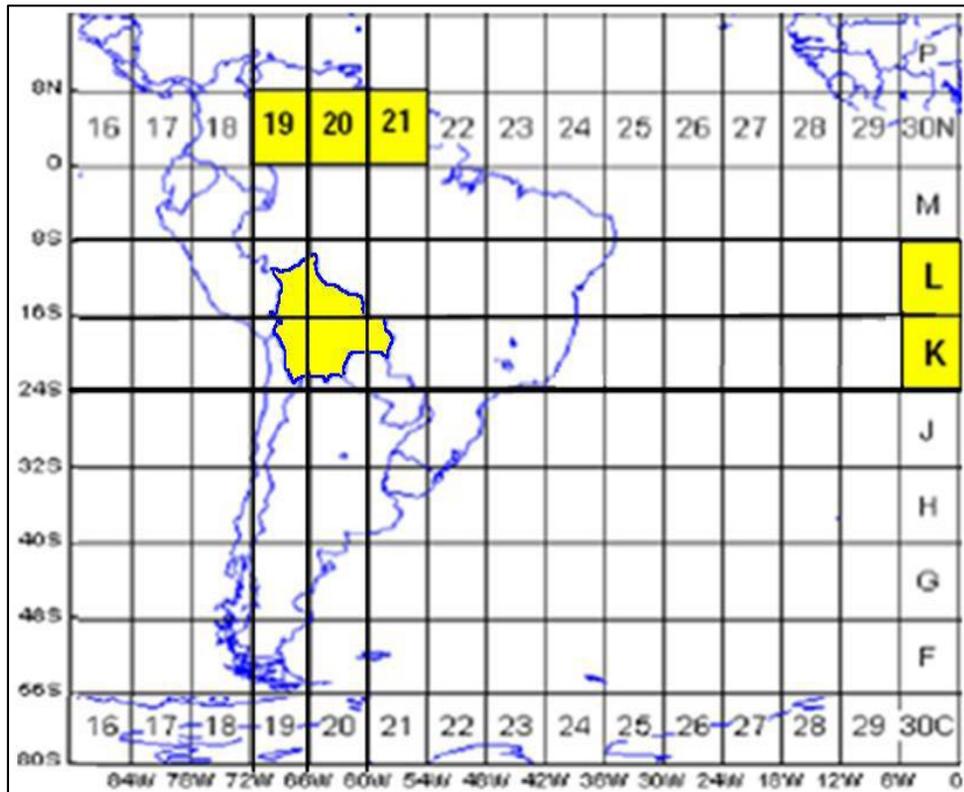


Figura No. 14 - Ubicación de Bolivia en las zonas UTM  
Fuente. Vera Miguel A.

Las fórmulas matemáticas para pasar del elipsoide al plano y viceversa, incluyen los parámetros del elipsoide correspondiente, por lo tanto, en el caso de Bolivia, se tuvo que seleccionar el Sistema Geodésico de Referencia “Elipsoide Internacional PSAD56 o el WGS84”, (Provisional South American Datum of 1956) o (World Geodetic System of 1984).

<sup>10</sup> Fuente de Texto: Vera, Miguel A.



Las fórmulas y características de la proyección no varían con el cambio de elipsoide, pero se debe tener en cuenta que tienen distintos parámetros, forma y dimensiones, por ello, para un mismo punto en la superficie terrestre tendrá diferentes coordenadas geodésicas curvilíneas ( $\varphi, \lambda$ ) y por lo tanto diferentes coordenadas planas UTM, que para puntos en Bolivia difieren unos 400 metros, por lo tanto se debe tener cuidado de no confundir unas con otras, no tomar en cuenta este aspecto sería una equivocación grave en cualquier trabajo, tanto topográfico como de implementación de un Sistema de Información geográfica. UTM.<sup>11</sup>

No es posible representar a todo el mapa de Bolivia en proyección UTM, dado que las deformaciones que se producen son muy importantes. Cada una de las zonas es totalmente independiente y no es posible juntar una con otra, la Figura 5 muestra el mapa de Bolivia en las tres zonas UTM.

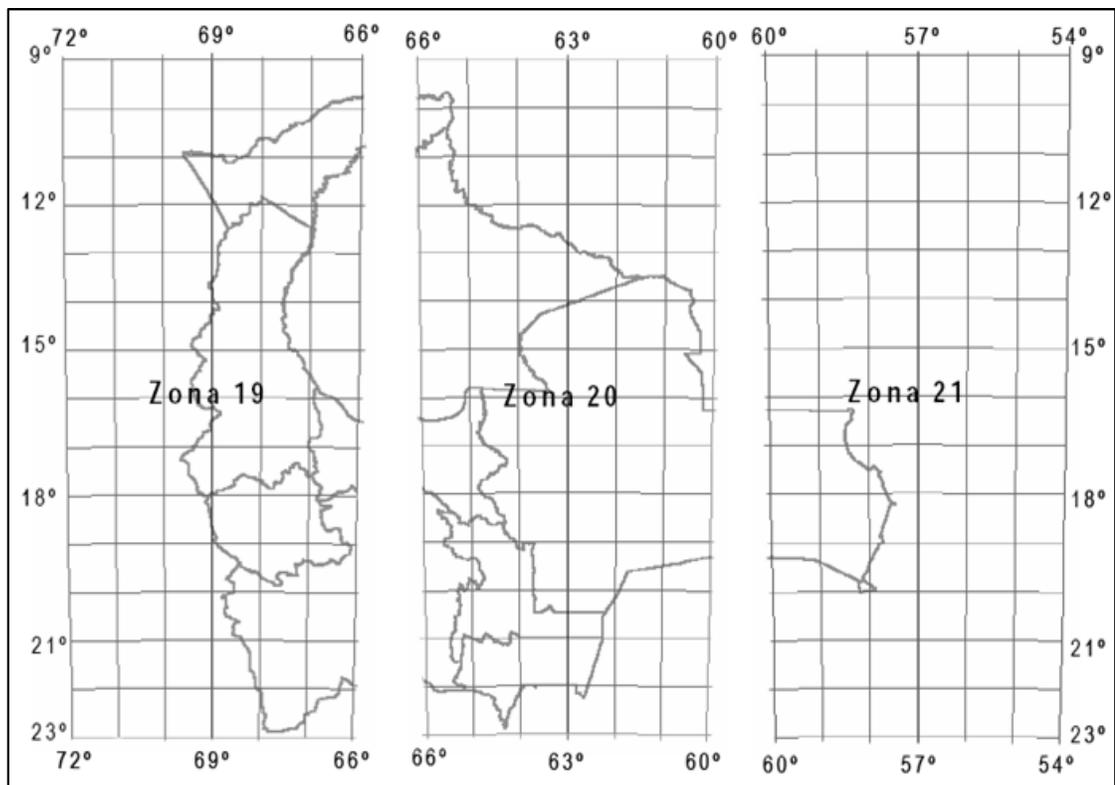


Figura No. 15 - Mapa de Bolivia en las tres zonas UTM

Fuente. Vera Miguel A.

<sup>11</sup> Vera, Miguel A.



### 2.3.3. El Problema de Las Proyecciones

Para la representación de la realidad en determinadas áreas o toda la superficie de la Tierra, existen muchos sistemas de proyecciones, de las que se reproducen diferentes cualidades en el plano coordenado.

Según definición internacionalmente adoptada: Proyección es la correspondencia matemática biunívoca entre los puntos de una esfera o elipsoide y sus transformados en el plano.<sup>12</sup>

La limitación de las proyecciones respecto a representar conjuntamente todas las cualidades de la realidad, es proporcional al área representada, puesto que las deformaciones serán mínimas si la superficie abarcada en la proyección es suficientemente pequeña como para excluir la incidencia de la curvatura terrestre.

Por el contrario, en áreas extensas, y más aún en la representación de la totalidad del elipsoide, las deformaciones serán mayores, producto de la dificultad de traspasar al plano una superficie curva. Para resolver, la transformación de la curvatura terrestre en un sistema plano. Se debe tomar en cuenta:

- Los elementos básicos de los sistemas de proyección
- La clasificación de proyecciones
- Criterios para la selección de la proyección

Puesto que cualquier punto de la Tierra, está definido por coordenadas geográficas y cualquier punto del plano lo está por sus coordenadas cartesianas (X, Y), existirá una serie infinita de relaciones que las ligen. Cada una de estas infinitas relaciones será un sistema de proyección Cartográfico.

Las propiedades de un sistema se investigan por comparación con las propiedades del elipsoide representado, algunas de las cuales pueden permanecer invariables en la proyección, otras pueden cambiar o desaparecer completamente, o bien la proyección puede cumplir propiedades que no existen en el elipsoide; pero es imposible duplicar en un plano el conjunto de relaciones posibles sobre esa superficie elipsoidal.

---

<sup>12</sup> Millares F. 2003



Las deformaciones involucradas pueden resumirse en las siguientes:

- **Ángulos Semejantes:** En diferentes puntos de la Tierra pueden o no ser mostrados como semejantes en la proyección.
- **El Área:** Sobre el plano una cierta región puede o no quedar ampliada o reducida con relación al área de otra región.
- **Relación de Distancias:** No puede mantener una relación de distancia entre todos los puntos sobre la Tierra sin sufrir distorsiones en la superficie plana. Relación de
- **Direcciones:** Entre todos los puntos sobre la superficie no puede mostrarse sin distorsión en la superficie plana de la proyección.

### 2.3.4. Sistema de Proyección LTM-PTL

Nombre asignado a la variante de la proyección TM (LTM o Local TM). Posee parámetros específicos cuyo objeto es representar un área reducida de la superficie terrestre, disminuyendo con esto las diferencias con respecto a mediciones de terreno. Busca cubrir las necesidades cartográficas de proyección conforme de alta precisión para proyectos de ingeniería.

Al igual que UTM corresponde a un sistema cilíndrico transversal conforme secante, pero con parámetros particulares que la individualizan y que permiten mediante la manipulación del ancho de la zona y el factor de escala, el incrementar la exactitud en la representación de los elementos.

Originalmente fue concebida como una herramienta de apoyo a los proyectos donde debe representarse el terreno con gran exactitud.

Entre las principales características de esta proyección se tiene:

- El meridiano central y el Ecuador están representados por líneas rectas perpendiculares entre sí.
- Los meridianos secantes tienen sobre el plano su verdadera magnitud, es decir, es una proyección equidistante a lo largo de estos meridianos.

- Al considerar la Tierra como un elipsoide de revolución, no es posible expresar los arcos de paralelo y meridiano por la vía geométrica sobre un plano, sino mediante formas matemáticas de correspondencia.
- Límite de las zonas de traslazo: Las zonas están limitadas por meridianos múltiplos de zonas de  $1^{\circ}$  W.
- La escala en la dirección Norte-Sur no cambia.
- Posee una cuadrícula kilométrica
- Uniformidad de la carta según las deformaciones.
- Centrada en el Ecuador y el meridiano central.
- La cuadrícula posee una desviación respecto al paralelo o meridiano.

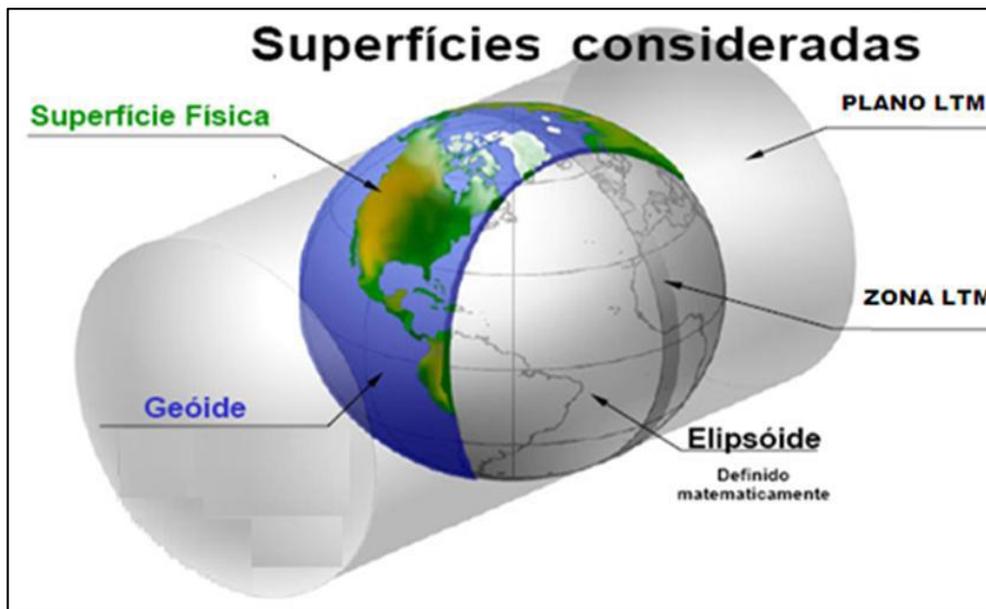


Figura No. 16 - Sistema de proyección LTM  
Fuente. Vera Miguel A.

La forma de relacionar coordenadas sobre el elipsoide, el plano de proyección y posteriormente el terreno, implica labores de cálculo y con esto la posibilidad cierta de cometer errores de distinto tipo haciendo aún más complicada la racionalización del espacio por medio de cartografía.

Una forma de solucionar la discrepancia existente entre las mediciones en terreno y cartografía sobre un plano de proyección es, utilizando una proyección LTM tal que el



plano proyectado sea coincidente con el terreno, para esto, se considerará un cilindro que pase por el terreno topográfico formando así el PTL.

Las distancias en topografía pueden ser medidas directamente sobre un plano topográfico o en forma inclinada (Distancia Inclinada DI), en el caso de que los puntos se encuentren a diferentes alturas, con un medidor electrónico de distancia (Estación Total). Estas distancias inclinadas son calculadas horizontalmente (Distancia Horizontal DH), luego se reducen al Geoide (Distancia reducida al Geoide DG o DN) y/o elipsoide (Distancia reducida al Elipsoide: DE).

El Plano Topográfico Local es una superficie de referencia en un plano horizontal, formado a partir de un punto de partida del levantamiento con coordenadas arbitrarias. Es un plano topográfico elevado al nivel medio del terreno. Coincide con el plano horizontal definido por una orientación del sistema de coordenadas.

Este Sistema Topográfico Local, poco conocido, tiene la propiedad del simple cambio de parámetros de origen de los nuevos sistemas en los casos en que ocurren cambios del referencial geodésico. Esto es posible pues las coordenadas topográficas locales mantienen la misma relación geométrica.

El PTL corresponde a un sistema topocéntrico de carácter local concebido para representar pequeñas extensiones de terreno, fue empleado en proyectos desarrollados en las ciudades de New York, Boston, Baltimore, Rochester, en los Estados Unidos y en Tokio, Japón.

Los PTL nacen de la necesidad de resolver el problema de reducción de distancia, que se deriva principalmente de la diferencia de cotas de los distintos sectores de un proyecto y de los factores de escala propios de este mismo.

Por la necesidad de obtener mayor equivalencia entre las distancias proyectadas y las distancias de terreno horizontales, con el fin de evitar cálculos engorrosos en el traspaso de los datos.

Debido que los datos de terreno, tienen que ser proyectados en el elipsoide para posteriormente traspasarlos a la proyección. Esto se logra corrigiendo las distancias.



Si se necesita realizar el proceso inverso (replantear) se debe realizar el mismo procedimiento, lo que constituye un enorme trabajo en la mayoría de los casos, donde puede inducir a errores groseros o equivocaciones, por lo tanto, una pérdida de tiempo importante.

Al ser una versión de la proyección TM pertenecen a un sistema plano-rectangular cuyo origen corresponde a coordenadas geodésicas, lo que se traduce en la georreferenciación del sistema por medio de:

- Posición: dada por las coordenadas geodésicas  $(\varphi, \lambda)$  del origen del sistema rectangular  $(x, y)$ .
- Altura del plano de referencia: Dada por la altura  $h_0$  del plano de referencia.

Con la idea de lograr mayor precisión y evitar todo tipo de cálculos que puedan provocar algún tipo de error, basados en la proyección LTM, se puede definir un cilindro cuyo manto coincida o sea muy próximo a la superficie terrestre, referido a una altura promedio (HPTL), con el propósito de evitar realizar las reducciones al elipsoide de los ángulos y distancias de terreno.

## 2.4. Sistemas de Información Geográfica

La palabra SIG es un acrónimo de tres palabras básicas: Sistemas, Información y Geográfica, cuyo significado permite un fácil entendimiento.

- **Sistemas:** Este término se utiliza para representar los subsistemas que integran un SIG.
- **Información:** Esta palabra representa la gran cantidad de datos que normalmente se requieren y manipula en un SIG.
- **Geográfica:** Este término es la base de los SIG, ya que tratan primero cada elemento del mundo real de una forma geográfica o espacial.

En ese sentido, un Sistema de Información Geográfica (SIG), es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de

planificación y gestión geográfica. El SIG separa y almacena la información en diferentes capas temáticas, la combinación de diferentes capas de información geográfica, permite de manera rápida y sencilla visualizar distintos mapas a la vez, permite producir nueva información mediante la fusión de las fuentes originales, y facilita establecer relaciones entre las distintas coberturas, por medio de determinados métodos de análisis espacial o la simple superposición de la información.

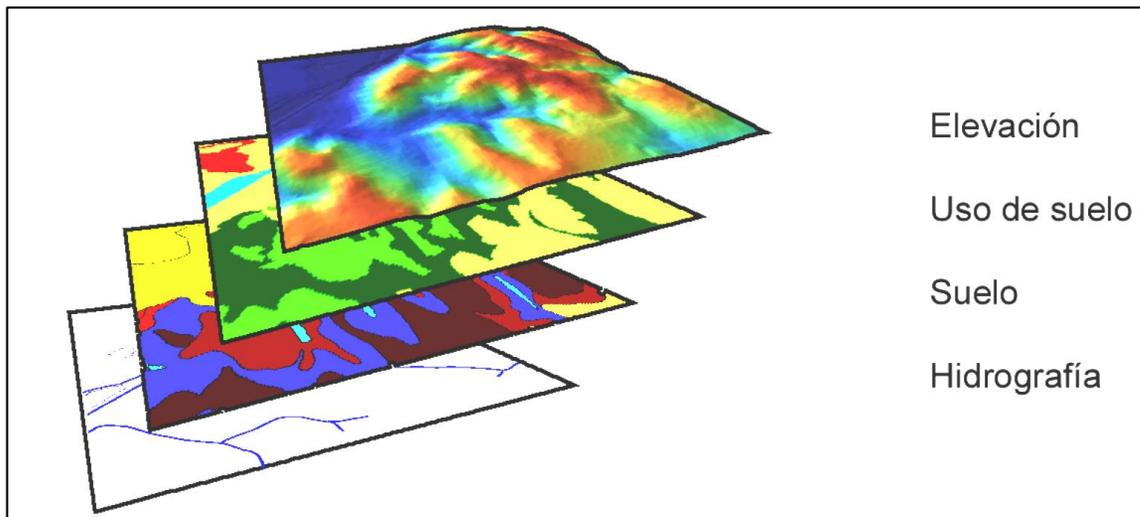


Figura No. 17 - Trasposición de capas temáticas georreferenciadas  
Fuente. ESRI para ArcGis

La información manejada en un SIG está compuesta básicamente de dos tipos de elementos: Componente Geográfico o Espacial (donde están las cosas), básicamente para localizarlo y Componente Atributivo (que son esas cosas), para describirlo.

En resumen, la posición geométrica y sus atributos o propiedades, permiten responder preguntas básicas del análisis georreferenciada, como ser: ¿Dónde está? o ¿Qué es?, el campo de acción de la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), presenta un amplio rango de aplicación en diferentes disciplinas o campos altamente relacionados.

En la digitalización y vectorización de los datos geográficos, se manejan dos grandes clases de modelos conceptuales: el modelo ráster y el modelo vectorial.



Figura No. 18 - Formatos SIG Ráster y Vector  
Fuente. ESRI para ArcGis

**Modelo digital de Elevación (MDE):** Se define como malla o red de valores de elevación (Z) regularmente espaciadas (en X, Y), referenciada a un datum (horizontal y vertical) y a un sistema de coordenadas, que representa la superficie del suelo desnudo (con exclusión de vegetación y características artificiales).

**Modelo Digital del Terreno (MDT):** Similar a un DEM, incorpora valores de elevación (Z) de las características topográficas importantes e irregularmente espaciadas (cuencas, valles, caminos, cotas) con el fin de caracterizar mejor la superficie del suelo desnudo.

**Modelo Digital de Superficie (MDS):** Similar al DEM y DTM, incorpora valores de elevación (Z) de características naturales y artificiales que están por encima de la superficie del suelo desnudo, como edificios, árboles y líneas eléctricas.



## CAPITULO III MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Metodología Empleada

El análisis del comportamiento, problema o aplicación de un sistema técnico dentro del área de las geociencias, conlleva a emplear diferentes métodos de investigación ya sean estos empíricos, estadísticos, científicos o teóricos. La esencia principal del presente proyecto es de analizar los resultados inmediatos de la aplicación de un sistema de coordenadas P.T.L. a nivel urbano, es por ello que el método estadístico, en función a la determinación de las muestras de probación (ver figura No.19), que son sujeto de estudio o análisis y la tabulación de los datos obtenidos, establecerán una idea general de la aplicación de dicho sistema en nuestro municipio.

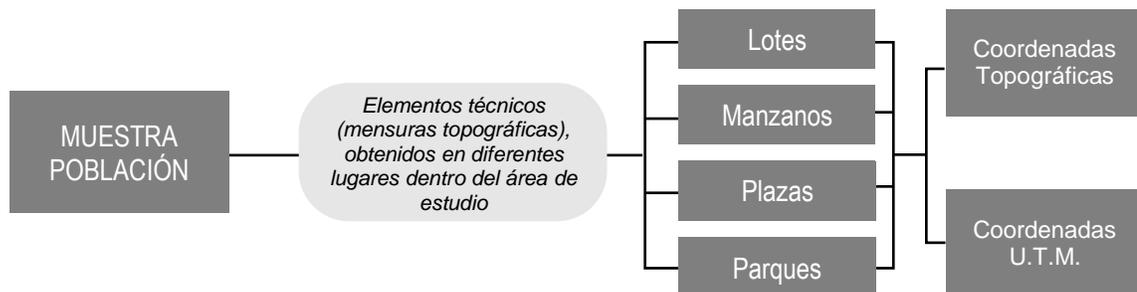


Figura No. 19 - Esquema de las características de la población muestra  
 Fuente. Elaboración propia

Para un análisis simple y claro de la aplicación de un sistema de coordenadas P.T.L., se determina establecer elementos de comparación, si bien un sistema de coordenadas P.T.L., se caracteriza por representar extensiones terrestres sobre un plano con una mínima distorsión por proyección, los productos obtenidos aplicando dicho sistema deberán ser sometidas a comparaciones con elementos de control.

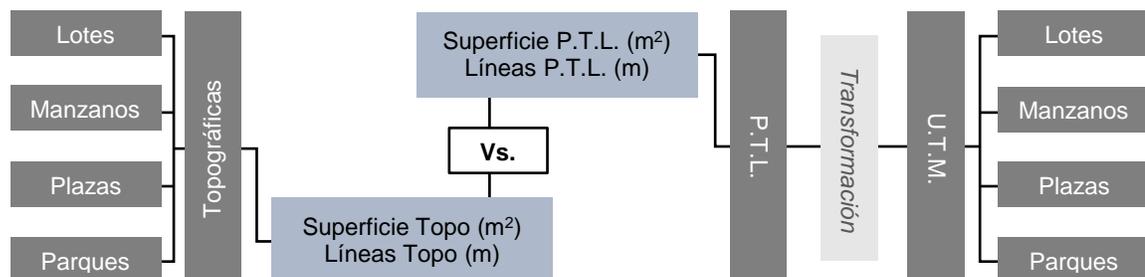


Figura No. 20 - Esquema de análisis a través de comparaciones técnicas  
 Fuente. Elaboración propia



Por tanto, el desarrollo del trabajo técnico, estará determinada por una serie de actividades, que logren obtener los elementos de comparación o análisis mencionados anteriormente. Entre estas actividades tenemos:

- Delimitación espacial del área de estudio
- Construcción del Sistema de Coordenadas P.T.L. a Partir de una Zona LTM
  - Sistema de Coordenadas P.T.L. Urbano L.P.
  - Sistema de Coordenadas P.T.L. Sectorizada por Zonas
- Proyección del Sistema de Coordenadas U.T.M. a P.T.L.
- Análisis de los Sistemas de Coordenadas P.T.L.

Estas actividades se desarrollan por una serie de procesos estructurados, a continuación, se describe el proceso técnico de la metodología empleada, la figura No. 21, representa un diagrama, donde se observa el camino que sigue el desarrollo de las actividades realizadas en el presente proyecto.

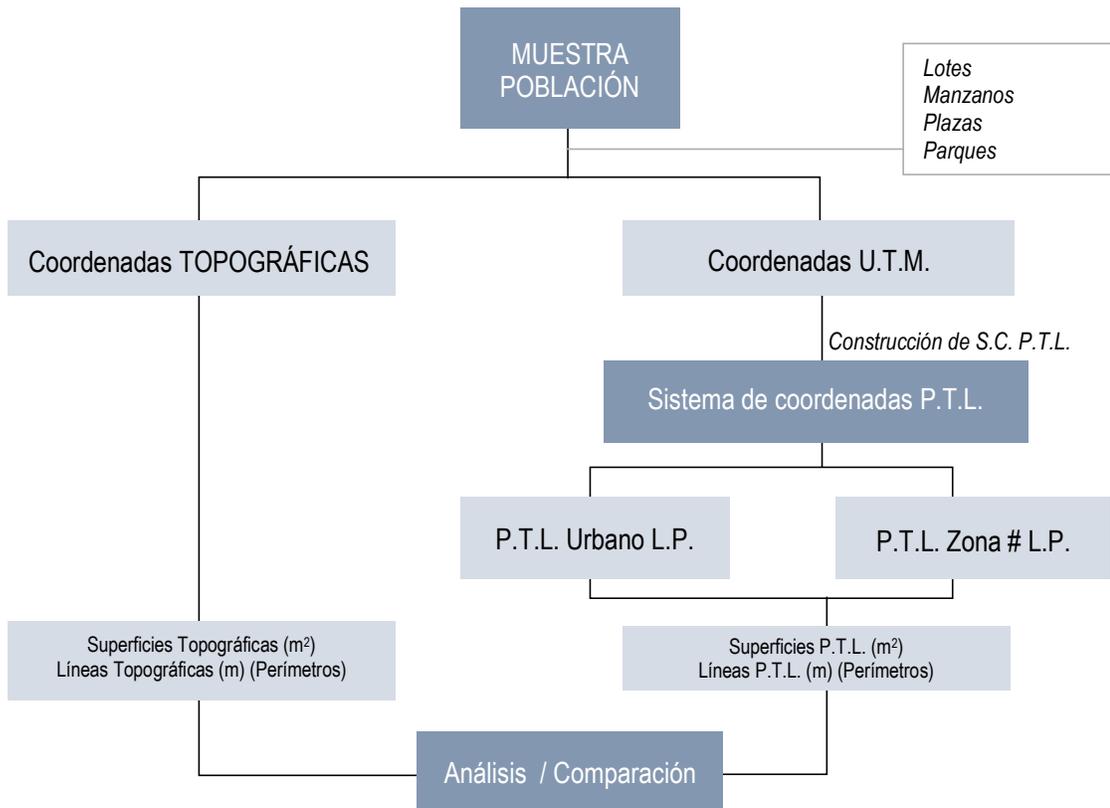


Figura No. 21 - Esquema del proceso técnico de la metodología empleada  
Fuente. Elaboración propia

### 3.2. Muestra de Población

Es importante definir e identificar cual es el la población y la muestra en términos estadísticos para determinar los criterios que son usados durante el desarrollo de la metodología empleada para el presente análisis.

Se debe definir los sujetos del estudio, es decir el universo de estudio, la muestra y los esquemas de selección de dicha muestra. En nuestro campo, la población o universo de estudio, está definida por todos aquellos elementos técnicos (topográficos y geodésicos), que son representados en una cartografía a nivel urbano, específicamente; lotes, manzanos, plazas, parques, áreas verdes, campos deportivos, etc., que conforman en su totalidad, en nuestro caso, la mancha urbana del municipio de La Paz. Ahora, si bien el estudio o análisis de todo el universo o población de estudio, es demasiado complejo, el presente análisis toma solo un subconjunto de la población de estudio que se define como “Muestra”. Es necesario mencionar que existen procedimientos para obtener la cantidad de los componentes de la muestra con fórmulas, lógica y otras técnicas a niveles estadísticos, pero en el caso presente, las muestras que son el objeto de estudio y análisis son tomadas de forma empírica, es decir, las muestras que se toman para el presente análisis, son una recopilación de varios trabajos topográficos en diferentes lugares dentro del radio urbano del municipio de La Paz. Ver figura No. 22.

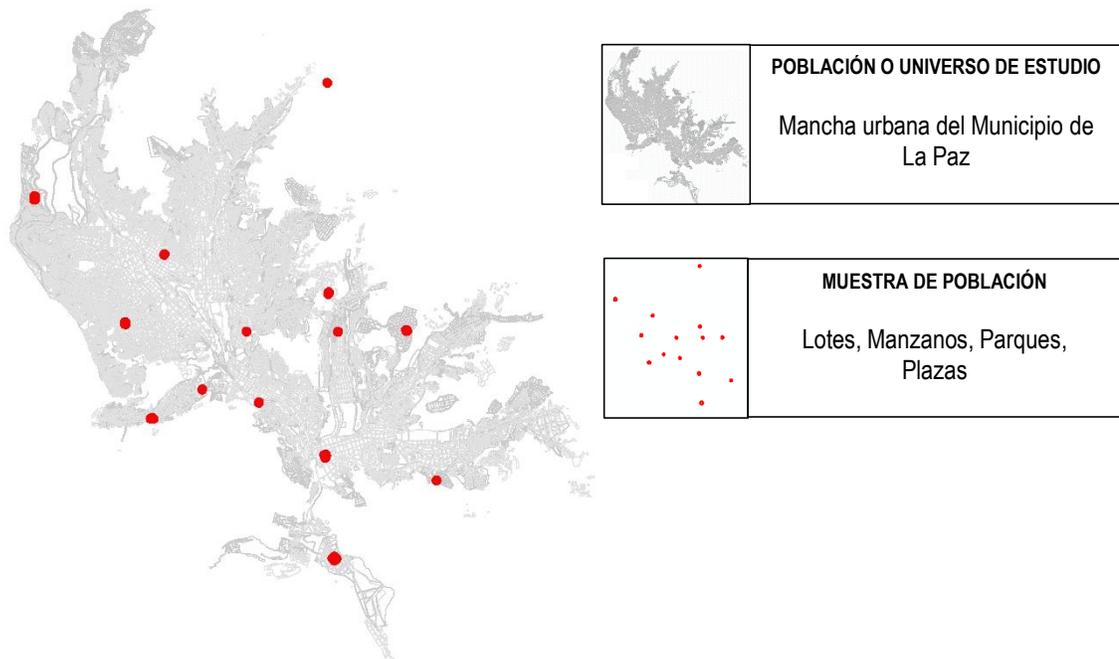


Figura No. 22 - Población y Muestra  
Fuente. Elaboración propia



A través de una serie de muestras, se pondrá en manifiesto la repercusión de la aplicación del sistema de coordenadas P.T.L. a nivel urbano, a continuación, se detalla las características de las muestras trabajadas:

- Muestra 1, Lote en la zona Agua de la Vida.

Municipio	La Paz		
Zona	Agua de la Vida		
Tipo	Lote		
Puntos de Control	O-149	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	592708,7340 8176142,3660 3639,7650
	O-150	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	592778,7480 8176200,9880 3635,495
	Factor Combinado	0,9991376	
Superficie U.T.M.	587,2334 m <sup>2</sup>	Perímetro UTM	111,1344 m.
Superficie Topográfico	588,2504 m <sup>2</sup>	Perímetro Topográfico	111,2305 m.
			Con factor Combinado
			Sin factor Combinado

Tabla No. 2 - Detalles Muestra 1, zona Agua de la Vida

Fuente. Elaboración propia

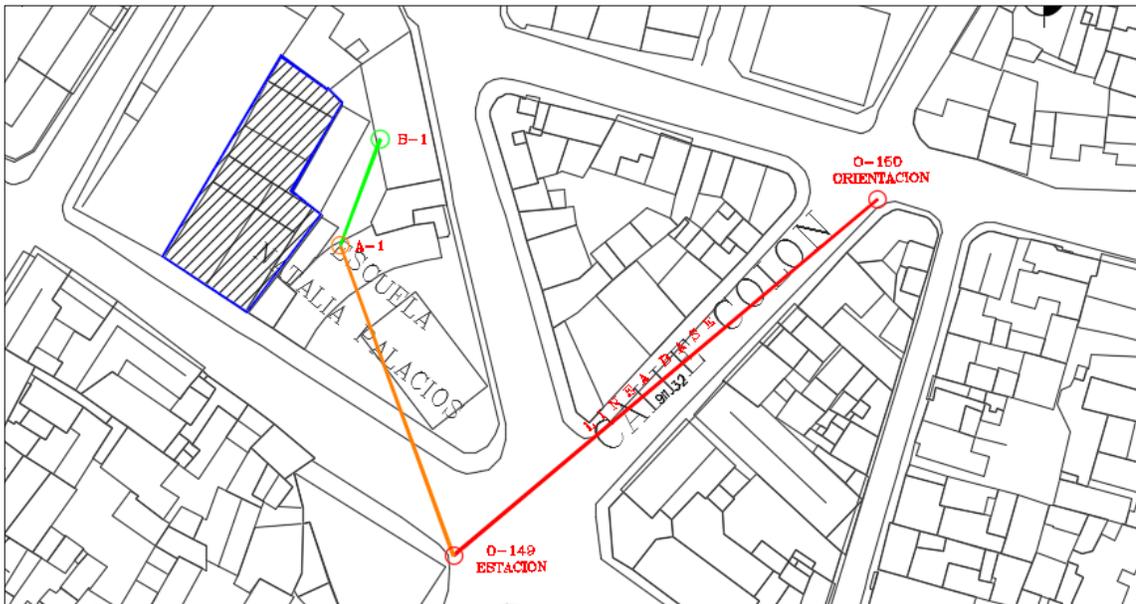


Figura No. 23 - Muestra 1, Lote en la zona Agua de la Vida

Fuente. Elaboración propia



- Muestra 2, Lote en la zona Bajo San Isidro.

Municipio	La Paz		
Zona	Bajo San Isidro		
Tipo	Lote		
Puntos de Control	G-681	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	594922,9510 8174017,1390 3523,2920
	G-682	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	594921,5180 8174052,2490 3526,1810
	Factor Combinado	0,9991591	
Superficie U.T.M.	210,1192 m <sup>2</sup>	Perímetro UTM	62,4498 m.
Superficie Topográfico	210,4723 m <sup>2</sup>	Perímetro Topográfico	62,5023 m.
		Con factor Combinado	
		Sin factor Combinado	

Tabla No. 3 - Detalles Muestra 2, zona Bajo San Isidro

Fuente. Elaboración propia

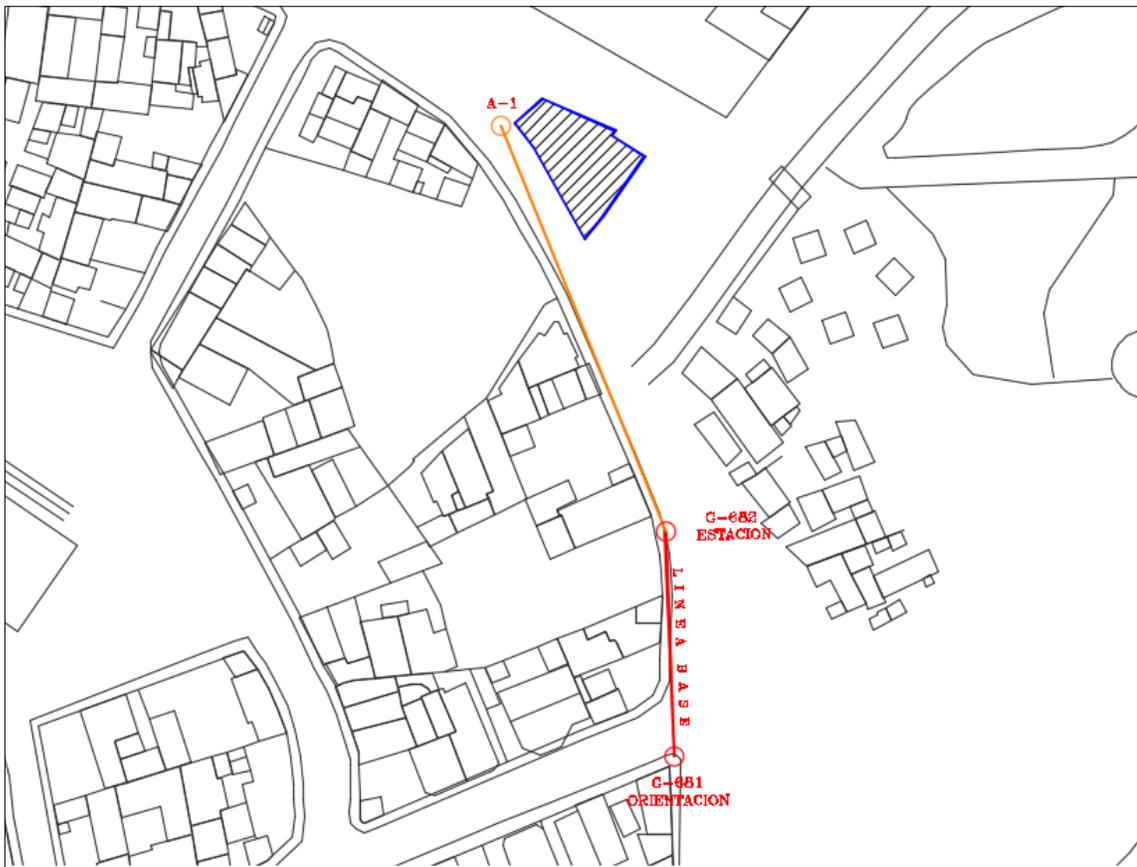


Figura No. 24 - Muestra 2, Lote en la zona Bajo San Isidro

Fuente. Elaboración propia



- Muestra 3, Lote en la zona Bajo Seguencoma.

Municipio	La Paz		
Zona	Bajo Seguencoma		
Tipo	Lote		
Puntos de Control	F-105	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	593731,3580 8172558,9000 3491,1910
	F-106	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	593719,9780 8172593,7050 3495,7780
	Factor Combinado	0,9991619	
Superficie U.T.M.	206,8390 m <sup>2</sup>	Perímetro UTM	71,2966 m.
Superficie Topográfico	207,1865 m <sup>2</sup>	Perímetro Topográfico	71,3563 m.
		Con factor Combinado	
		Sin factor Combinado	

Tabla No. 4 - Detalles Muestra 3, zona Bajo Seguencoma

Fuente. Elaboración propia

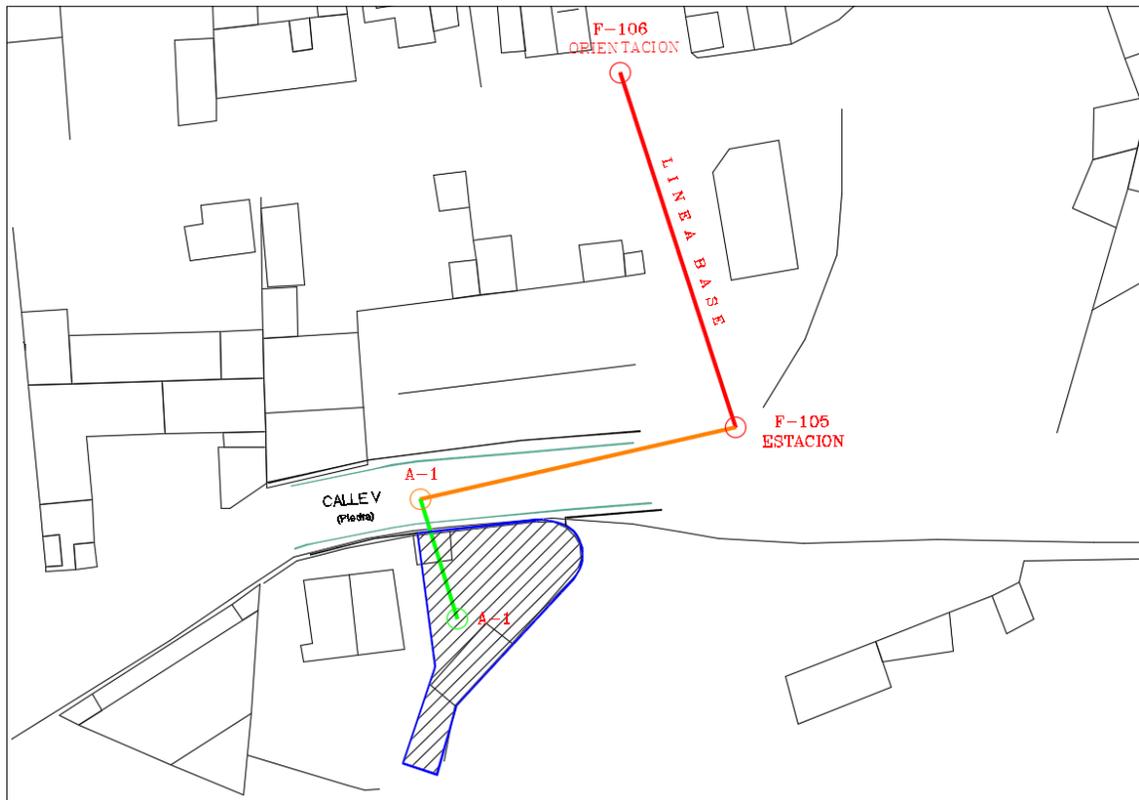


Figura No. 25 - Muestra 3, Lote en la zona Bajo Seguencoma

Fuente. Elaboración propia



- Muestra 4, Lote en la zona Callapa.

Municipio		La Paz			
Zona		Callapa			
Tipo		Lote			
Puntos de Control	GPS-1	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	597127,6295 8175216,3854 3555,3490	Sistema de Coordenadas WGS-84 UTM Zona 19 Sur	
	GPS-2	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	597159,6089 8175150,9185 3546,2610		
	Factor Combinado	0,99915994			
Superficie U.T.M.		1433,0180 m <sup>2</sup>	Perímetro UTM	210,3807 m.	Con factor Combinado
Superficie Topográfico		1435,4331 m <sup>2</sup>	Perímetro Topográfico	210,5575 m.	Sin factor Combinado

Tabla No. 5 - Detalles Muestra 4, zona Callapa

Fuente. Elaboración propia

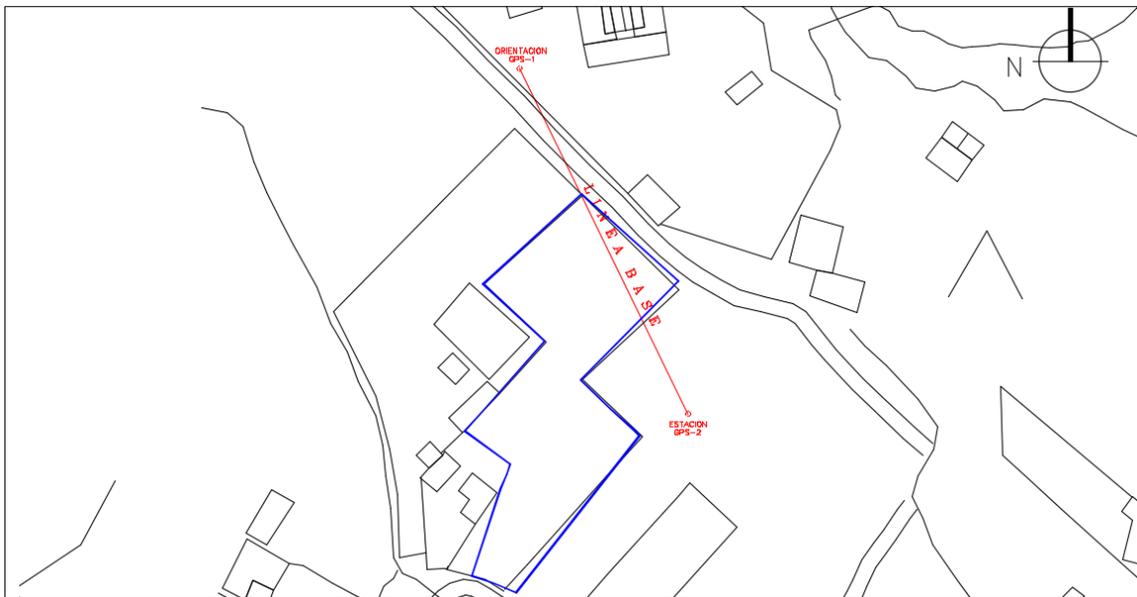


Figura No. 26 - Muestra 3, Lote en la zona Bajo Seguencoma

Fuente. Elaboración propia

- Muestra 5, Lote en la zona Chuquiaguillo.

Municipio		La Paz			
Zona		Chuquiaguillo			
Tipo		Lote			
Puntos de Control	GPS-1	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	597097,4920 8180878,0230 4030,6650	Sistema de Coordenadas WGS-84 UTM Zona 19 Sur	
	GPS-2	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	597113,4440 8180865,0680 4023,4050		
	Factor Combinado	0,99908383			
Superficie U.T.M.		357,7873 m <sup>2</sup>	Perímetro UTM	75,8657 m.	Con factor Combinado
Superficie Topográfico		358,4424 m <sup>2</sup>	Perímetro Topográfico	75,9351 m.	Sin factor Combinado

Tabla No. 6 - Detalles Muestra 5, zona Chuquiaguillo

Fuente. Elaboración propia

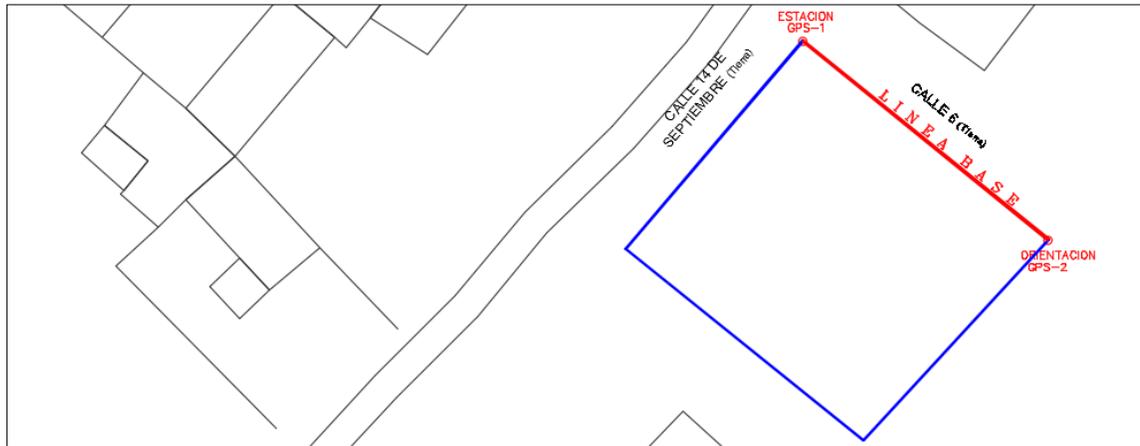


Figura No. 27 - Muestra 5, Lote en la zona Chuquiaguillo  
 Fuente. Elaboración propia

- Muestra 6, Lote en la zona Irpavi.

Municipio	La Paz		
Zona	Irpavi		
Tipo	Lote		
Puntos de Control	I-251	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	597387,7520 8174024,7500 3368,2110
	I-252	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	597375,6740 8173976,1030 3365,2150
	Factor Combinado	0,9991898	
Superficie U.T.M.	454,7038 m <sup>2</sup>	Perímetro UTM	85,7513 m.
Superficie Topográfico	455,4391 m <sup>2</sup>	Perímetro Topográfico	85,8206 m.
			Con factor Combinado
			Sin factor Combinado
Sistema de Coordenadas WGS-84 UTM Zona 19 Sur			

Tabla No. 7 - detalles Muestra 6, zona Bajo Seguencoma  
 Fuente. Elaboración propia

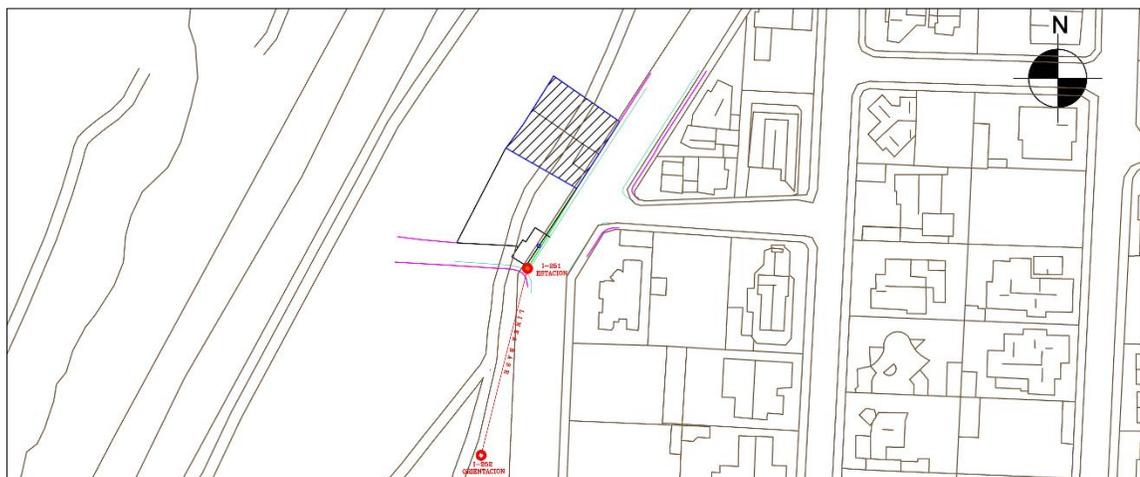


Figura No. 28 - Muestra 6, Lote en la zona Irpavi  
 Fuente. Elaboración propia



- Muestra 7, Lote en la zona La Glorieta.

Municipio	La Paz		
Zona	La Glorieta		
Tipo	Lote		
Puntos de Control	GPS-1	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	600061,8564 8170080,2087 3526,9694
	GPS-2	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	600148,0649 8170106,1524 3537,1213
	Factor Combinado	0,99916866	
Superficie U.T.M.	343,63 m <sup>2</sup>	Perímetro UTM	74,0087 m.
Superficie Topográfico	344,2035 m <sup>2</sup>	Perímetro Topográfico	74,0704 m.
		Con factor Combinado	
		Sin factor Combinado	

Tabla No. 8 - Detalles Muestra 7, zona La Glorieta

Fuente. Elaboración propia

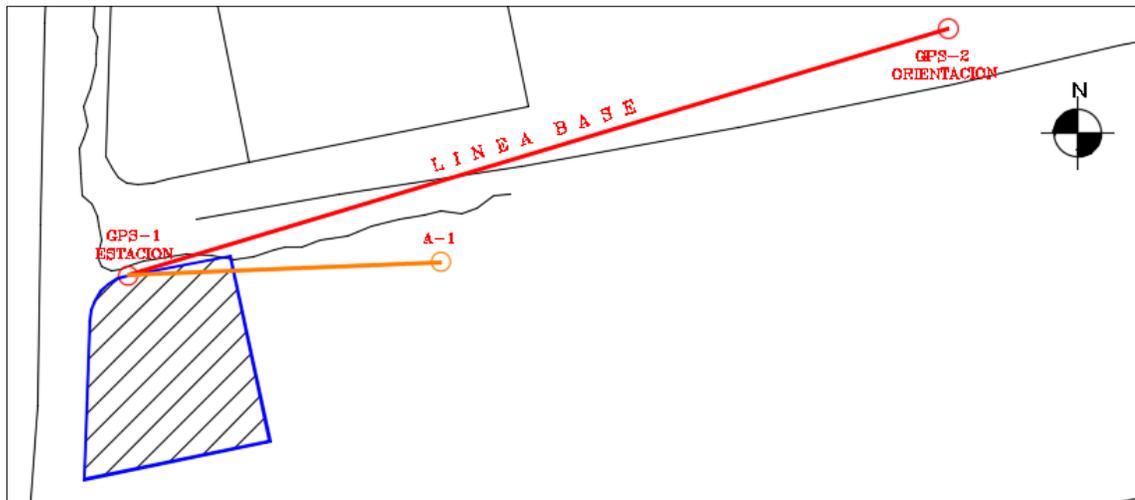


Figura No. 29 - Muestra 7, Lote en la zona La Glorieta

Fuente. Elaboración propia

- Muestra 8, Lote en la zona Seguencoma.

Municipio	La Paz		
Zona	Seguencoma		
Tipo	Lote		
Puntos de Control	C263P-49	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	595478,8810 8172225,9650 3291,7510
	C263P-50	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	595351,2700 8172243,8720 3291,9300
	Factor Combinado	0,999197	
Superficie U.T.M.	545,1059 m <sup>2</sup>	Perímetro UTM	99,5613 m.
Superficie Topográfico	546,0147 m <sup>2</sup>	Perímetro Topográfico	99,6443 m.
		Con factor Combinado	
		Sin factor Combinado	

Tabla No. 9 - Detalles Muestra 8, zona Seguencoma

Fuente. Elaboración propia



Figura No. 30 - Muestra 8, Lote en la zona Seguencoma  
 Fuente. Elaboración propia

- Muestra 9, Lote en la zona Urbanización Ciudadela Stronguista.

Municipio	La Paz		
Zona	Urbanización Ciudadela Stronguista		
Tipo	Lote		
Puntos de Control	S015	Este: Norte: Altura:	599251,6310 8174142,9480 3671,4750
	S016	Este: Norte: Altura:	599242,3490 8174122,4900 3673,8700
	Factor Combinado	0,999147	
Superficie U.T.M.	1738,6818 m <sup>2</sup>	Perímetro UTM	179,1580 m.
Superficie Topográfico	1741,6553 m <sup>2</sup>	Perímetro Topográfico	179,3110 m.
		Con factor Combinado	
		Sin factor Combinado	

Tabla No. 10 - Detalles Muestra 9, Urbanización Ciudadela Stronguista  
 Fuente. Elaboración propia



Figura No. 31 - Muestra 8, Lote en la Urbanización Ciudadela Stronguista  
 Fuente. Elaboración propia



- Muestra 10, Manzano en la zona Alto la Portada.

Municipio	La Paz			
Zona	Alto la Portada			
Tipo	Manzano			
Puntos de Control	ALP-1	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	589181,3842 8177680,2302 4129,9995	Sistema de Coordenadas WGS-84 UTM Zona 19 Sur
	ALP-2	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	589181,1196 8177619,6405 4130,0942	
	Factor Combinado	0,99904977		
Superficie U.T.M.	4910,8165 m <sup>2</sup>	Perímetro UTM	303,0036 m.	Con factor Combinado
Superficie Topográfico	4920,1648 m <sup>2</sup>	Perímetro Topográfico	303,2918 m.	Sin factor Combinado

Tabla No. 11 - Detalles Muestra 10, zona Alto la Portada  
 Fuente. Elaboración propia

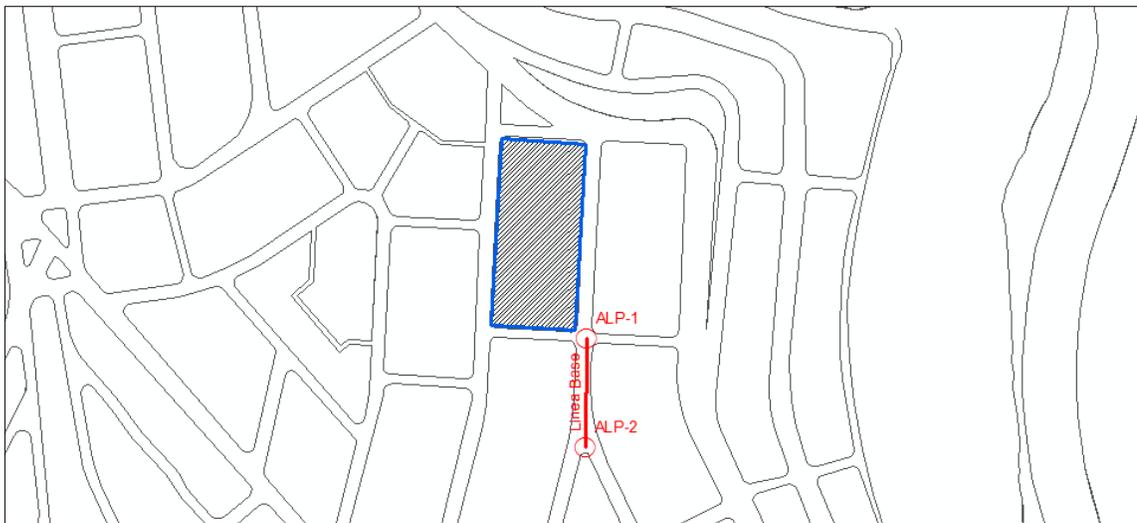


Figura No. 32 - Muestra 10, Manzano en la zona Alto la Portada  
 Fuente. Elaboración propia

- Muestra 11, Manzano en la zona Llojeta.

Municipio	La Paz			
Zona	Llojeta			
Tipo	Manzano			
Puntos de Control	LL-01	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	592284,3921 8171877,7493 3703,6641	Sistema de Coordenadas WGS-84 UTM Zona 19 Sur
	LL-02	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	592345,6173 8171786,1156 3691,3322	
	Factor Combinado	0,99912454		
Superficie U.T.M.	2747,9871 m <sup>2</sup>	Perímetro UTM	239,8907 m.	Con factor Combinado
Superficie Topográfico	2752,8076 m <sup>2</sup>	Perímetro Topográfico	240,1010 m.	Sin factor Combinado

Tabla No. 12 - Detalles Muestra 11, zona Llojeta  
 Fuente. Elaboración propia



Figura No. 33 - Muestra 11, Manzano en la zona Llojeta  
 Fuente. Elaboración propia

- Muestra 12, Manzano en la zona Tembladerani.

Municipio	La Paz			
Zona	Tembladerani			
Tipo	Parque			
Puntos de Control	TMB-1	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	591492,1057 8174363,8531 3732,3330	Sistema de Coordenadas WGS-84 UTM Zona 19 Sur
	TMB-2	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	591589,2080 8174288,7113 3714,6724	
	Factor Combinado	0,99912043		
Superficie U.T.M.	2283,6475 m <sup>2</sup>	Perímetro UTM	215,0170 m.	Con factor Combinado
Superficie Topográfico	2287,6701 m <sup>2</sup>	Perímetro Topográfico	215,2063 m.	Sin factor Combinado

Tabla No. 13 - Detalles Muestra 12, zona Tembladerani  
 Fuente. Elaboración propia

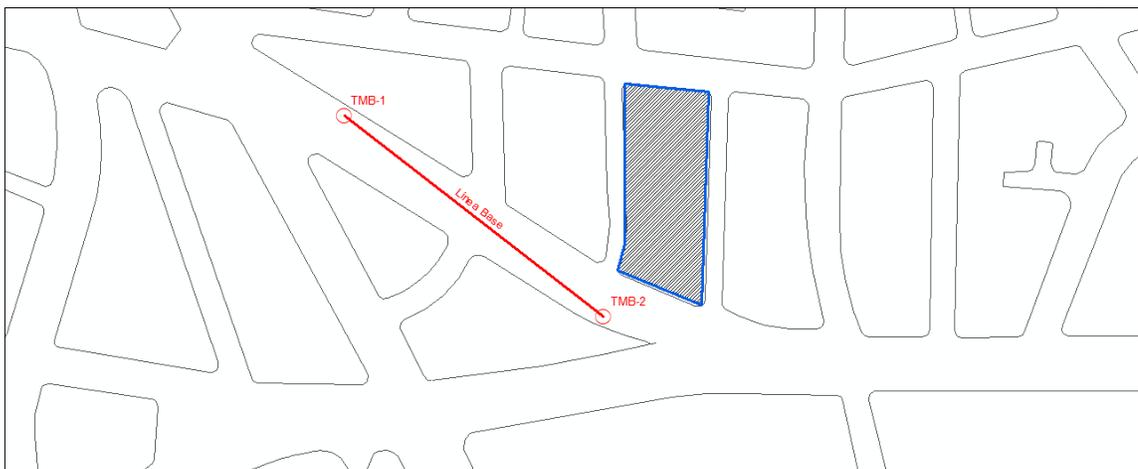


Figura No. 34 - Muestra 12, Parque en la zona Tembladerani  
 Fuente. Elaboración propia



- Muestra 13, Manzano en la zona Calacoto.

Municipio	La Paz			
Zona	Calacoto			
Tipo	Manzano			
Puntos de Control	CLC-01	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	596996,5875 8170774,0613 3250,3332	Sistema de Coordenadas WGS-84 UTM Zona 19 Sur
	CLC-02	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	597034,9363 8170659,0032 3249,8396	
	Factor Combinado	0,99911238		
Superficie U.T.M.	5054,3392 m <sup>2</sup>	Perímetro UTM	293,7758 m.	Con factor Combinado
Superficie Topográfico	5063,3239 m <sup>2</sup>	Perímetro Topográfico	294,0368 m.	Sin factor Combinado

Tabla No. 14 - Detalles Muestra 13, zona Calacoto

Fuente. Elaboración propia

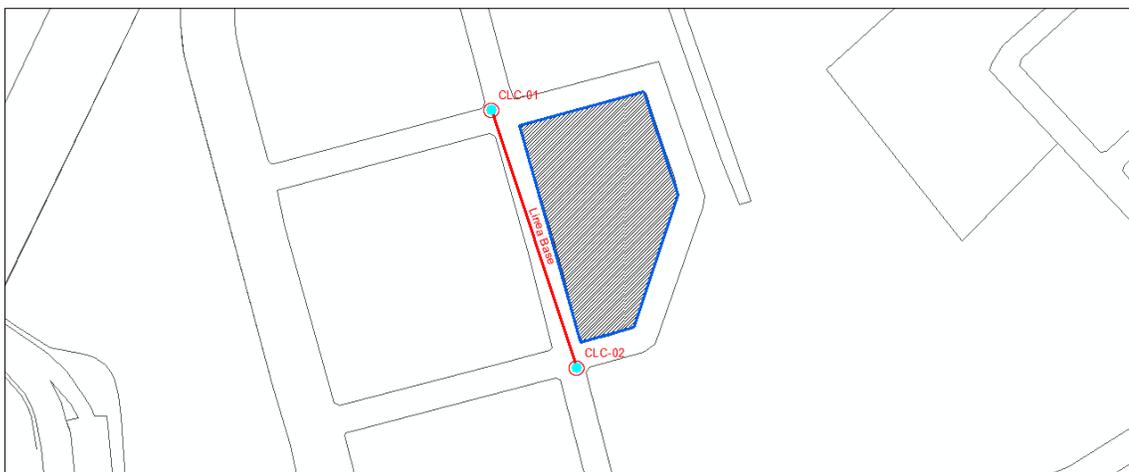


Figura No. 35 - Muestra 12, Manzano en la zona Calacoto

Fuente. Elaboración propia

- Muestra 14, Manzano en la zona Mallasa.

Municipio	La Paz			
Zona	Mallasa			
Tipo	Manzano			
Puntos de Control	MLL-1	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	597148,9210 8167873,4240 3274,4075	Sistema de Coordenadas WGS-84 UTM Zona 19 Sur
	MLL-2	<b>Este:</b> <b>Norte:</b> <b>Altura:</b>	597274,8629 8168019,2097 3276,7709	
	Factor Combinado	0,99920219		
Superficie U.T.M.	9010,0306 m <sup>2</sup>	Perímetro UTM	379,8674 m.	Con factor Combinado
Superficie Topográfico	9024,4244 m <sup>2</sup>	Perímetro Topográfico	380,1707 m.	Sin factor Combinado

Tabla No. 15 - Detalles Muestra 14, zona Mallasa

Fuente. Elaboración propia

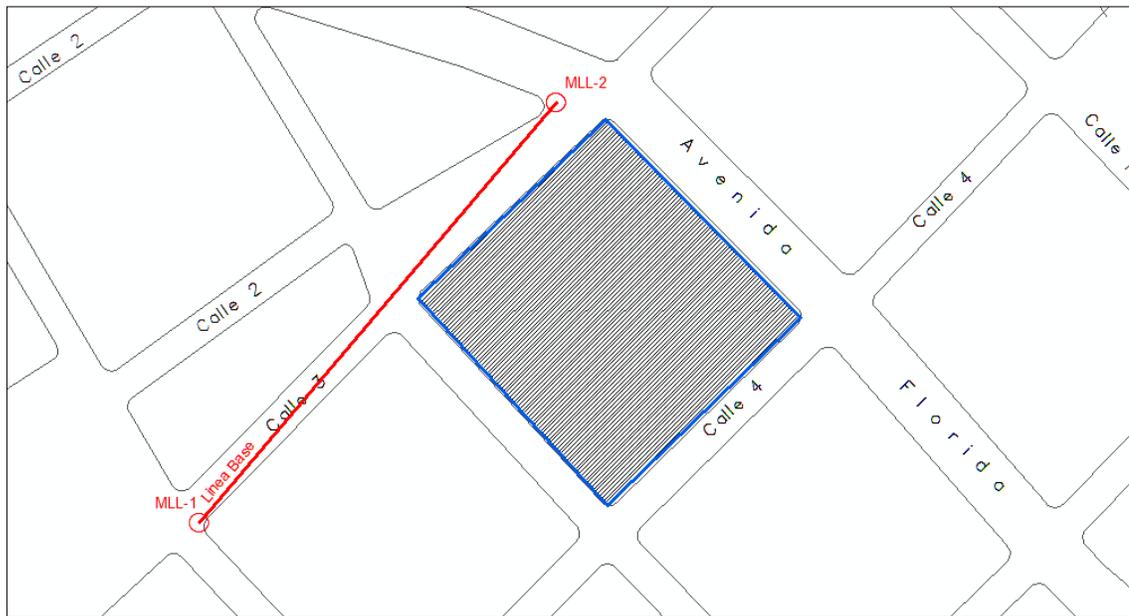


Figura No. 36 - Muestra 14, Manzano en la zona Mallasa  
Fuente. Elaboración propia

### 3.3. Materiales

Los materiales empleados se describen a continuación:

- Imágenes Satelitales de referencia del software Google Earth.
- Información cartográfica del municipio de La Paz (Hojas escala 1:50000)
- Modelo Digital de Elevación del Municipio de La Paz: ASTER GDEM Worldwide Elevation Data (Resolución = 1 arco de segundo).

Los softwares empleados son:

- AutoCad 2016 - Dibujos planimétricos de Lotes, Manzanos, Parques, etc.
- Google Earth - Plataforma de Visualización de Imágenes Satelitales.
- SasPlantet - Visualizador y gestor de descargas de Imágenes Satelitales de la plataforma Google Earth.
- Global Mapper v18 - Software de Gestión de datos S.I.G. y gestor de descargas de información GDEM.
- ArcGis v10 - Software de gestión de análisis espacial para los procesos de transformación, edición, proyección y creación de sistemas de coordenadas.



## CAPITULO IV DESARROLLO DEL TRABAJO

### 4.1. Delimitación espacial del área de estudio

El desarrollo de los trabajos técnicos está delimitado dentro de los contornos del municipio de La Paz, sin embargo, la propuesta tiene alcance espacial a nivel Urbano, es decir, el estudio se enfoca específicamente al perímetro que forma la mancha urbana de la ciudad de La Paz, además de que los parámetros cartográficos obtenidos, son específicos y solo válidos en dicha mancha urbana.

Así mismo, debido a las características que definen un sistema de coordenadas P.T.L., el alcance que posee dicho sistema está limitada por la diferencia de alturas, es por ello que, para establecer los límites del área de estudio, se considera dos aspectos importantes; primero, la construcción de un único sistema de coordenadas P.T.L. general a nivel urbano y segundo, la construcción de un sistema de coordenadas P.T.L. sectorizada por zonas, estas zonas son definidas por las diferencias de alturas del área de estudio.

#### 4.1.1. Delimitación General a Nivel Urbano

Una de las características del actual sistema de coordenadas U.T.M., de su aplicación en nuestro medio, es que dicho sistema cubre con una única zona (zona 19 sur), toda la mancha urbana del municipio paceño, es decir, que para su empleo o aplicación de este sistema los parámetros de dicha zona son únicas. Es a partir de ello, que se pretende analizar la aplicación del que se lo denomina; Sistema de Coordenadas P.T.L. Urbano L.P., donde la construcción de este sistema, al igual que el empleado actualmente, es definida para cubrir con una única zona al área de estudio.

<b>Sistema de Coordenadas P.T.L. Urbano L.P.</b>			
Alcance	A nivel Urbano		
Delimitación Espacial	Perímetro de la mancha urbana		
Meridiano Central	68°06'00" Oeste	Latitud Media	16°30'00" Sur
Altura PTL (m)	3632	Sistema de Referencia	WGS-1984
Diferencia de Alturas	1336 metros (Min. 3064 m. – Max. 4400 m.)		

Tabla No. 16 – Detalles de la delimitación general P.T.L. Urbano L.P.

Fuente. Elaboración propia

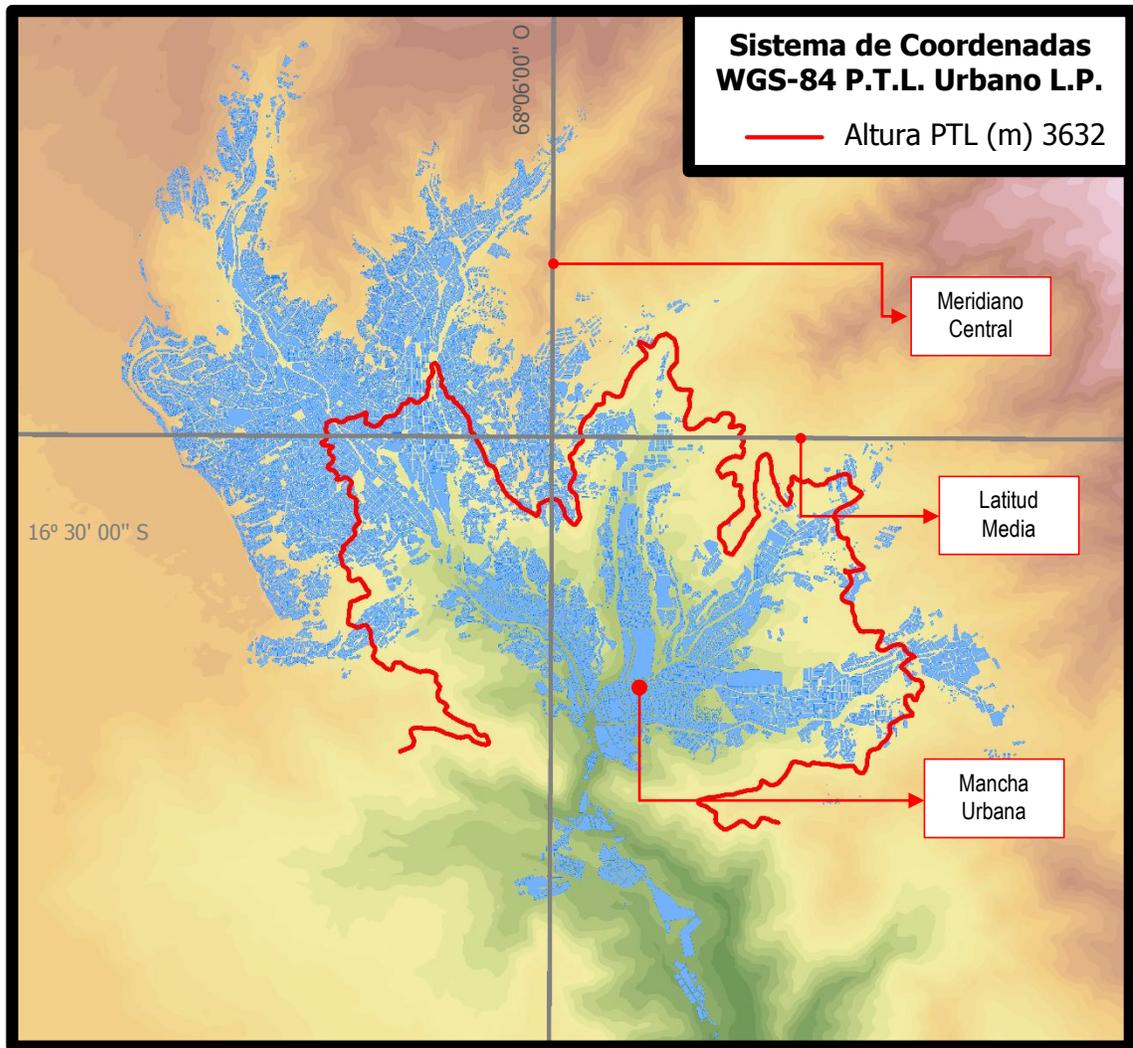


Figura No. 37 - Delimitación General P.T.L. Urbano L.P.  
Fuente. Elaboración propia

#### 4.1.2. Delimitación Sectorizada por zonas P.T.L.

Considerando que el proyecto se enfoca en el análisis de la aplicación de un sistema de coordenadas P.T.L. a nivel urbano, es importante señalar que los desniveles que presenta el Municipio Paceño son de consideración (1450 m. desnivel aproximado), además que según los fundamentos de este sistema, los desniveles del terreno respecto al PTL no deben exceder de 300 metros; es por ello que para este caso también se pone en análisis un sistema de coordenadas P.T.L. sectorizado por zonas, donde se adopta 300 metros como desnivel límite. En conformidad con lo anterior, se definen cinco zonas P.T.L. distanciados verticalmente en 300 metros, estas zonas son clasificadas a



intervalos fijos de acuerdo a las alturas de terreno que presenta el área de estudio, ver tabla No. 17.

Sistema de Coordenadas PTL Sectorizada por Zonas			
Zona P.T.L.	Altura P.T.L. (m)	Altura Terreno (m)	
		Desde	Hasta
P.T.L. Zona 1 L.P.	3150	3000	3300
P.T.L. Zona 2 L.P.	3450	3300	3600
P.T.L. Zona 3 L.P.	3750	3600	3900
P.T.L. Zona 4 L.P.	4050	3900	4200
P.T.L. Zona 5 L.P.	4350	4200	4500

Tabla No. 17 - Detalles de la delimitación sectorizada por zonas P.T.L.

Fuente. Elaboración propia

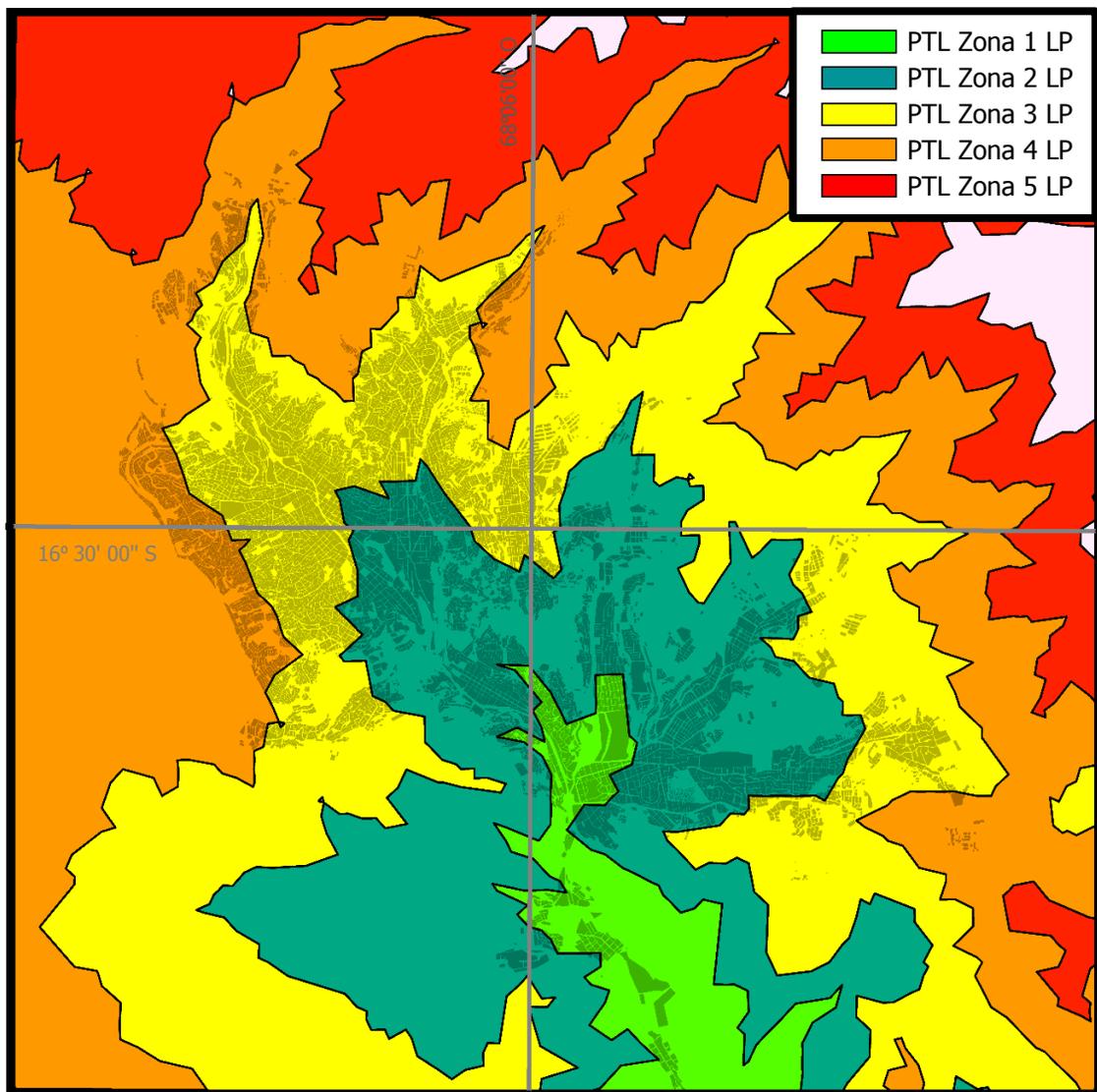


Figura No. 38 - Delimitación P.T.L. por zonas L.P.

Fuente. Elaboración propia



## 4.2. Construcción del Sistema de Coordenadas P.T.L.

Para definir un PTL, es necesario definir la cota media de la zona de estudio (HPTL), es muy importante considerar siempre los rangos de trabajo referentes a los desniveles del área de estudio tanto hacia arriba y hacia abajo respecto de la cota media. Esta cota es la que se emplea para calcular el factor de escala específico.

Es a partir de ello, que se determina establecer o construir dos sistemas de coordenadas P.T.L., uno a nivel general denominado “Sistema de Coordenadas P.T.L. Urbano L.P.” y otro sectorizada por zonas denominado “Sistema de Coordenadas P.T.L. Zona “X” L.P.

### 4.2.1. Sistema de Coordenadas P.T.L. Urbano L.P.

La referencia espacial que se establece en la construcción del Sistema de Coordenadas P.T.L. Urbano L.P., es el sistema WGS-84, ya que en nuestro medio es el sistema de referencia oficial a nivel nacional. Mientras que el sistema de proyección es por medio del sistema L.T.M., siendo que, a partir de ahí se logra elaborar cualquier PTL.

Parámetro	Valor
Falso Norte	3.000.000 metros
Falso Este	200.000 metros
Ancho de Huso	1° ( <i>Un grado sexagesimal</i> )
Meridiano Central	68° 06' 00" W

Tabla No. 18 - Parámetros de la proyección L.T.M.  
 Fuente. Elaboración propia

El Meridiano Central es un parámetro que depende de aquella zona L.T.M. que cubre el área estudio, de acuerdo a la figura No 37, se determina emplear el meridiano 68° 06' 00" W. La construcción del P.T.L. Urbano L.P., se establece con la altura media de 3632 de acuerdo a la figura No 37, a partir de ello se calcula el factor de escala específico:

$$K_H = \frac{R + H_{PTL}}{R}$$

Donde:

$K_H$  = Factor de Escala  
 $R$  = Radio medio de la tierra  
 $H_{PTL}$  = Altura media



De esta manera la construcción del sistema de coordenadas P.T.L., se determina por medio de los siguientes parámetros:

Sistema de Coordenadas P.T.L. Urbano L.P.		
Sistema de Proyección	Proyección	Local Transversa de Mercator
	Falso Norte	3.000.000 metros
	Falso Este	200.000 metros
	Ancho de Huso	1° 00' 00" ( <i>Un grado sexagesimal</i> )
	Meridiano Central	68° 06' 00" W
	Factor de Escala	1.00057105
	Unidad Lineal	Metros
Sistema de Referencia	Datum	WGS – 1984
	Meridiano Base	Greenwich

Tabla No. 19 - Parámetros del sistema de coordenadas P.T.L. Urbano L.P.  
 Fuente. Elaboración Propia

#### 4.2.2. Sistema de Coordenadas P.T.L. Sectorizada por Zonas

La construcción de los parámetros de este sistema de coordenadas, se caracteriza por estar definida en 5 zonas que cubren el área de estudio, cada zona está definida por la diferencia de alturas en un rango de 300 metros, los parámetros L.T.M., que constituyen este sistema, (ver tabla No 20), serán para todas las zonas P.T.L., incluyendo el sistema de referencia espacial WGS-84.

Parámetro	Valor
Falso Norte	3.000.000 metros
Falso Este	200.000 metros
Ancho de Huso	1° ( <i>Un grado sexagesimal</i> )
Meridiano Central	68° 06' 00" W

Tabla No. 20 - Parámetros de la proyección L.T.M.  
 Fuente. Elaboración propia

- Sistema de Coordenadas P.T.L. Zona 1 L.P.

La construcción del P.T.L. Zona 1 L.P., se establece con la altura media de 3150 de acuerdo a la tabla No. 17, a partir de ello se calcula el factor de escala específico y de esta manera la construcción del sistema de coordenadas P.T.L., se determina por medio de los siguientes parámetros:



<b>Sistema de Coordenadas P.T.L. Zona 1 L.P.</b>		
Sistema de Proyección	Proyección	Local Transversa de Mercator
	Falso Norte	3.000.000 metros
	Falso Este	200.000 metros
	Ancho de Huso	1° 00' 00" ( <i>Un grado sexagesimal</i> )
	Meridiano Central	68° 06' 00" W
	Factor de Escala	1,00049527
	Unidad Lineal	Metros
Sistema de Referencia	Datum	WGS – 1984
	Meridiano Base	Greenwich

Tabla No. 21 - Parámetros del sistema de coordenadas P.T.L. Zona 1 L.P.

Fuente. Elaboración Propia

- Sistema de Coordenadas P.T.L. Zona 2 L.P.

La construcción del P.T.L. Zona 2 L.P., se establece con la altura media de 3450 de acuerdo a la tabla No. 17 (*Detalles de la delimitación sectorizada por zonas P.T.L.*), a partir de ello se calcula el factor de escala específico y de esta manera la construcción del sistema de coordenadas P.T.L., se determina por medio de los siguientes parámetros:

<b>Sistema de Coordenadas P.T.L. Zona 2 L.P.</b>		
Sistema de Proyección	Proyección	Local Transversa de Mercator
	Falso Norte	3.000.000 metros
	Falso Este	200.000 metros
	Ancho de Huso	1° 00' 00" ( <i>Un grado sexagesimal</i> )
	Meridiano Central	68° 06' 00" W
	Factor de Escala	1,00054244
	Unidad Lineal	Metros
Sistema de Referencia	Datum	WGS – 1984
	Meridiano Base	Greenwich

Tabla No. 22 - Parámetros del sistema de coordenadas P.T.L. Zona 2 L.P.

Fuente. Elaboración Propia

- Sistema de Coordenadas P.T.L. Zona 3 L.P.

La construcción del P.T.L. Zona 3 L.P., se establece con la altura media de 3750 de acuerdo a la tabla No. 17 (*Detalles de la delimitación sectorizada por zonas P.T.L.*), a partir de ello se calcula el factor de escala específico y de esta manera la construcción del sistema de coordenadas P.T.L., se determina por medio de los siguientes parámetros:



<b>Sistema de Coordenadas P.T.L. Zona 3 L.P.</b>		
Sistema de Proyección	Proyección	Local Transversa de Mercator
	Falso Norte	3.000.000 metros
	Falso Este	200.000 metros
	Ancho de Huso	1° 00' 00" ( <i>Un grado sexagesimal</i> )
	Meridiano Central	68° 06' 00" W
	Factor de Escala	1,00058961
	Unidad Lineal	Metros
Sistema de Referencia	Datum	WGS – 1984
	Meridiano Base	Greenwich

Tabla No. 23 - Parámetros del sistema de coordenadas P.T.L. Zona 3 L.P.

Fuente. Elaboración Propia

- Sistema de Coordenadas P.T.L. Zona 4 L.P.

La construcción del P.T.L. Zona 4 L.P., se establece con la altura media de 4050 de acuerdo a la tabla No. 17 (*Detalles de la delimitación sectorizada por zonas P.T.L.*), a partir de ello se calcula el factor de escala específico y de esta manera la construcción del sistema de coordenadas P.T.L., se determina por medio de los siguientes parámetros:

<b>Sistema de Coordenadas P.T.L. Zona 4 L.P.</b>		
Sistema de Proyección	Proyección	Local Transversa de Mercator
	Falso Norte	3.000.000 metros
	Falso Este	200.000 metros
	Ancho de Huso	1° 00' 00" ( <i>Un grado sexagesimal</i> )
	Meridiano Central	68° 06' 00" W
	Factor de Escala	1,00063677
	Unidad Lineal	Metros
Sistema de Referencia	Datum	WGS – 1984
	Meridiano Base	Greenwich

Tabla No. 24 - Parámetros del sistema de coordenadas P.T.L. Zona 4 L.P.

Fuente. Elaboración Propia

- Sistema de Coordenadas P.T.L. Zona 5 L.P.

La construcción del P.T.L. Zona 5 L.P., se establece con la altura media de 4350 de acuerdo a la tabla No. 17 (*Detalles de la delimitación sectorizada por zonas P.T.L.*), a partir de ello se calcula el factor de escala específico y de esta manera la construcción del sistema de coordenadas P.T.L., se determina por medio de los siguientes parámetros:



<b>Sistema de Coordenadas P.T.L. Zona 5 L.P.</b>		
Sistema de Proyección	Proyección	Local Transversa de Mercator
	Falso Norte	3.000.000 metros
	Falso Este	200.000 metros
	Ancho de Huso	1° 00' 00" ( <i>Un grado sexagesimal</i> )
	Meridiano Central	68° 06' 00" W
	Factor de Escala	1,00068394
	Unidad Lineal	Metros
Sistema de Referencia	Datum	WGS – 1984
	Meridiano Base	Greenwich

Tabla No. 25 - Parámetros del sistema de coordenadas P.T.L. Zona 5 L.P.

Fuente. Elaboración Propia

### 4.3. Proyección del Sistema de Coordenadas U.T.M. a P.T.L.

Con las muestras definidas y los parámetros establecidos, entra en curso la aplicación de los dos sistemas de coordenadas P.T.L., a través de procesos de transformación y proyección entre sistemas de coordenadas (U.T.M. a P.T.L.), por medio de las herramientas que ofrece el software ArcGis.

El proceso se divide en dos espacios de trabajo; el primero consiste en transformar o proyectar todos los elementos de las muestras U.T.M. de manera general al sistema de coordenadas P.T.L. Urbano L.P., mientras que el segundo reside en transformar o proyectar las muestras U.T.M. por zonas P.T.L., es decir que cada elemento de las muestras se proyecta de forma particular, de acuerdo a la zona P.T.L. a la que corresponda, conforme se establece en la tabla No 17 (*Detalles de la delimitación sectorizada por zonas P.T.L.*), y se delimita en la figura No 38.

#### 4.3.1. Proyección al Sistema de Coordenadas P.T.L. Urbano L.P.

Debido que el sistema de coordenadas P.T.L. Urbano L.P., tiene una construcción que se caracteriza por ser un sistema que cubre toda el área de estudio, se desarrolla un único proceso de transformación o proyección, ver figura No.39.

Los elementos de la muestra (Lotes, manzanos, Parques), bajo el sistema de coordenadas U.T.M., se encuentran bajo el formato Shapefile (shp), representados por polígonos, puntos y polilíneas.

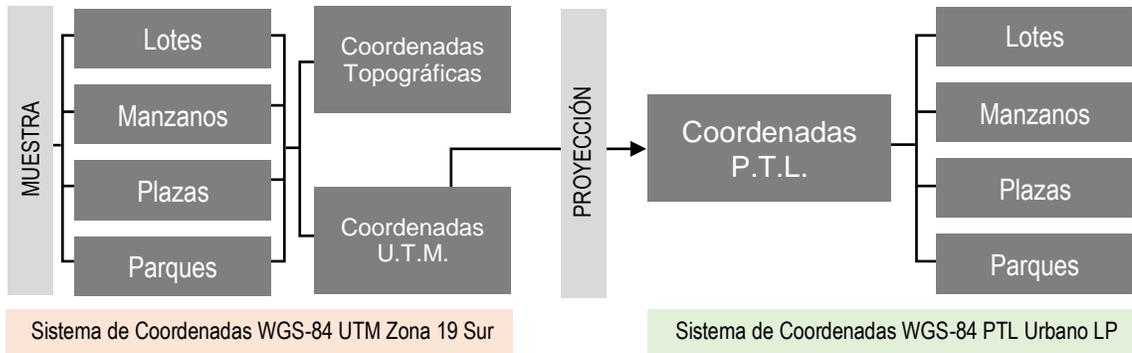


Figura No. 39 - Proceso de transformación de sistema de coordenadas  
 Fuente. Elaboración propia

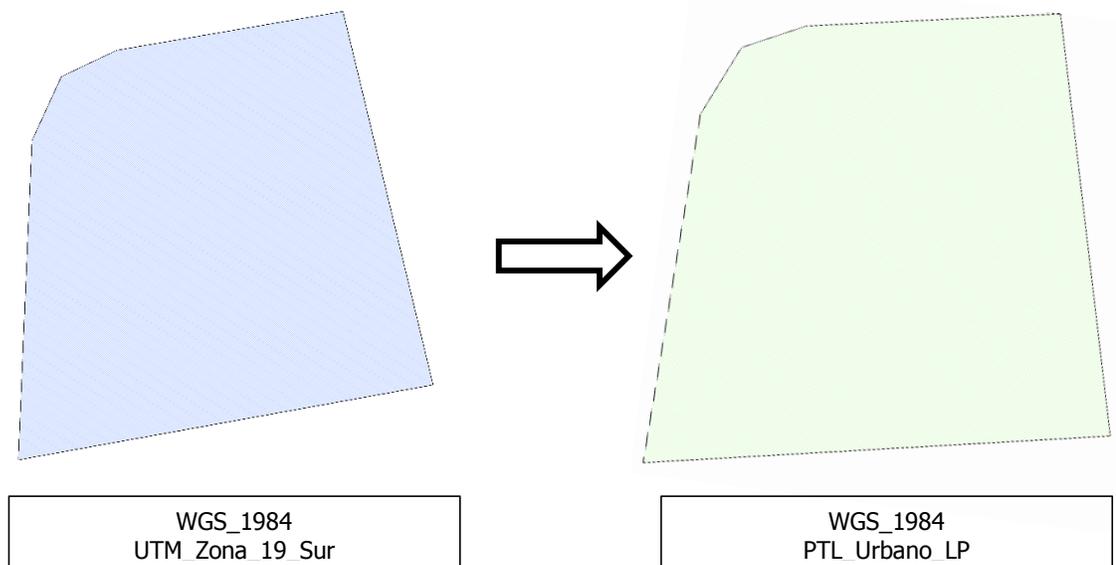
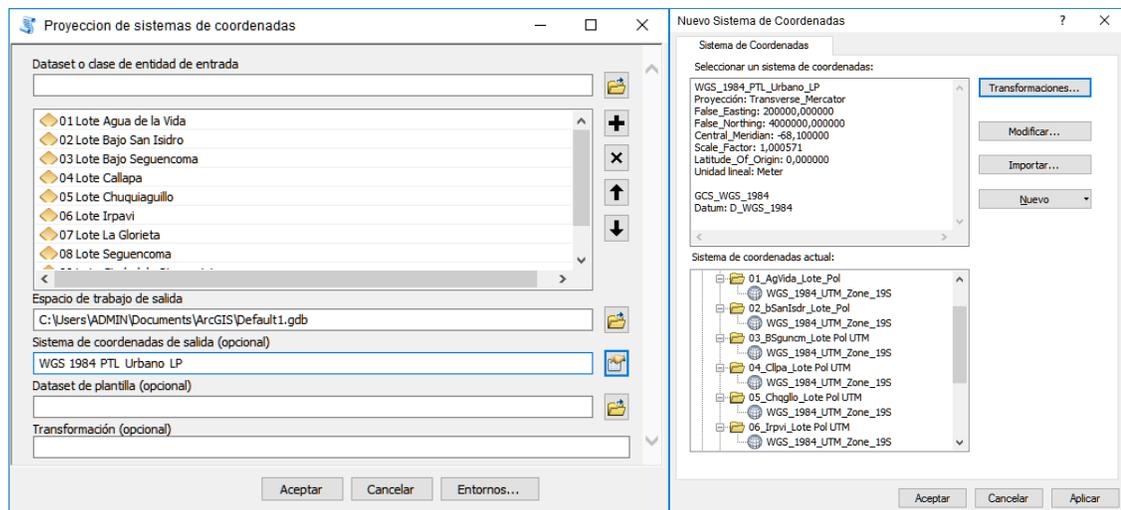


Figura No. 40 - Proceso de transformación de sistema de coordenadas  
 Fuente. Elaboración propia



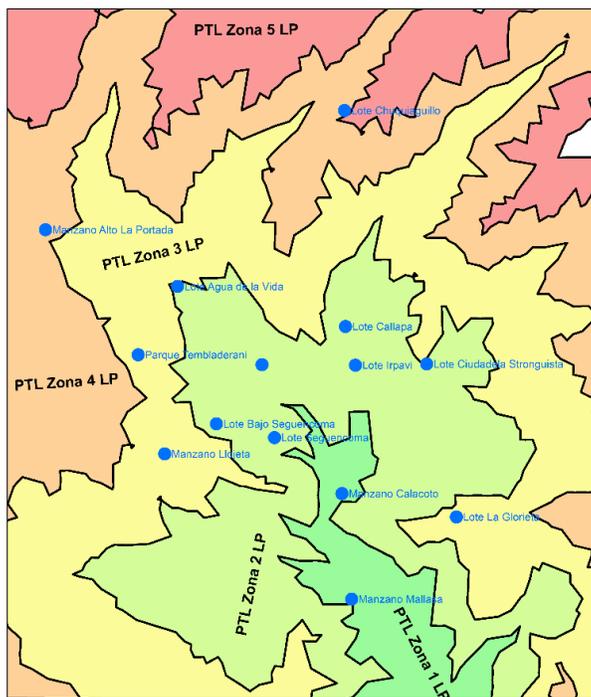
Los resultados de la transformación son los siguientes:

No	Tipo	Nombre	Perímetro PTL Urbano LP (m)	Área PTL Urbano LP (m <sup>2</sup> )
1	Lote	Agua de la Vida	111,2304	588,2498
2	Lote	Bajo San Isidro	62,5034	210,4802
3	Lote	Bajo Seguencoma	71,3581	207,1954
4	Lote	Callapa	210,5603	1435,4683
5	Lote	Chuquiaguillo	75,9307	358,4005
6	Lote	Irpavi	85,8247	455,4824
7	Lote	La Glorieta	74,0714	344,2125
8	Lote	Seguencoma	99,6470	546,0442
9	Lote	Ciudadela Stronguista	179,3100	1741,6340
10	Manzano	Alto la Portada	303,2683	4919,4016
11	Manzano	Llojeta	240,0984	2752,7484
12	Parque	Tembladerani	215,2036	2287,6122
13	Manzano	Calacoto	294,0269	5062,9856
14	Manzano	Mallasa	380,1917	9025,4237

Tabla No. 26 - Resultados de la transformación PTL Urbano LP  
 Fuente. Elaboración Propia

### 4.3.2. Proyección al sistema de Coordenadas P.T.L. por Zonas

La aplicación del sistema de coordenadas P.T.L. sectorizada, se caracteriza por estar definida por zonas, esto quiere decir que el proceso de transformación se realiza por partes, de acuerdo a la zona a la que corresponde cada elemento de la muestra (Lote, Manzano, Parque), ver figura No.41.



Elemento	Zona PTL LP
Lote Agua de la Vida	PTL Zona 2 LP
Lote Bajo San Isidro	PTL Zona 2 LP
Lote Bajo Seguencoma	PTL Zona 2 LP
Lote Callapa	PTL Zona 2 LP
Lote Chuquiaguillo	PTL Zona 4 LP
Lote Irpavi	PTL Zona 2 LP
Lote La Glorieta	PTL Zona 3 LP
Lote Seguencoma	PTL Zona 2 LP
Lote Ciudadela Stronguista	PTL Zona 2 LP
Manzano Alto La Portada	PTL Zona 4 LP
Manzano Llojeta	PTL Zona 3 LP
Parque Tembladerani	PTL Zona 3 LP
Manzano Calacoto	PTL Zona 1 LP
Manzano Mallasa	PTL Zona 1 LP

Figura No. 41 - Proceso de transformación de sistema de coordenadas  
 Fuente. Elaboración propia



- Transformación de sistema WGS\_1984\_UTM\_Zona\_19\_Sur a PTL\_Zona\_1\_LP

Elemento (Shapefile - Polígono - UTM)	Zona PTL LP Correspondiente
Manzano Calacoto	PTL Zona 1 LP
Manzano Mallasa	PTL Zona 1 LP

Tabla No. 27 - Elementos que corresponden a la zona 1  
 Fuente. Elaboración Propia

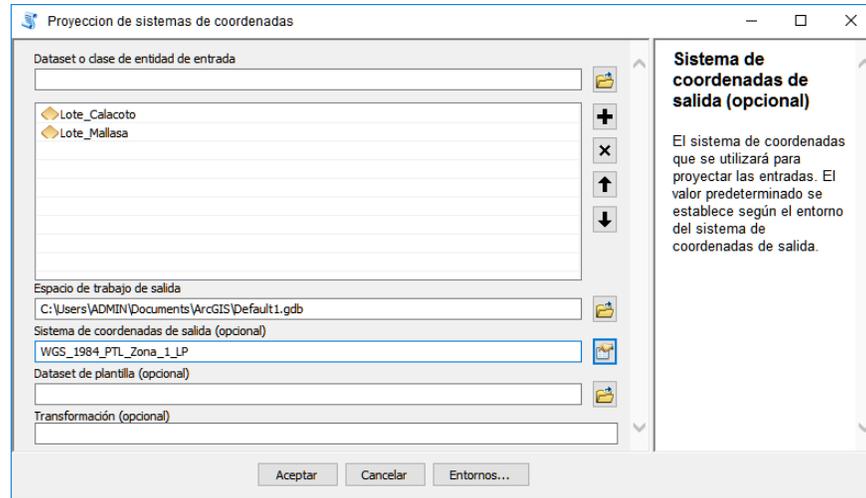


Figura No. 42 - Transformación de UTM a PTL Zona 1 LP  
 Fuente. Elaboración propia

Los resultados de la transformación en la zona 1 son los siguientes:

No	Tipo	Nombre	Perímetro PTL Urbano LP (m)	Área PTL Urbano LP (m <sup>2</sup> )
13	Manzano	Calacoto	294,0049	5062,9994
14	Manzano	Mallasa	380,1631	9024,0667

Tabla No. 28 - Resultados de la transformación PTL Zona 1 LP  
 Fuente. Elaboración Propia

- Transformación de sistema WGS\_1984\_UTM\_Zona\_19\_Sur a PTL\_Zona\_2\_LP

Elemento (Shapefile - Polígono - UTM)	Zona PTL LP Correspondiente
Lote Agua de la Vida	PTL Zona 2 LP
Lote Bajo San Isidro	PTL Zona 2 LP
Lote Bajo Seguencoma	PTL Zona 2 LP
Lote Callapa	PTL Zona 2 LP
Lote Irpavi	PTL Zona 2 LP
Lote Seguencoma	PTL Zona 2 LP
Lote Ciudadela Stronguista	PTL Zona 2 LP

Tabla No. 29 - Elementos que corresponden a la zona 2  
 Fuente. Elaboración Propia

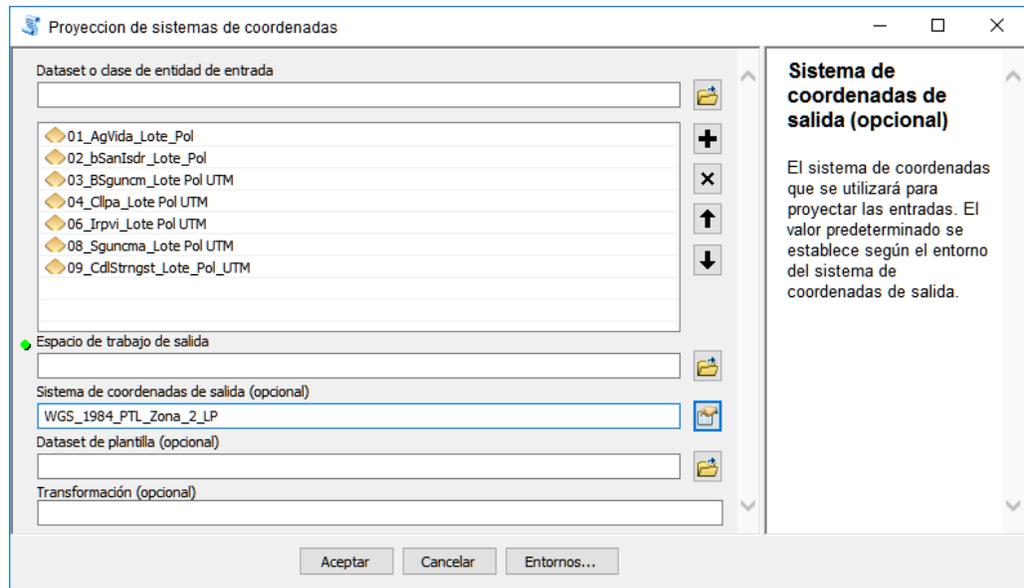


Figura No. 43 - Transformación de UTM a PTL Zona 2 LP  
 Fuente. Elaboración propia

Los resultados de la transformación en la zona 2 son los siguientes:

No	Tipo	Nombre	Perímetro PTL Urbano LP (m)	Área PTL Urbano LP (m <sup>2</sup> )
1	Lote	Agua de la Vida	111,2273	588,2157
2	Lote	Bajo San Isidro	62,5017	210,4692
3	Lote	Bajo Seguencoma	71,3560	207,1839
4	Lote	Callapa	210,5545	1435,3874
6	Lote	Irpavi	85,8222	455,4549
8	Lote	Seguencoma	99,6441	546,0107
9	Lote	Ciudadela Stronguista	179,3049	1741,5382

Tabla No. 30 - Resultados de la transformación PTL Zona 2 LP  
 Fuente. Elaboración Propia

- Transformación de sistema WGS\_1984\_UTM\_Zona\_19\_Sur a PTL\_Zona\_3\_LP

Elemento (Shapefile - Polígono - UTM)	Zona PTL LP Correspondiente
Lote La Glorieta	PTL Zona 3 LP
Manzano Llojeta	PTL Zona 3 LP
Parque Tembladerani	PTL Zona 3 LP

Tabla No. 31 - Elementos que corresponden a la zona 3  
 Fuente. Elaboración Propia

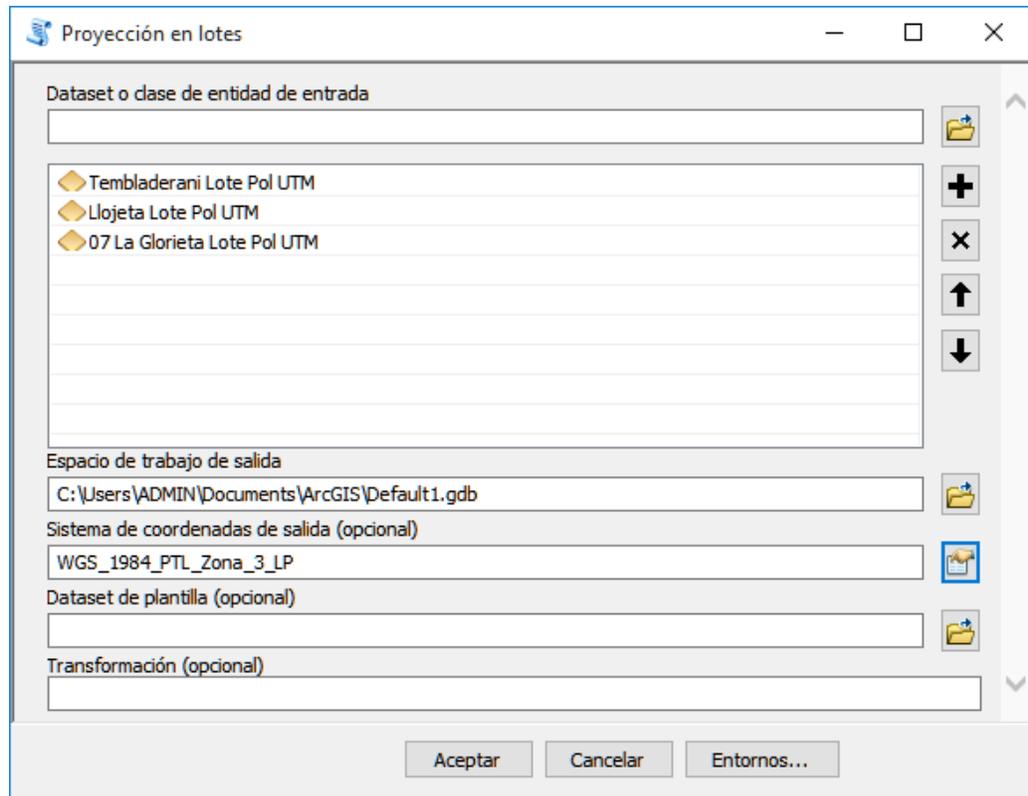


Figura No. 44 - Transformación de UTM a PTL Zona 3 LP  
 Fuente. Elaboración propia

Los resultados de la transformación en la zona 3 son los siguientes:

No	Tipo	Nombre	Perímetro PTL Urbano LP (m)	Área PTL Urbano LP (m <sup>2</sup> )
7	Lote	La Glorieta	74,0727	344,2254
11	Manzano	Llojeta	240,1028	2752,8483
12	Parque	Tembladerani	215,2075	2287,6961

Tabla No. 32 - Resultados de la transformación PTL Zona 3 LP  
 Fuente. Elaboración Propia

- Transformación de sistema WGS\_1984\_UTM\_Zona\_19\_Sur a PTL\_Zona\_4\_LP

Elemento (Shapefile - Polígono - UTM)	Zona PTL LP Correspondiente
Lote Chuquiaguillo	PTL Zona 4 LP
Manzano Alto La Portada	PTL Zona 4 LP

Tabla No. 33 - Elementos que corresponden a la zona 4  
 Fuente. Elaboración Propia

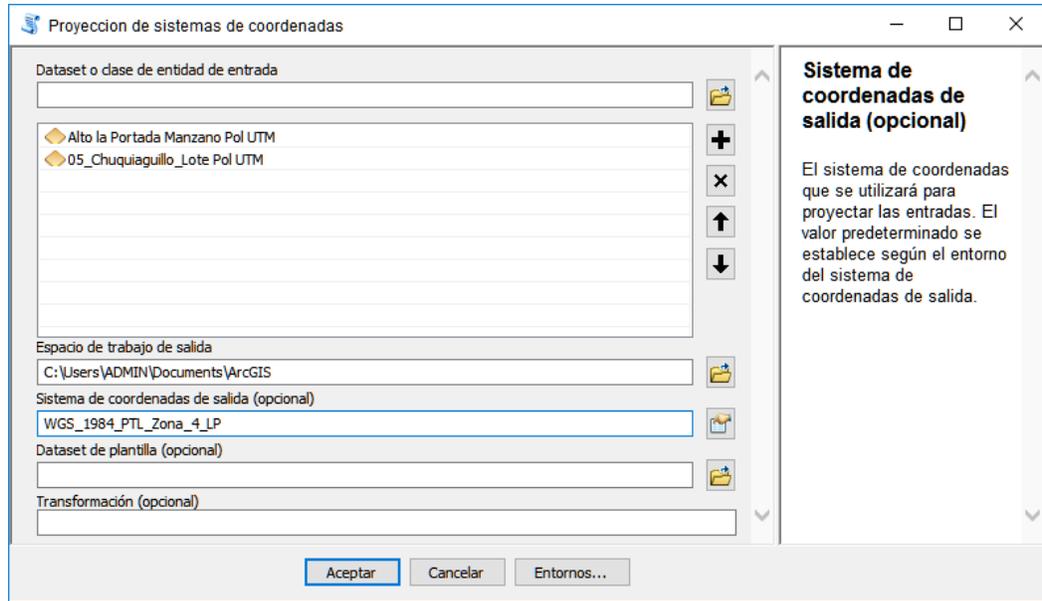


Figura No. 45 - Transformación de UTM a PTL Zona 4 LP  
 Fuente. Elaboración propia

Los resultados de la transformación en la zona 4 son los siguientes:

No	Tipo	Nombre	Perímetro PTL Urbano LP (m)	Área PTL Urbano LP (m <sup>2</sup> )
5	Lote	Chuquiaguillo	75,9355	358,4461
10	Manzano	Alto la Portada	303,2882	4920,0462

Tabla No. 34 - Resultados de la transformación PTL Zona 4 LP  
 Fuente. Elaboración Propia

#### 4.4. Análisis de los Sistemas de Coordenadas P.T.L.

Finalmente, con los resultados de los procesos anteriores, donde se aplican dos sistemas de coordenadas PTL, una a nivel general y la otra por zonas, el siguiente proceso es realizar un análisis de dichos resultados por medio de comparaciones.

El producto de dichas comparaciones reflejará y pondrá en claro el comportamiento de la aplicación de un sistema de coordenadas P.T.L. a nivel urbano con las características que posee el área de estudio. Los principales elementos de análisis, son sin duda aquellos que son el producto de una mensura topográfica, entre ellos el área y el perímetro.



#### 4.4.1. Análisis del Sistemas de Coordenadas P.T.L. Urbano L.P.

Con la información de superficies y perímetros; una del producto de levantamientos topográficos sin correcciones de escala (sin aplicar el factor combinado), y la otra por medio de transformaciones aplicando el sistema de coordenadas P.T.L. Urbano L.P. a partir levantamientos topográficos bajos el sistema U.T.M. (aplicando el factor combinado), se realiza la tabulación de los datos correspondientes y las comparaciones respectivas, ver tabla No. 35.

- Análisis de la aplicación del sistema de coordenadas P.T.L. Urbano L.P., con respecto a los perímetros de cada uno de los elementos muestra.

No.	Nombre	Tipo	Perímetro Topográfico "Sin Proyección" (m)	Perímetro PTL Urbano LP (m)	Diferencia (m)
1	Agua de la Vida	Lote	111,2305	111,2304	0,0002
2	Bajo San Isidro	Lote	62,5023	62,5034	-0,0012
3	Bajo Seguencoma	Lote	71,3563	71,3581	-0,0017
4	Callapa	Lote	210,5575	210,5603	-0,0028
5	Chuquiaguillo	Lote	75,9351	75,9307	0,0044
6	Irpavi	Lote	85,8206	85,8247	-0,0041
7	La Glorieta	Lote	74,0704	74,0714	-0,0010
8	Seguencoma	Lote	99,6443	99,6470	-0,0027
9	Ciudadela Stronguista	Lote	179,3110	179,3100	0,0010
10	Alto la Portada	Manzano	303,2918	303,2683	0,0235
11	Llojeta	Manzano	240,1010	240,0984	0,0025
12	Tembladerani	Parque	215,2063	215,2036	0,0027
13	Calacoto	Manzano	294,0368	294,0269	0,0099
14	Mallasa	Manzano	380,1707	380,1917	-0,0210

Tabla No. 35 - Tabla de comparaciones: Perímetro Topográfico vs. PTL Urbano LP  
 Fuente. Elaboración Propia

La comparación de perímetros brota resultados relativamente gratos, notando que, las discrepancias de valores se hallan en orden menor al centímetro con excepción de un resultado. El elemento con mayor diferencia es del Manzano "Alto la Portada", con una superficie promedio y aproximada de 300 m<sup>2</sup>, donde la diferencia entre longitudes de perímetro (Topográfico vs P.T.L.), supera los dos centímetros, mientras que por otro lado el elemento con menor diferencia es del

Lote “Agua de la Vida”, con una superficie promedio y aproximada de 100 m<sup>2</sup>, donde la diferencia entre longitudes de perímetro (Topográfico vs P.T.L.), está por debajo del milímetro, llegando apenas a los 0,2 milímetros.

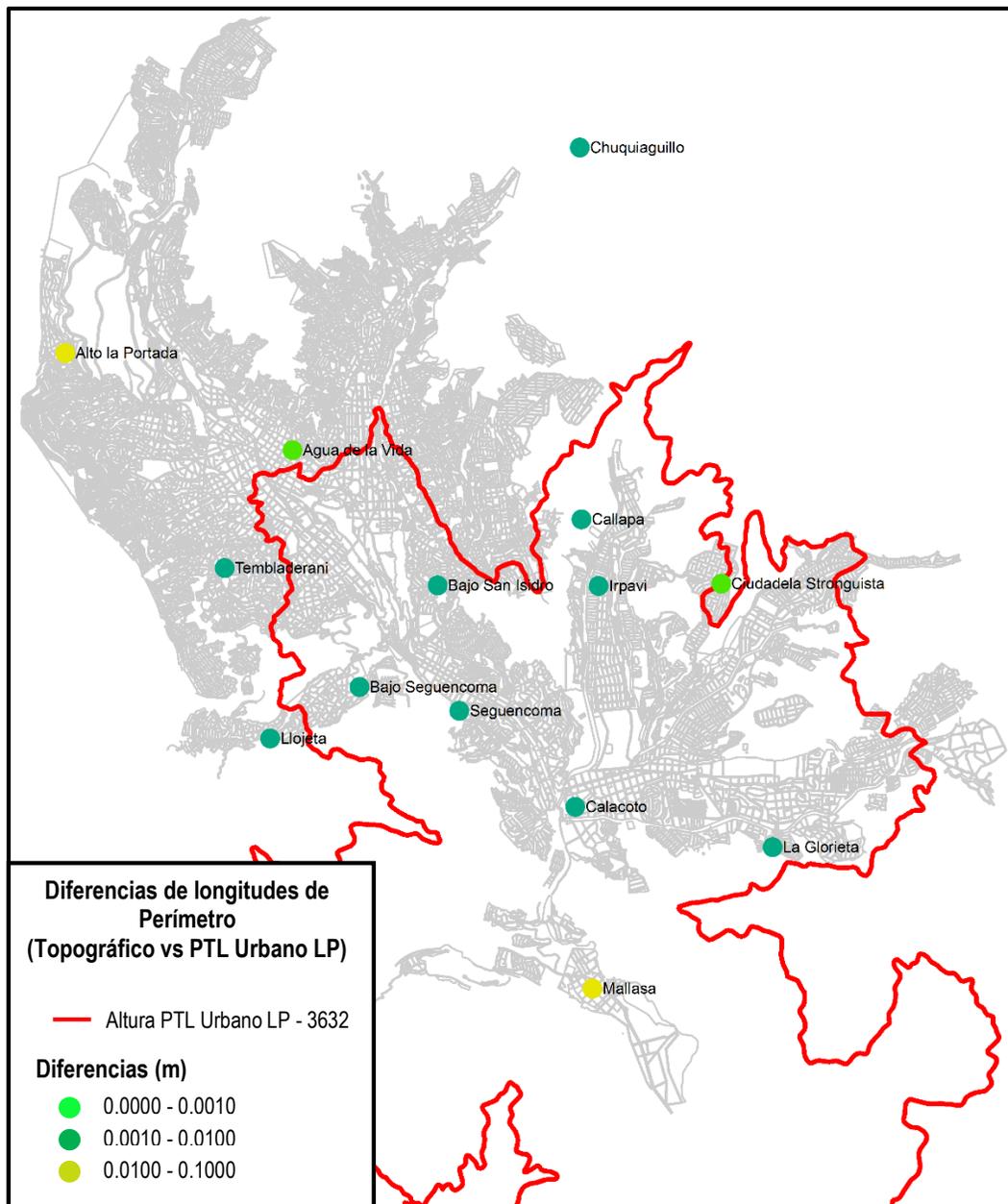


Figura No. 46 - Grafica de diferencias en longitudes de perímetro  
Fuente. Elaboración propia



- Análisis de la aplicación del sistema de coordenadas P.T.L. Urbano L.P., con respecto a las superficies de cada uno de los elementos muestra.

No.	Nombre	Tipo	Superficie Topográfico "Sin Proyección" (m <sup>2</sup> )	Superficie PTL Urbano LP (m <sup>2</sup> )	Diferencia (m <sup>2</sup> )
1	Agua de la Vida	Lote	588,2504	588,2498	0,0006
2	Bajo San Isidro	Lote	210,4723	210,4802	-0,0078
3	Bajo Seguencoma	Lote	207,1865	207,1954	-0,0089
4	Callapa	Lote	1435,4331	1435,4683	-0,0351
5	Chuquiaguillo	Lote	358,4424	358,4005	0,0420
6	Irpavi	Lote	455,4391	455,4824	-0,0433
7	La Glorieta	Lote	344,2035	344,2125	-0,0090
8	Seguencoma	Lote	546,0147	546,0442	-0,0295
9	Ciudadela Stronguista	Lote	1741,6553	1741,6340	0,0213
10	Alto la Portada	Manzano	4920,1648	4919,4016	0,7632
11	Llojeta	Manzano	2752,8076	2752,7484	0,0592
12	Tembladerani	Parque	2287,6701	2287,6122	0,0579
13	Calacoto	Manzano	5063,3239	5062,9856	0,3383
14	Mallasa	Manzano	9024,4244	9025,4237	-0,9993

Tabla No. 36 - Tabla de comparaciones: Superficie Topográfico vs. PTL Urbano LP  
 Fuente. Elaboración Propia

La comparación de Superficies deriva discrepancias de valores que se hallan en ordenes mayores al centímetro cuadrado con excepción de un par de resultados. Esta vez el elemento con mayor diferencia superficial son los Manzanos; "Alto la Portada" y "Mallasa", con diferencias en áreas (Topográfico vs P.T.L.), de 0.7632 m<sup>2</sup> y 0.9993 m<sup>2</sup> respectivamente. Por otro lado, el elemento con menor diferencia es nuevamente del Lote "Agua de la Vida", donde la diferencia entre longitudes de área (Topográfico vs P.T.L.), está por debajo del milímetro, llegando apenas a los 0,6 milímetros cuadrados.

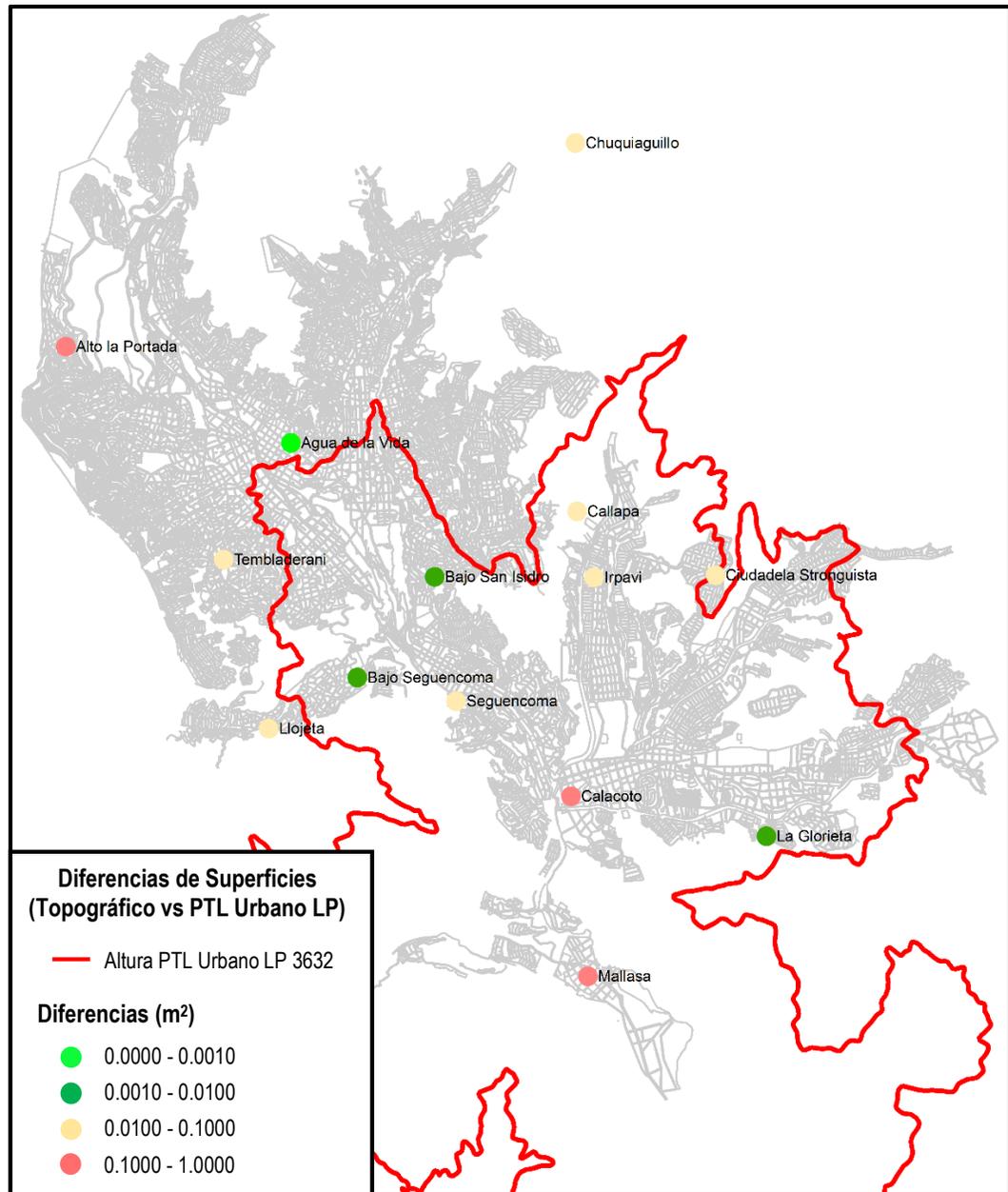


Figura No. 47 - Grafica de diferencias en superficies  
Fuente. Elaboración propia

#### 4.4.2. Análisis del Sistemas de Coordenadas P.T.L. por Zonas L.P.

Luego de ver los resultados del análisis anterior, es momento de considerar el sistema de coordenadas P.T.L. por zonas L.P., nuevamente con la información de superficies y perímetros; una del producto de levantamientos topográficos sin correcciones de escala (sin aplicar el factor combinado), y la otra por medio de transformaciones aplicando el



sistema de coordenadas P.T.L. Zonas L.P. a partir levantamientos topográficos bajos el sistema U.T.M. (aplicando el factor combinado), se realiza la tabulación de los datos correspondientes y las comparaciones respectivas, ver tabla No. 37.

- Análisis de la aplicación del sistema de coordenadas P.T.L. de las Zonas 1, 2, 3 y 4 L.P., con respecto a los perímetros de cada uno de los elementos muestra.

Nombre	Tipo	Perímetro Topográfico "Sin Proyección" (m)	Perímetro PTL Zona 1 LP (m)	Diferencia (m)
Calacoto	Manzano	294,0368	294,0049	0,0319
Mallasa	Manzano	380,1707	380,1631	0,0075
Nombre	Tipo	Perímetro Topográfico "Sin Proyección" (m)	Perímetro PTL Zona 1 LP (m)	Diferencia (m)
Agua de la Vida	Lote	111,2305	111,2273	0,0032
Bajo San Isidro	Lote	62,5023	62,5017	0,0006
Bajo Seguencoma	Lote	71,3563	71,3560	0,0003
Callapa	Lote	210,5575	210,5545	0,0031
Irpavi	Lote	85,8206	85,8222	-0,0015
Seguencoma	Lote	99,6443	99,6441	0,0002
Ciudadela Stronguista	Lote	179,3110	179,3049	0,0061
Nombre	Tipo	Perímetro Topográfico "Sin Proyección" (m)	Perímetro PTL Zona 1 LP (m)	Diferencia (m)
La Glorieta	Lote	74,0704	74,0727	-0,0024
Llojeta	Manzano	240,1010	240,1028	-0,0018
Tembladerani	Parque	215,2063	215,2075	-0,0013
Nombre	Tipo	Perímetro Topográfico "Sin Proyección" (m)	Perímetro PTL Zona 1 LP (m)	Diferencia (m)
Chuquiaguillo	Lote	75,9351	75,9355	-0,0004
Alto la Portada	Manzano	303,2918	303,2882	0,0035

Tabla No. 37 - Tabla de comparaciones: Perímetro Topográfico vs. PTL Zonas LP  
 Fuente. Elaboración Propia

Los resultados de la comparación de perímetros señalan una notable mejora con respecto al sistema anterior con respecto a la longitud de perímetros, notando que, las discrepancias de valores en una mayoría de los elementos se hallan en orden de un rango en milímetros, exceptuando un elemento. El elemento con mayor diferencia es del Manzano "Calacoto", con una superficie promedio y



aproximada de 300 m<sup>2</sup>, donde la diferencia entre longitudes de perímetro (Topográfico vs P.T.L.), supera los tres centímetros, por otro lado, el elemento con menor diferencia es del Lote “Seguencoma”, con una superficie promedio y aproximada de 100 m<sup>2</sup>, donde la diferencia entre longitudes de perímetro (Topográfico vs P.T.L.), está por debajo del milímetro, llegando apenas a los 0,2 milímetros.

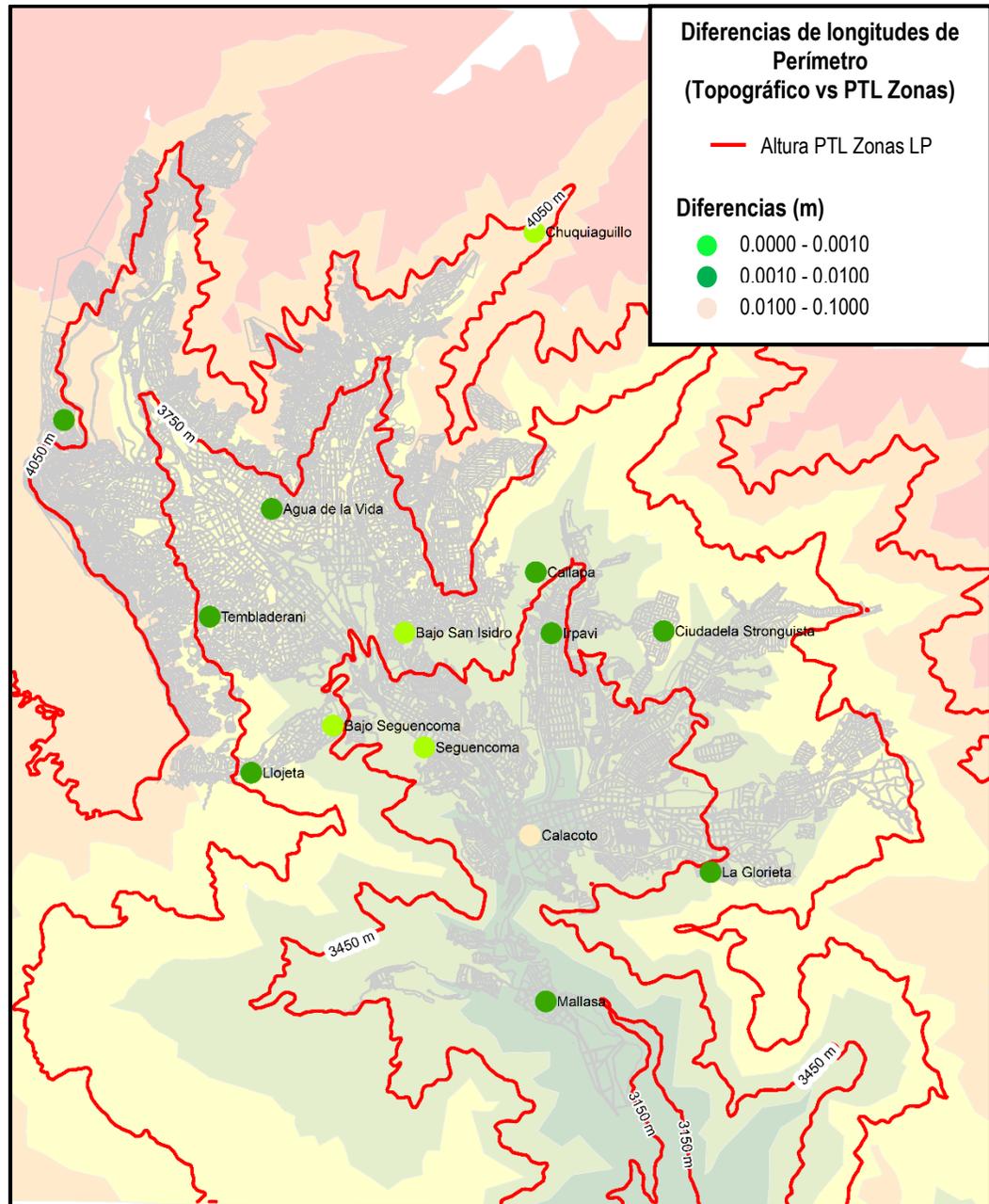


Figura No. 48 - Grafica de diferencias en longitudes de perímetro  
 Fuente. Elaboración propia



- Análisis de la aplicación del sistema de coordenadas P.T.L. Urbano L.P., con respecto a las superficies de cada uno de los elementos muestra.

Nombre	Tipo	Superficie Topográfico "Sin Proyección" (m <sup>2</sup> )	Superficie PTL Zona 1 LP (m <sup>2</sup> )	Diferencia (m <sup>2</sup> )
Calacoto	Manzano	5063,3239	5062,9994	0,3245
Mallasa	Manzano	9024,4244	9024,0667	0,3576
Nombre	Tipo	Superficie Topográfico "Sin Proyección" (m <sup>2</sup> )	Superficie PTL Zona 2 LP (m <sup>2</sup> )	Diferencia (m <sup>2</sup> )
Agua de la Vida	Lote	588,2504	588,2157	0,0346
Bajo San Isidro	Lote	210,4723	210,4692	0,0031
Bajo Seguencoma	Lote	207,1865	207,1839	0,0027
Callapa	Lote	1435,4331	1435,3874	0,0457
Irpavi	Lote	455,4391	455,4549	-0,0158
Seguencoma	Lote	546,0147	546,0107	0,0040
Ciudadela Stronguista	Lote	1741,6553	1741,5382	0,1172
Nombre	Tipo	Superficie Topográfico "Sin Proyección" (m <sup>2</sup> )	Superficie PTL Zona 3 LP (m <sup>2</sup> )	Diferencia (m <sup>2</sup> )
La Glorieta	Lote	344,2035	344,2254	-0,0219
Llojeta	Manzano	2752,8076	2752,8483	-0,0407
Tembladerani	Parque	2287,6701	2287,6961	-0,0261
Nombre	Tipo	Superficie Topográfico "Sin Proyección" (m <sup>2</sup> )	Superficie PTL Zona 4 LP (m <sup>2</sup> )	Diferencia (m <sup>2</sup> )
Chuquiaguillo	Lote	358,4424	358,4461	-0,0037
Alto la Portada	Manzano	4920,1648	4920,0462	0,1186

Tabla No. 38 - Tabla de comparaciones: Superficie Topográfico vs. PTL Zonas LP  
 Fuente. Elaboración Propia

La diferencia de superficies muestra discrepancias de valores que se hallan en ordenes mayores al centímetro e inclusive al metro cuadrado. Los elementos con mayor diferencia superficial son los Manzanos; "Calacoto" y "Mallasa", con diferencias en área (Topográfico vs P.T.L.), de 1,1004 m<sup>2</sup> y 0,3576 m<sup>2</sup> respectivamente. Por otro lado, los elementos con menor diferencia son los Lotes; "Bajo Seguencoma", "Bajo San Isidro", "Chuquiaguillo" y "Seguencoma", donde la diferencias entre área (Topográfico vs P.T.L.), están en el orden del milímetro.

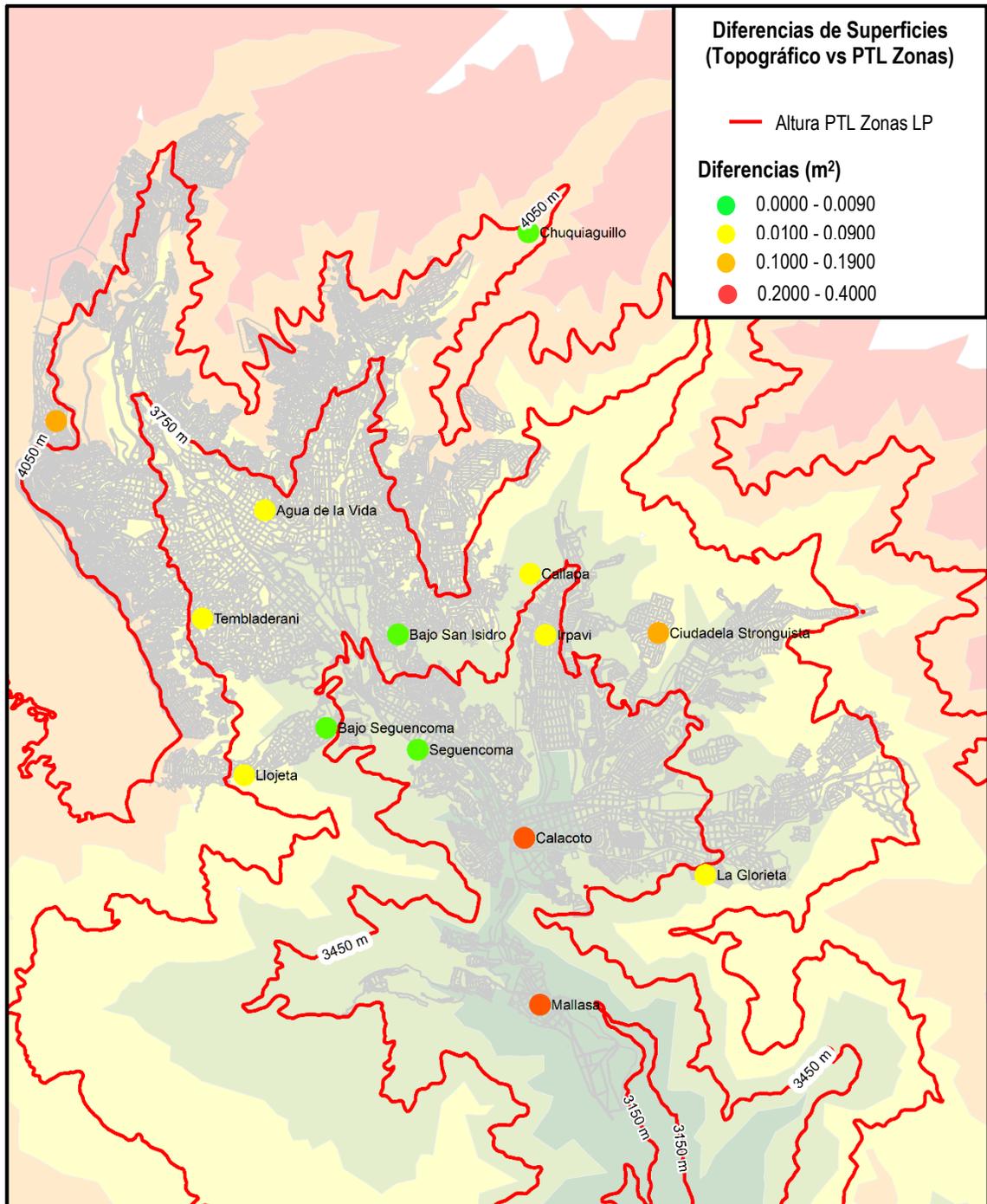


Figura No. 49 - Grafica de diferencias en superficies  
Fuente. Elaboración propia



## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Tras efectuar los procesos técnicos articulados con la metodología empleada y los análisis correspondientes, se concluye con lo siguiente:

- La aplicación de un sistema de coordenadas P.T.L. a nivel urbano dentro del Municipio de La Paz, de acuerdo al presente análisis, depone y señala características relativamente efectivas. La observación de los dos sistemas de coordenadas P.T.L., uno a nivel general y el otro por zonas, exponen en gran mayoría, resultados con un alto grado de satisfacción, así mismo, si se considera los resultados de los análisis con mayor detalle, se puede afirmar que el empleo de un sistema de coordenadas P.T.L. por zonas, muestra resultados con menores diferencias en cuanto a las distorsiones provocadas por las proyecciones cartográficas.
- Se realizó la delimitación espacial a nivel urbano para la definición de un sistema de coordenadas P.T.L. de forma general, llegando a definir un alcance a nivel urbano y definiendo su altura P.T.L. igual a 3632 metros.
- Se realizó la delimitación sectorizada para la definición de un sistema de coordenadas P.T.L. por zonas, llegando a definir cinco zonas P.T.L., distanciados verticalmente en 300 metros.
- Se definieron los parámetros necesarios para la construcción del sistema de coordenadas P.T.L. Urbano L.P. a partir de una zona L.T.M., que cubre toda la mancha urbana del área de estudio.
- Se definieron los parámetros necesarios para la construcción del sistema de coordenadas P.T.L. sectorizada por diferentes por zonas a partir de una zona L.T.M.
- Se aplicaron los procesos de proyección de los elementos de muestra del sistema de coordenadas U.T.M. a los sistemas de coordenadas P.T.L. (general y por zonas).



- Se evaluaron los resultados de los procesos de la aplicación del sistema de coordenadas P.T.L. Urbano L.P. y del sistema de coordenadas P.T.L. sectorizada por zonas.

## 5.2. Recomendaciones

Dentro del marco de las actividades desarrolladas, es puntual señalar las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda incrementar la cantidad de muestras sometidas a los diferentes procesos desarrollados en el presente proyecto, para realizar un análisis con mayor grado de detalle y así obtener información exquisita sobre la implementación de un sistema de coordenadas P.T.L. a nivel urbano.
- Al momento de realizar la delimitación espacial para la construcción de un P.T.L. se recomienda emplear un modelo digital de elevaciones con mayor grado de precisión, puesto que las diferencias de altura son determinantes al momento de la construcción de un P.T.L.



## CAPITULO VI MARCO REFERENCIAL

### 6.1. Bibliografía

- Asin, F. M. (1983). *Geodesia y Cartografía Matemática*. Madrid.
- Cartesia. (2010). *Base Cartografica Catastral*. Obtenido de <http://www.cartesia.org>
- Cartesia. (2010). *Metodos Topograficos*. Obtenido de <http://www.cartesia.org>
- Cartesia. (2014). *Foro Cartesia*. Obtenido de <http://www.cartesia.org>
- Casanova, L. (2010). Sistema GPS/GNSS.
- Chile, C. (2015). *Cartografía Chile*. Obtenido de <http://www.cartografia.cl>
- ESRI\_ArcGis. (2010). Sistemas de Información Geográfica.
- F., A. C. (1998). *Las Coordenadas Geográficas y la Proyección UTM*. Madrid España: Cuerpo Geodesico.
- Fuentes, S. (2006). *Diagnostico del Uso de Proyecciones Transversales de Mercator en Escalas Urbanas*. Santiago de Chile: Universidad Tecnología Metropolitana.
- Garces, A. (2003). *Bases Cartografica Georreferenciada para el Catastro*. Santiago Chile.
- Geomensor. (2005). *Topografía y Cartografía*. Obtenido de <http://www.geomensor.com>
- Geomensor, E. (2016). *Elgeomensor*. Obtenido de <http://www.elgeomensor.cl/downloads/cartografia>
- Gusman, J. (2007). *Principios y Aplicaciones de Geodesia Satelitaria*. La Paz.
- Mendoza, J. (2009). *Topografía Técnicas Modernas*.
- Millares, F. (2003). *Evaluación de la Aplicación de un Huso TM para Chile*. Santiago Chile: Universidad de Santiago.
- Mineriae. (2010). *Introducción a la Topografía*. Obtenido de <http://www.mineriae.com>
- Ortiz, G. (2010). *Apuntes de Topografía y Geodesia*. Obtenido de <http://www.gabrielortiz.org>
- Vera, M. (2008). *Geodesia Geométrica V2*. Argentina: Escuela Militar de Ingeniería.
- Vera, M. (2008). *Introducción a la Cartografía Matemática*. Argentina: Escuela Militar de Ingeniería.
- Wikipedia. (2010). *Enciclopedia Libre Wikipedia*. Obtenido de <http://www.wikipedia.org>
- Zakatov. (1981). *Geodesia Superior*. URSS: MIR.
- Zepeda, R. (2005). *La Geodesia*. Santiago.



# ***ANEXOS***