

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE  
INGENIERÍA EN ADMINISTRACIÓN DE TIERRAS

DETERMINACIÓN MORFOLÓGICA Y BATIMÉTRICA DE LA  
LAGUNA DEL VOLCÁN DEL MUNICIPIO DE IPALA,  
DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA.



MARIS ARELIS ESPAÑA ESTRADA

CHIQUIMULA, GUATEMALA, OCTUBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE  
INGENIERÍA EN ADMINISTRACIÓN DE TIERRAS

DETERMINACIÓN MORFOLÓGICA Y BATIMÉTRICA DE LA  
LAGUNA DEL VOLCÁN DEL MUNICIPIO DE IPALA,  
DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA.

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

MARIS ARELIS ESPAÑA ESTRADA

Al conferírsele el título de

INGENIERA EN ADMINISTRACIÓN DE TIERRAS

En el grado académico de

LICENCIADA

CHIQUIMULA, GUATEMALA, OCTUBRE DE 2013

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE  
INGENIERÍA EN ADMINISTRACIÓN DE TIERRAS**



**RECTOR  
Dr. CARLOS ESTUARDO GALVEZ BARRIOS**

**CONSEJO DIRECTIVO**

Presidente:	M.Sc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera
Representante de Profesores:	M.Sc. Edgar Arnoldo Casasola Chinchilla
Representante de Profesores:	Ph.D. Felipe Nery Agustín Hernández
Representante de Graduados:	Lic. Zoot. Alberto Genesio Orellana Roldán
Representante de Estudiantes:	Br. Heidy Jeaneth Martínez Cuestas
Representante de Estudiantes:	Br. Otoniel Sagastume Escobar
Secretaria:	Licda. Marjorie Azucena González
Cardona	

**AUTORIDADES ACADÉMICAS**

Coordinador Académico:	Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Córdón
Coordinador de Carrera:	M.Sc. Marlon Leonel Bueso Campos

**ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN**

Presidente:	M.Sc. Marlon Leonel Bueso Campos
Secretario:	M.Sc. David Horacio Estrada Jerez
Vocal:	M.Sc. Jeovani Joel Rosa Pérez

**TERNA EVALUADORA**

M.Sc. Marlon Leonel Bueso Campos  
Lic. Edwynn Alejandro Raxón  
Ing. Civ. Edwin Alberto Lemus Pazos

Chiquimula, 30 de octubre 2013

Señores  
**Consejo Directivo**  
Centro Universitario de Oriente  
Ciudad de Chiquimula

Honorables Miembros:

De conformidad con las normas establecidas con la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de graduación titulado:

**“DETERMINACIÓN MORFOLÓGICA Y BATIMÉTRICA DE LA LAGUNA DEL VOLCÁN DEL MUNICIPIO DE IPALA, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA.”**

El cual presento como requisito previo a optar al título de Ingeniero en Administración de Tierras, en el grado académico de Licenciado.

Atentamente,

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**



Maris Arelis España Estrada  
Carné: 200640552



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE  
CARRERA TÉCNICO EN AGRIMENSURA E  
INGENIERÍA EN ADMINISTRACIÓN DE TIERRAS



Chiquimula, 30 de octubre 2013  
Ref. AT-TG-006-2013

**M.Sc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera**  
Centro Universitario de Oriente  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Chiquimula, Ciudad

Respetable Licenciado Galdámez:

En atención a la designación efectuada según acta de Aprobación de Punto de Tesis APT-03-2013, de Fecha 05-03-2013, para asesorar a la estudiante, MARIS ARELIS ESPAÑA ESTRADA carné: 200640552, en el trabajo de investigación denominado **"DETERMINACIÓN MORFOLÓGICA Y BATIMÉTRICA DE LA LAGUNA DEL VOLCÁN DEL MUNICIPIO DE IPALA, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA."**, tengo el agrado de dirigirme a usted, para informarle que he procedido a asesorar y orientar al sustentante, sobre el contenido de dicho trabajo.

En mi opinión, el trabajo presentado reúne los requisitos exigidos por las normas pertinentes, razón por la cual, recomiendo la aprobación del informe final para su discusión en el Examen General Público, previo a optar el título de Ingeniero en Administración de Tierras, en el Grado Académico de Licenciado.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

M.Sc. Marlon Leonel Bueso Campos  
Colegiado activo No. 835

c.c. archivo / lm

**D-TG-AT-085/2013**

EL INFRASCRITO DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, POR ESTE MEDIO HACE CONSTAR QUE: Conoció el Trabajo de Graduación que efectuó la estudiante **MARIS ARELIS ESPAÑA ESTRADA** titulado **“DETERMINACIÓN MORFOLÓGICA Y BATIMÉTRICA DE LA LAGUNA DEL VOLCÁN DEL MUNICIPIO DE IPALA, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA”**, trabajo que cuenta con el aval de su Revisor y Coordinador de Trabajos de Graduación, de la carrera de Administración de Tierras. Por tanto, la Dirección del CUNORI con base a las facultades que le otorga las Normas y Reglamentos de Legislación Universitaria **AUTORIZA** que el documento sea publicado como **Trabajo de Graduación** a Nivel de Licenciatura, previo a obtener el título de **Ingeniera en Administración de Tierras**.

Se extiende la presente en la ciudad de Chiquimula, a treinta y uno de octubre de dos mil trece.

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**



M.Sc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera  
**DIRECTOR**  
**CUNORI - USAC**



## **DEDICATORIA**

### **A DIOS TODOPODEROSO**

Divino Padre, quien ha guiado cada paso y ha sorteado cada obstáculo, durante el camino que he recorrido en mi vida.

### **A MI FAMILIA**

Mis padres y hermanas, fuentes de inspiración y deseo de superación, a Kilver Aguirre por todo su cariño y aliciente apoyo incondicional.

### **AL M.Sc. MARLON LEONEL BUESO CAMPOS**

Por inspirarme a llevar a cabo el presente estudio.

### **A MIS COMPAÑEROS DE ESTUDIO**

Por su amistad y apoyo moral.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A MIS ASESORES**

M.Sc. Marlon Leonel Bueso Campos, M.Sc. Jeovani Joel Rosa Pérez y Sergio Waldemar Albizurez Ortega, por dedicar tiempo, experiencia y compromiso a la realización de este trabajo.

### **A LAS INSTITUCIONES**

Que contribuyeron con la asesoría, investigación y ejecución de este proyecto: Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Oriente, Consejo Nacional de Áreas Protegidas y Asociación para el Desarrollo Integral Sostenible de Oriente.

### **A MIS CATEDRÁTICOS**

Por todo el apoyo brindado a lo largo de la carrera, por su tiempo, orientación, amistad y sobre todo por los conocimientos que me transfirieron.

A todas las personas que colaboraron con la realización de este trabajo, en especial a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Administración de Tierras por su valiosa ayuda en la fase de campo:

CESAR ENRIQUE FLORES CERON  
JUAN LUIS AVILA MORA  
CARLOS LEONEL CERNA VELIZ  
ALCIDES WALDEMAR CABRERA  
MACHORRO

DIANA ESMERALDA PEREZ ROMERO  
CLAUDIA CELESTE BOJORQUEZ LARA  
OSCAR ANTONIO JIMENEZ NOVA  
LEONEL ESTUARDO LOPEZ MARTINEZ  
RUTH NOEMI CALDERON GREGORIO



## ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
INDICE DE CUADROS	iv
INDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN EJECUTIVO	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO CONCEPTUAL	3
2.1 Antecedentes	3
2.2 Definición del problema	7
2.3 Justificación	8
III. MARCO TEÓRICO	10
3.1 Batimetría	10
3.2 Morfología	10
3.3 Área Protegida	10
3.4 Coadministración de área protegida	11
3.5 Asociación para el Desarrollo Integral Sostenible del Oriente	12
3.5.1 Planificación de operaciones ADISO-CONAP	13
3.6 Plan maestro	13
3.7 Topografía	15
3.8 Sistema de navegación global por satélite	15
3.9 Métodos de medición con el sistema de navegación global por satélite	16
3.9.1 Método estático	16
3.9.2 Método cinemático	17
3.10 Red de ajuste catastral	17
3.11 Ecosonda	18
IV. MARCO REFERENCIAL	19
4.1 Descripción del área de estudio	19
4.2 Ubicación del área de estudio	20
4.3 Características biofísicas del área de estudio	23

4.3.1	Zonas de vida	23
4.3.2	Clima	24
4.3.3	Geología	24
4.3.4	Hidrología	25
4.3.5	Sitios de importancia e infraestructura	25
V.	MARCO METODOLOGICO	27
5.1	Objetivos	27
5.1.1	General	27
5.1.2	Específicos	27
5.2	Descripción de la metodología	27
5.3	Fase inicial	29
5.3.1	Delimitación preliminar del área de estudio	29
5.3.2	Determinación del tamaño de la muestra	30
5.4	Fase de campo	31
5.4.1	Socialización del estudio	31
5.4.2	Establecimiento de puntos de apoyo catastral	32
5.4.3	Diseño y geometría de la red de apoyo catastral	33
5.4.4	Identificación de los puntos de apoyo catastral de orden superior	34
5.4.5	Precisión de la red de apoyo catastral	35
5.4.6	Aprobación y rotulación de las fichas geodésicas	35
5.4.7	Construcción de monumentos	36
5.4.8	Geoposicionamiento de vértices que conforman la red de apoyo Catastral	38
5.4.8.	Post proceso de los vértices que conforman la red de apoyo catastral	38
5.4.10	Muestreo y medición de variables a para la determinación morfológica y batimétrica del sistema lacustre	39
5.5	Fase de gabinete final	41
5.5.1	Determinación morfológica y batimétrica del sistema lacustre	41
VI.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	44
6.1	Delimitación preliminar del área de estudio	44
6.2	Establecimiento de puntos de apoyo catastral	45

6.3	Medición del perímetro de la laguna	49
6.4	Medición de las profundidades	50
6.5	Determinación Batimétrica	50
6.6	Determinación de características morfológicas	54
6.6.1	Aspectos lineales	54
6.6.2	Aspectos de superficie	54
6.6.3	Aspectos de relieve	54
VII.	CONCLUSIONES	60
VIII.	RECOMENDACIONES	62
IX.	BIBLIOGRAFÍA	63
X.	APÉNDICES	65
XI.	ANEXOS	71

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
1. Comparativa de segmento espacial entre los sistemas -GNSS-.	16
2. Especies vegetales indicadoras del bosque seco subtropical.	23
3. Especies vegetales indicadoras del bosque húmedo subtropical (templado).	24
4. Distancia de vectores entre vértices de RAC.	45
5. Vértices de la red de apoyo catastral de segundo orden.	46
6. Boleta topográfica de puntos de estaciones y puntos de referencia .	49
7. Porcentajes por rango de profundidad.	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Mapa batimétrico lago de Guija.	6
2. Mapa de ubicación del área de estudio.	22
3. Esquema que muestra la metodología a utilizar para la determinación batimétrica y morfológica del área de estudio.	28
4. Presentación del estudio en el Área Protegida Volcán y Laguna de Ipala.	31
5. Dimensiones de los monumentos para el establecimiento de RAC 2.	37
6. Delimitación preliminar del área de estudio.	44
7. Red de apoyo catastral de segundo orden.	47
8. Red de apoyo catastral de segundo orden y vértices de RAC 1.	48
9. Mapa batimétrico de la Laguna del Volcán de Ipala.	53
10. Perfil del ancho máximo de la laguna.	55
11. Perfil del largo máximo de la laguna.	56
12. Mapa de identificación del largo y ancho máximos en la laguna del volcán de Ipala.	57
13. Mapa de comparación del modelo altimétrico en relación al ajuste batimétrico.	58



## RESUMEN EJECUTIVO

Actualmente la laguna del volcán del municipio de Ipala, sirve como fuente de abastecimiento para algunas comunidades aledañas. Organizaciones como el Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP- y la Asociación para el Desarrollo Integral Sostenible de Oriente -ADISO- como co-administrador del área protegida, realizan esfuerzos para desarrollar estudios de investigación que contribuyan a la elaboración de propuestas relacionadas al manejo, conservación y preservación de los recursos naturales.

El presente estudio tiene como propósito fundamental, la determinación morfológica y batimétrica de la laguna del volcán de Ipala, con el propósito de establecer el modelo del relieve de la profundidad en metros sobre el nivel del mar de la laguna y sus características morfológicas, las cuales servirán para generar información sobre la cantidad de agua que se almacena en el cráter del volcán y la determinación de su volumen.

El modelo metodológico comprende, la conformación de una red de apoyo catastral de segundo orden, según normas técnicas del registro de información catastral -RIC-, realización de la medición del espejo de agua, posproceso de datos medidos y levantados en campo a través de la cual se obtiene información georeferenciada con el sistema de coordenadas planimétricas nacional y la determinación de las profundidades en elevaciones metros sobre el nivel del mar por medio de ecosonda.

Como resultado, fue generado un modelo de elevación digital del cráter y la laguna del volcán de Ipala, que comprende una altura sobre el nivel del mar mínima de 1, 461 msnm y una máxima de 1, 650 msnm, con curvas a nivel de 2 metros de intervalo, de resolución espacial de 15 metros, en archivo raster formato Grid.

Se recomienda realizar un monitoreo de profundidades inmediatamente después de la temporada lluviosa (meses de noviembre a abril) para determinar el grado de recarga por acumulación de agua precipitada en el sistema lacustre.

## I. INTRODUCCIÓN

La laguna del volcán de Ipala, es un sistema lacustre que no tiene recarga por algún tributario, dependiendo únicamente de precipitaciones en la época de lluvia. El recurso hídrico de la laguna es utilizado para el abastecimiento de agua para consumo humano en las comunidades de Monterrico, Cayetano, El Platillo, La Parada y La Laguna, todas pertenecientes al municipio de Agua Blanca, departamento de Jutiapa. Su extracción estimada es de 240,000 litros diarios, beneficiando aproximadamente a 1,500 habitantes, (García 2005).

El área de estudio está ubicada, en los municipios de Ipala, del departamento de Chiquimula y Agua Blanca, del departamento de Jutiapa, su distribución porcentual es de 53% para el primero y 47% para el segundo. Además, es área protegida, registrada en el Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP- como: Volcán y Laguna de Ipala, la cual se encuentra dentro de la categoría de manejo tipo III, lo que corresponde a áreas de usos múltiples. Estas zonas son relativamente grandes y con cobertura de bosque, aunque son afectadas por la intervención del hombre, siempre conservan buena parte de su paisaje natural (Congreso de la República de Guatemala 1998).

El estudio consistió en la determinación de la morfología y batimetría de la laguna del volcán. Su delimitación preliminar se llevó a cabo a través de una clasificación no supervisada de la de ortofoto a colores, contenida en el bloque 3, número 22591\_18\_ORT\_RGB.ecw, con una resolución espacial de 0.4 x 0.4 metros, generada por el proyecto "Obtención de imágenes digitales a escala de detalle de la República de Guatemala, 2006" del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-. Se delimitó y calculó el área perimetral del cuerpo de agua. La captura de información de la profundidad en el sistema lacustre, se hizo a través de una ecosonda de navegación, la cual consta de un emisor de ondas de sonido y de un receptor de posicionamiento global, con sistema global de navegación por satélite -GNSS-.



Para una mayor precisión en la planimetría, se establecieron 3 puntos de red geodésicos, conformando una red de apoyo catastral de segundo orden -RAC 2-, los cuales sirvieron para el levantamiento de todo el sistema lacustre.

En la fase de gabinete, con el apoyo del sistema de información geográfica del Centro Universitario de Oriente -CUNORI-, se realizó la corrección diferencial de las coordenadas correspondientes a los vértices que conforman la red de apoyo catastral de segundo orden, que fue establecida, la digitalización de la medición perimetral para la generación de las características morfológicas, así como también la interpolación de las muestras, generalización y modelado de la superficie resultante, que representa las elevaciones de la laguna y cráter del Área Protegida Volcán y Laguna de Ipala, para la generación de la respectiva cartografía.

Con la realización de la investigación se generó información técnica, que servirá para el fortalecimiento técnico, científico y social local, para el buen uso, manejo y conservación del área protegida, principalmente del recurso hídrico disponible.

El estudio fue apoyado por el Centro Universitario de Oriente -CUNORI-, Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-, Asociación para el Desarrollo Integral Sostenible de Oriente -ADISO-, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología -CONCYT- y la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología -SENACYT-. Fue realizado durante los meses de mayo a octubre del año 2013.

## **II. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1 Antecedentes**

Con el propósito de proteger y conservar la riqueza natural del volcán y la laguna de Ipala, el 4 de marzo del año 1988, mediante el artículo 6 del decreto No. 7-98 del Congreso de la República de Guatemala, se declaró el Volcán y Laguna de Ipala como área protegida, bajo la categoría de manejo de Área de Usos Múltiples, según el Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-.

La categoría de manejo de Área de Usos Múltiples, se caracteriza por ser áreas relativamente grandes, generalmente con una cubierta de bosques. Pueden contener zonas apropiadas para la producción sostenible de productos forestales, agua, forraje, flora y fauna silvestre, sin afectar negativa y permanentemente los diversos ecosistemas dentro del área. Son áreas que pueden haber sufrido alteración por intervención del hombre, pero aún conservan una buena porción del paisaje natural. Están generalmente sometidas a un control, en función de las presiones que se ejerzan sobre ellas (Congreso de la República de Guatemala 1989).

El área protegida abarca una extensión de 2,012.5 hectáreas, para un mejor manejo ésta área fue distribuida en varias zonas: una zona intangible (zona núcleo) con un área de 147.25 hectáreas, una zona de recuperación (zona de amortiguamiento) comprendiendo un área de 928.5 hectáreas y una zona de uso extensivo (zona de usos múltiples) la cual comprende desde aproximadamente la mitad del cono volcánico hasta la base del mismo.

Sus actores locales involucrados son los alcaldes comunitarios de: Monterrico, Cayetano, El Platillo, La Parada y La Laguna, todas comunidades del municipio de Agua Blanca, el alcalde municipal de Ipala, y la Asociación para el Desarrollo Integral Sostenible de Oriente -ADISO-, quien actualmente es la co-administradora del área protegida. Esta organización ha realizado trabajos de preservación de flora y fauna y de mantenimiento de infraestructura de acuerdo a su categoría de manejo.

### **2.1.1 Problemas identificados en el cuerpo de agua**

Según la fotointerpretación, la clasificación no supervisada y los chequeos de campo, se observó una cobertura de aproximadamente 3% de la planta conocida comúnmente como tule (*Typha domingensis* Pers) en el espejo de agua, se puede inferir que su desarrollo obedece a agentes contaminantes que son dispersados en el ecosistema, de no tratarse oportunamente pueden provocar daños irreversibles en el mismo.

De acuerdo a la información proporcionada por la Asociación para el Desarrollo Sostenible de Oriente se tiene conocimiento de:

- Población que vive en los alrededores del lago: 1500 habitantes del municipio de Agua Blanca aproximadamente y en el municipio de Ipala, son 1224 habitantes, lo que totaliza 2724 habitantes (INE 2003).
- El volumen de agua extraído diariamente, durante los últimos años, corresponde a 243 metros cúbicos, según el diagnóstico realizado por la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología -SENACYT- (García 2005).
- La calidad del agua es apta para consumo humano, únicamente con tratamiento adecuado.

### **2.1.2 Estudios relacionados a la propuesta de investigación**

Dentro del territorio guatemalteco se han llevado a cabo varios estudios relacionados con la determinación batimétrica de cuerpos lacustres, los cuales se han llevado a cabo mediante diversas metodologías. Algunos de estos estudios han sido elaborados por extranjeros, como lo es el caso del estudio batimétrico del lago de Petén Itza, preparado por investigadores de la Universidad de Florida en base a estudios sísmicos de la cuenca (Hillesheim 2003).

A continuación se describe parte del estudio batimétrico realizado en el lago de Güija, ubicado en los municipios de Metapán y San Antonio Pajonal, del departamento de Santa Ana (República de El Salvador) y el municipio de Asunción Mita, del departamento de Jutiapa (República de Guatemala).

## **A. Estudio limnológico del lago de Güija, determinación de su estado de eutrofización**

El lago de Güija, posee un espejo de agua de 42 km.<sup>2</sup>, con un perímetro de 56 km.; una profundidad máxima de 25 m. El lago de Güija posee tres ríos tributarios importantes: río Angüe, río Cusmapa y río Ostúa.

Alrededor del lago de Güija se encuentran 11 comunidades pesqueras: el Guayabo, el Platanar, Canteada, los Cerritos, San Juan, la Barra, las Conchas, Azacualpa, el Desagüe, el Estero y las Cuevitas, las cuales albergan a un total de 315 pescadores artesanales, datos que pueden variar por razones de migración interna o externa, quienes reportan una producción pesquera anual de 474,910 Kg (López 2008).

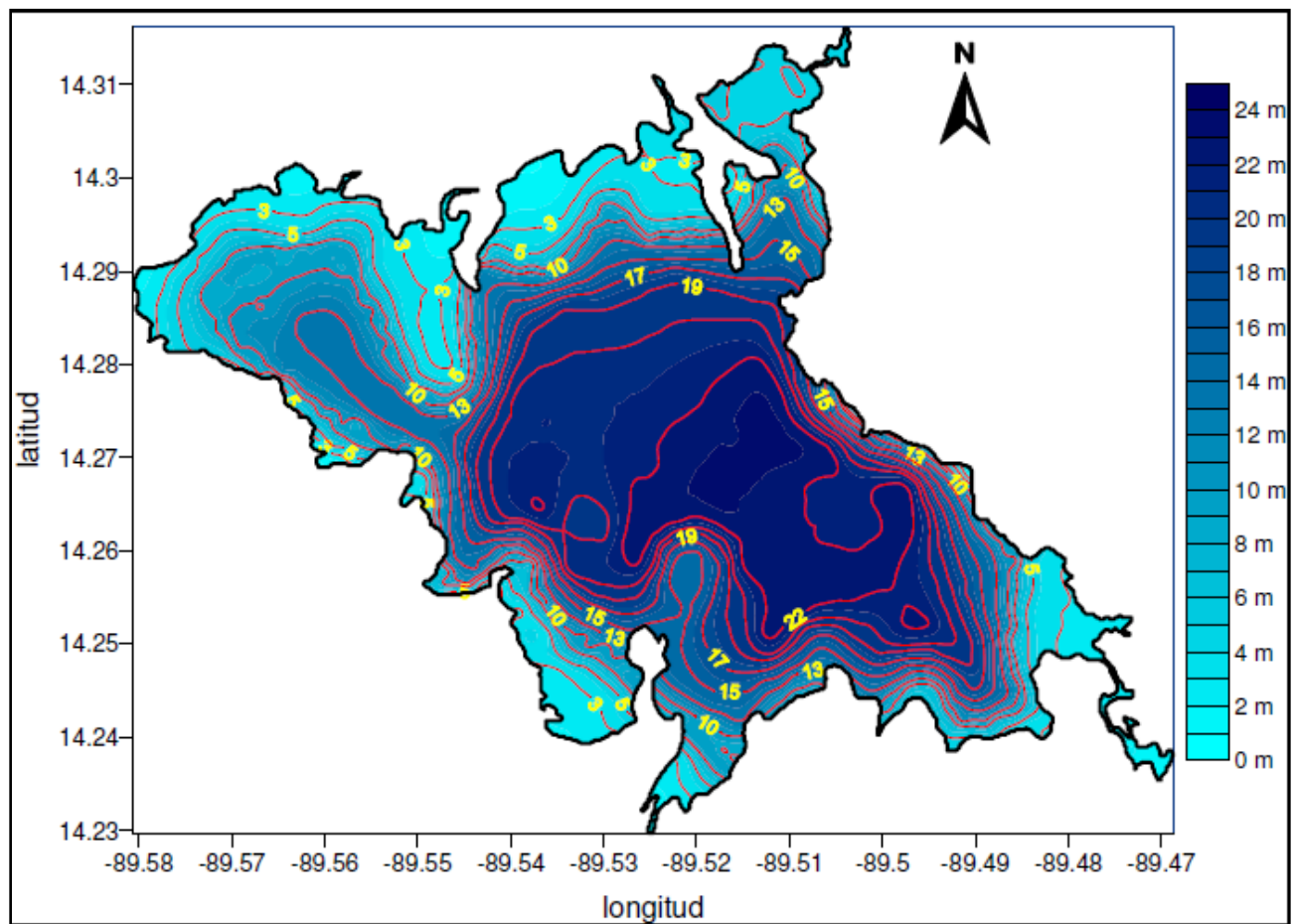
El lago de Güija fue monitoreado por primera vez en 1973 por personal de la oficina de pesca de la República de El Salvador, se han evaluado principalmente actividades de pesca y limnología del cuerpo de agua, posteriormente en los años 2005 y 2006 PREPAC realizó una caracterización del cuerpo de agua, sin embargo los monitoreos han sido estacionales y en períodos cortos de tiempo, por lo que se desconoce su comportamiento en un ciclo anual.

## **B. Resultados batimétricos del lago de Güija**

Para la generación de los mapas superficiales con las isolíneas, utilizaron el programa computacional de modelado de superficies que se ejecuta bajo Microsoft Windows, conocido como SURFER 8.0. Para su aplicación, fue generada una hoja electrónica con información de las variables, numeración de las estaciones de muestreo y localización geográfica longitud-latitud en sexagesimales. Se generó un mapa batimétrico mediante el uso de un equipo tipo ecosonda marca GARMIN GPS Map 178C. Inicialmente se plotearon las estaciones en el mapa base generado mediante SURFER 8.0 y posteriormente en campo se midieron las profundidades, anotándola en boletas diseñadas para el caso. Para la toma de puntos se utilizó una embarcación de fibra de vidrio tipo lancha tiburonera de 23 pies de eslora, con un motor fuera de borda de 70 caballos de

fuerza; esta embarcación pertenece a la Unidad de Manejo de la Pesca y Acuicultura UNIPESCA del Ministerio de Agricultura –MAGA- y se contó con apoyo del Apostadero Naval del Lago para efectos de acompañamiento y manejo de la embarcación.

En la figura 1 del mapa batimétrico del lago de Güija, generado con información recabada durante el mes de septiembre del 2007 en la época de lluvia, puede observarse que la parte más profunda se localiza al centro del lago.



**Figura 1.** Mapa batimétrico lago de Güija.

**Fuente:** (López 2008).

La estación más profunda del lago fue localizada al centro del mismo, esto debido a la acumulación de agua que se obtiene durante el período de lluvia que va desde mayo a octubre de cada año, posiblemente el nivel de agua podría mantenerse por más tiempo

pues sus tributarios continúan aportando agua, sin embargo debido al uso de la misma para la generación de energía por la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa - CEL- en la República de El Salvador y el inicio de la época seca, el nivel disminuye gradualmente.

## **2.2 Definición del problema**

La laguna de Ipala se encuentra ubicada en el volcán del mismo nombre y se localiza en el municipio de Ipala del departamento de Chiquimula, con una Latitud Norte de 14°37'15" y una Longitud Oeste de 89°37'05" (Sistema coordinado universal geográfico, Datum WGS84). Para llegar al área, se toma la carretera CA-10 que de la capital conduce hacia la cabecera departamental de Jutiapa, con un recorrido de 125 kilómetros. A partir de este punto se toma la carretera D-4 que de Jutiapa conduce al departamento de Chiquimula. A los 47 kilómetros de recorrido se pasa a un costado del municipio de Agua Blanca en Jutiapa, y de este punto con un recorrido de 30 kilómetros se llega hasta la cabecera municipal de Ipala en donde se encuentra la sede de -ADISO- (CONAP 2005).

Fue creada como área protegida por medio del decreto 7-98 con una extensión de 2,012.5 ha. Se extiende entre la cabecera municipal de Ipala, las aldeas Julumichapa, el Amatillo y el Chaguitón, del departamento de Chiquimula y las aldeas San Lorenzo y San Isidro del municipio de Agua Blanca en el departamento de Jutiapa.

El sistema lacustre es de origen volcánico, situado a 1650 msnm, tiene una área de 0.60 km<sup>2</sup> y una profundidad máxima aproximada de 20 m. El agua de este sistema lacustre mantiene niveles de buena calidad y su uso puede clasificarse para la pesca, turismo paisajístico, deporte acuático e incluso con tratamiento adecuado para consumo humano (García 2005).

Se estima una extracción de 240,000 litros diarios por bombeo para abastecer de agua para consumo humano a las comunidades aledañas, la consecuencia que esto provoca, es la disminución de la reproducción, crecimiento y desarrollo de la biota acuática (García 2005).

Previo a esta investigación se desconocía el volumen del reservorio del cuerpo de agua por la falta de estudios batimétricos y morfológicos que permitieran establecer parámetros para la determinación de la capacidad de almacenamiento de agua del cuerpo hídrico.

El decreto 7-98 ley de creación del área protegida del volcán y laguna de Ipala, menciona como objetivos, la conservación de la laguna, sus rasgos naturales, tanto en las comunidades bióticas, como en las especies silvestres, con énfasis en su uso para fines educativos y recreativos; sobre todo minimizar el impacto del recurso hídrico y prevenir la degradación de los recursos naturales así como fomentar el uso de factores naturales autorreguladores.

Situación que impone realizar actualizaciones de la información de los factores que inciden sobre la conservación y regulación de las presiones sociales, climáticas y ambientales que tienen una influencia directa sobre el área protegida. Los estudios batimétricos sirven de base e información previa para la elaboración de proyectos o actividades a implementarse en la actualización del plan maestro del área protegida.

### **2.3 Justificación**

La laguna del volcán de Ipala, es un reservorio de agua, cuya única recarga es la precipitación en la época de lluvia. Las comunidades que hacen uso de esta fuente son Monterrico, Cayetano, El Platillo, La Parada y La Laguna, todos pertenecientes al municipio de Agua Blanca, departamento de Jutiapa. Se estima un total de 1500 personas como beneficiarias del uso del agua de la laguna y que habitan en las comunidades antes mencionadas (García 2005).

La importancia del estudio se enfoca a la determinación física del área de estudio, a través del levantamiento de las características morfológicas y batimétricas de la laguna del volcán, esta investigación pretende servir como fuente de consulta para la realización de proyectos de investigación y desarrollo orientados a mejorar el uso, manejo, conservación y preservación del recurso hídrico que representa la laguna y del cual hacen uso las comunidad circunvecinas al volcán de Ipala, así como para guiar las iniciativas de

intervención que se pretendan hacer en la actualización del plan maestro del área protegida.

Los estudios batimétricos tienen como objetivo la medición y determinación de las profundidades existentes en un área de un cuerpo de agua. Generalmente los resultados son plasmados posteriormente de manera gráfica en mapas temáticos (España 1995).

La implementación de la metodología y generación de información en esta área del conocimiento, son herramientas de utilidad para la docencia y la investigación aplicada a los recursos naturales. Por lo que se fortalecerán los aportes que el Centro Universitario de Oriente, realiza a nivel local y nacional como institución.

Dentro de los resultados obtenidos se pueden mencionar: un modelo de elevación digital del cráter y laguna del volcán de Ipala, la elaboración del mapa batimétrico, en el cual se observa la forma que define la laguna, asociada principalmente a los valores obtenidos de área, perímetro y profundidades, con lo cual se establece una metodología que permite ofrecer lineamientos básicos para la elaboración de cartografía básica de sistemas lacustres.

Los beneficiarios del estudio son los habitantes de las comunidades aledañas al volcán de Ipala, específicamente los municipios de Ipala, Chiquimula y Agua Blanca, Jutiapa, el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas -SIGAP-, el Consejo Nacional de Áreas Protegidas y la Asociación para el Desarrollo Integral Sostenible de Oriente, coadministrador del área protegida del volcán de Ipala y el Centro Universitario de Oriente, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



### **III. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Batimetría**

El término “batimetría” procede del griego βάθους, profundo, y μετρον, medida, el Diccionario de la Real Academia de la Lengua lo define como “el arte de medir las profundidades”.

En topografía se entiende por batimetría el levantamiento del relieve de superficies subacuáticas. La profundidad de un punto se obtiene midiendo la distancia vertical entre el nivel del agua y la superficie del fondo.

La importancia de las profundidades radica en que ésta influye en la magnitud de la velocidad de la corriente de agua y por ende en el transporte y eventual deposición gravitacional de los múltiples componentes sólidos contenidos en el medio acuático. (Universidad Politécnica de Valencia 1995).

#### **3.2 Morfología**

Es la disciplina encargada del estudio de la forma y estructura de un organismo o sistema en un contexto comparativo. La morfología de los sistemas lacustres está en función de su origen, la cual determina las relaciones entre contorno y profundidad.

Los parámetros morfológicos más importantes a controlar son el área del espejo del agua, la profundidad máxima y las profundidades relativas; cuya relación con el agua permiten calcular el volumen del lago (Hernani; Ramírez 2002).

#### **3.3 Área protegida**

Son áreas protegidas, incluidas sus respectivas zonas de amortiguamiento, las que tienen por objeto la conservación, el manejo racional y la restauración de la flora y la fauna

silvestre, recursos conexos y sus interacciones naturales y culturales, que tengan alta significación por su función o sus valores genéticos, históricos, escénicos, recreativos, arqueológicos y protectores, de tal manera de preservar el estado natural de las comunidades bióticas, de los fenómenos geomorfológicos únicos, de las fuentes y suministros de agua, de las cuencas críticas de los ríos, de las zonas protectoras de los suelos agrícolas, de tal modo de mantener opciones de desarrollo sostenible (Congreso de la República de Guatemala 1989).

### **3.4 Coadministración de áreas protegidas**

De acuerdo con la política de coadministración, ésta se describe como: “la figura técnica, administrativa e institucional reconocida por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas - CONAP- que le permite a éste realizar arreglos con diferentes personas individuales o jurídicas, públicas o privadas, sociedad civil o cualquier otro grupo representativo, con el propósito de coadyuvar coordinadamente al eficaz manejo de las áreas protegidas y al eficiente funcionamiento del SIGAP, desempeñando adecuadamente sus objetivos instituidos en el Decreto 4-89 del Congreso de la República de Guatemala” (CONAP 2004).

La política de coadministración de áreas protegidas, señala seis beneficios que permiten dar integridad y seguridad a la coadministración en función de garantizar el seguimiento adecuado de las áreas protegidas. Los beneficios se enlistan a continuación:

Primero: La coadministración es un mecanismo de manejo que reúne y complementa las ventajas comparativas del sector público (Estado) y privado (Sociedad Civil Organizada) en un accionar común;

Segundo: La coadministración es un proceso a través del cual se desconcentra y legitima el manejo de los recursos naturales;

Tercero: La coadministración presenta mejores oportunidades para la sostenibilidad financiera de las áreas protegidas a corto, mediano y largo plazo;

Cuarto: La coadministración representa un espacio de mayor participación de la sociedad civil en el manejo de los recursos naturales y legitimidad en el manejo;

Quinto: La coadministración facilita la ejecución de las directrices y programas del área protegida;

Sexto: La coadministración reúne y complementa las especializaciones técnicas y el poder legal de las diversas instituciones públicas que coadministran áreas protegidas (IDAEH, CECON, INAB, INGUAT, MUNICIPALIDADES).

Actualmente, la Secretaría Ejecutiva del -CONAP- cuenta con 7 convenios de coadministración firmados y en vigencia para las siguientes áreas:

- Parque Nacional Lacandón.
- Área de Usos Múltiples Volcán y Laguna de Ipala.
- Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique.
- Área de Usos Múltiples Río Sarstún.
- Área de Protección Especial Laguna de Ayarza.
- Parque Nacional Volcán de Pacaya y Laguna de Calderas.
- Área propuesta Hawaii (pendiente de declaratoria)

La coadministración del área protegida Área de Usos Múltiples Volcán y Laguna de Ipala se establece en convenio entre -CONAP- y -ADISO-.

### **3.5 Asociación para el Desarrollo Integral Sostenible de Oriente (ADISO)**

Es una asociación civil de socios, que persigue el alcance de un mismo fin dentro de la persona jurídica que conforman. La Asociación para el Desarrollo Integral Sostenible de Oriente actualmente es la encargada de la coadministración del área protegida del Volcán y Laguna de Ipala en convenio con el -CONAP-, según el artículo 6, del Decreto Número 7-98 del Congreso de la República de Guatemala, Ley de Creación del área protegida Volcán y Laguna Ipala.

El artículo declara lo siguiente: “La administración del Área Protegida, Área de Uso Múltiple Volcán de Ipala y su Laguna, estará a cargo del Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-, de conformidad con la ley de áreas protegidas, y su secretaría Ejecutiva podrá delegarla en quien considere conveniente, como instancia ejecutiva que gestione cooperación, desarrolle proyectos en el área indicada. Derivado de este, el 11 de noviembre de 1999 se firma convenio entre el -CONAP- y -ADISO- para la coadministración del área protegida del volcán y laguna Ipala, siendo su vigencia indefinida, comprometiéndose ambas partes a revisar, discutir y mejorar el contenido del mismo anualmente”.

### **3.5.1. Planificación de operaciones ADISO-CONAP**

La Asociación para el Desarrollo Integral Sostenible de Oriente (ADISO) como coadministrador elabora su Plan Operativo Anual, el cual debe de ser aprobado por el -CONAP-. Además, según Artículo 6 Decreto No.7-98 para lograr los objetivos de ley, los planes de trabajo del ente coadministrador deberán ser autorizados, supervisados y evaluados por el consejo asesor integrado por:

- Un representante del CONAP.
- Los Alcaldes Municipales de Ipala y Agua Blanca.
- Los Gobernadores Departamentales de Chiquimula y Jutiapa o sus representantes.

### **3.6 Plan maestro**

De acuerdo con los instrumentos de Gestión del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP), el Plan Maestro es el documento rector para el ordenamiento territorial, gestión y desarrollo de las áreas protegidas. Contiene políticas, directrices generales y programas de manejo de conservación, investigación, ordenación y uso de los recursos. Su vigencia es de cinco años y debe ser aprobado por el CONAP.

Asimismo, el artículo 18 de la Ley de Áreas Protegidas indica que “El manejo de cada una de las áreas protegidas del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP), estará

definido por su respectivo plan maestro, el cual será compartimentalizado en detalle mediante planes operativos anuales. Todos los planes maestros y operativos deben ser registrados, aprobados y supervisados por la Secretaría Ejecutiva del CONAP para verificar que se cumple con los propósitos de conservación de esta Ley. El CONAP tomará las acciones legales pertinentes en caso contrario”.

En la actualidad, no todas las áreas cuentan con un plan maestro aprobado por CONAP, siendo únicamente 37 áreas las que cuentan con el documento rector aprobado o bien en proceso de desarrollo o de actualización. Dentro de las 37 áreas que cuentan con el documento rector aprobado se encuentra el área de estudio.

El plan maestro contempla programas operativos para la administración sostenible de las áreas protegidas, además impulsan la investigación aplicada para mejorar el manejo adecuado de los recursos naturales con los que cuenta. Los programas son los que a continuación se citan:

- Programa de protección y control: consiste en garantizar la integridad del área, la dinámica de los ecosistemas y la conservación de biodiversidad.
- Programa de manejo de recursos naturales: consiste en implantar las normas de manejo necesarias con énfasis en la capacidad de uso de los recursos naturales atendiendo las características de cada zona del área protegida, así como de las comunidades que viven en el área protegida, a efecto de mantener el ecosistema en condiciones óptimas.
- Programa de investigación y monitoreo: que el área cuente con estudios apropiados de investigación que oriente su administración y manejo, con el propósito de incentivar el incremento progresivo del conocimiento de los recursos naturales del área protegida propiciando la participación de los diversos actores del área.
- Programa de uso público: es mejorar el grado de conciencia en los pobladores y visitantes al área protegida, con el fin de promover su valorización, respeto y uso adecuado de los recursos naturales de la misma.
- Programa de asistencia técnica y participación comunitaria: Es desarrollar y fortalecer la organización social para lograr que la población local participe activa y

equitativamente en la planificación, conservación, manejo y control de los recursos del área protegido.

- Programa de administración: es el ente administrador del área protegida, cuenta con un manual administrativo que describa la organización del personal y sus funciones por parte de la misma, a efecto de fortalecer su gestión administrativa.

### **3.7 Topografía**

La topografía es la ciencia, el arte y la tecnología para encontrar o determinar las posiciones relativas de puntos situados por encima de la superficie terrestre, sobre dicha superficie y debajo de ella.

En un sentido más general, la topografía se puede considerar como la disciplina que comprende todos los métodos para medir y recopilar información física acerca de la tierra y nuestro medio ambiente, procesar esta información y difundir los diferentes productos resultantes a una amplia variedad de clientes.

Actualmente el método más utilizado para la toma de datos se basa en el empleo de una estación total, denominándose así al aparato electro-óptico, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en un teodolito digital y una computadora en una sola unidad, estos dispositivos miden automáticamente ángulos horizontales y cenitales (o verticales), así como distancias y transmiten los resultados en tiempo real a la computadora incorporada (Wolf; Ghilani 2008).

### **3.8 Sistema de navegación global por satélites (GNSS)**

El sistema de navegación global por satélite es el acrónimo que se refiere al conjunto de tecnologías de sistemas de navegación por satélite que proveen de posicionamiento geoespacial con cobertura global de manera autónoma. Los sistemas -GNSS- existentes son el GPS, GLONASS y el reciente Galileo. Es decir los sistemas que son capaces de dotar en cualquier punto y momento de posicionamiento espacial y temporal.

Los sistemas de navegación por satélite tienen una estructura claramente definida, que se divide en tres segmentos distintos:

- Segmento espacial: Es el segmento compuesto por los satélites que forman el sistema, tanto de navegación como de comunicación. Mientras que los primeros orbitan alrededor de la Tierra, repartiéndose en distintos planos orbitales, los segundos son los que forman los llamados sistemas de aumento que sirven para la corrección de errores de posicionamiento.

**Cuadro 1.** Comparativa de segmento espacial entre los sistemas -GNSS-.

	<b>GPS</b>	<b>GLONASS</b>	<b>GALILEO</b>
<b>Satélites</b>	30	24 (21+3 de repuesto)	30 (27+3 repuesto)
<b>Altitud</b>	20200 km	19100 km	23222 km
<b>Período</b>	11 h 56 min	11 h 15 min	14 h
<b>Inclinación</b>	55°	64.8°	56°
<b>Planos</b>	6	3	3
<b>Satélites/plano</b>	hasta 6	hasta 8 (7 y 1 de repuesto)	hasta 10 (9 y 1 repuesto)

**Fuente:** *García Álvarez 2008.*

- Segmento de control: Formado por el conjunto de estaciones en tierra que recogen los datos de los satélites. Este segmento es complejo en su definición, siendo propio de cada país o coalición de países, y estructurándolos en función de distintos criterios como más convenga.
- Segmento de Usuario: Formado por los equipos GNSS que reciben las señales que proceden del segmento espacial.

No se entiende como sistema -GNSS- sin alguno de estos tres elementos (*García Álvarez 2008*).

### **3.9 Métodos de medición con el sistema de navegación global por satélites (GNSS)**

#### **3.9.1 Método estático**

Utilizado para líneas base largas, redes geodésicas, estudios de tectónicas de placas y otros. Ofrece precisión alta en distancias largas, pero es comparativamente lento.

#### **3.9.2. Método cinemático**

Empleado para levantamiento de detalles y para la medición de muchos puntos en sucesión corta (camino). Es una técnica muy eficiente para medir muchos puntos que están muy cerca uno del otro (García Álvarez 2008).

### **3.10 Red de apoyo catastral (RAC)**

Consiste en una red geoméricamente triangular de puntos georeferenciados por el Registro de Información Catastral -RIC- en común acuerdo y enlazados con la red geodésica nacional establecida por el Instituto Geográfico Nacional -IGN-.

Esta red cuenta con una clasificación de tres tipos de acuerdo a la precisión y distancia entre vértices que la conforman. A continuación se detallan las características de los tres tipos de red de ajuste catastral:

- Rede de apoyo catastral tipo 1 (RAC 1): establecidas por el RIC y referenciadas a la red geodésica nacional. Las mismas presentan una distancia entre sí de 7 a 15 kilómetros y una precisión de 5mm.
- Redes de apoyo catastral Tipo 2 (RAC 2): establecidas por el RIC y referenciadas a la RAC1. Las mismas tendrán una distancia entre sí de 0.5 a 7 kilómetros y precisión de 10 mm.



- Redes de apoyo catastral Tipo 3 (RAC 3): usualmente poligonales referenciadas a la RAC2, materializadas en el campo como poligonales de apoyo para el levantamiento de áreas urbanas, centros poblados o áreas de alta densidad predial. Tolerancia de cierre unitario de la poligonal de 0.001 (RIC 2008).

### **3.11 Ecosonda**

Una ecosonda es un instrumento para detección acústica usado para medir la distancia existente entre la superficie del agua y objetos suspendidos en el agua o que reposan en el fondo. Este instrumento determinar la distancia vertical entre el fondo del lecho marino y una parte determinada del casco de una embarcación.

El principio del funcionamiento de este aparato, se basa en transmitir fuertes impulsos sonoros que envía el transductor para luego captar y clasificar los ecos, en este caso con la finalidad de la obtención de profundidades.

De acuerdo al punto de referencia en el que se efectúa la medición, es necesario efectuar la reducción para elevar esa medida al plano de la superficie de flotación, determinando así la profundidad de cuerpos de agua (Humminbird 2013).

## **IV. MARCO REFERENCIAL**

### **4.1 Descripción del área de estudio**

El área para el estudio comprende al sistema lacustre del área protegida en su categoría de manejo de Área de Usos Múltiples Laguna y Volcán de Ipala, en base legal según decreto número 4-98, Ley de Áreas Protegidas, reformado por el decreto número 110-96 ambos del Congreso de la República.

El área protegida, Área de Usos Múltiples Laguna y Volcán de Ipala, está sujeta a la siguiente zonificación:

- Zona Intangible: comprende el cráter del volcán de Ipala, su laguna, el bosque existente en el cráter del volcán y el bosque remanente actualmente presente. En esta zona se permite: el acceso libre, con fines de recreación a la laguna por parte de los pobladores de los municipios de Ipala y Agua Blanca, departamento de Chiquimula y Jutiapa, respectivamente. La extracción de agua de la laguna en forma temporal, para suministrar agua a las comunidades que actualmente utilizan este recurso. La visitación turística de bajo impacto en el área de la laguna.
- Zona de Recuperación: esta zona comprende desde la parte externa del cráter del volcán y a partir del límite inferior del bosque natural actualmente existente, hasta aproximadamente la mitad del cono volcánico. En esta zona se permite y estimula: árboles nativos del área, la reforestación con árboles de doble propósito: cobertura y de producción ya sea de frutos, leña o madera. Siembra de árboles frutales con fines productivos. Siembra de productos agrícolas bajo sombra de los bosques plantados. El desarrollo de albergues ecológicos, en armonía con la naturaleza, para el turista, así como tiendas y comedores, en armonía con la naturaleza para proporcionar satisfactores básicos a los turistas.
- Zona de uso Extensivo: esta zona comprende desde aproximadamente la mitad del cono volcánico hasta la base del mismo. En esta zona se permite: el uso tradicional

del suelo, pero deben desarrollarse prácticas agropecuarias bajo los conceptos de desarrollo sostenible. Debe proveerse asistencia técnica para que los campesinos adopten prácticas de producción compatibles con el ambiente. La siembra de bosques productivos con diversos fines. El desarrollo de actividades e infraestructura para atención al turismo (Congreso de la República de Guatemala 1998).

## **4.2 Ubicación del área de estudio**

El sistema lacustre correspondiente al área de estudio se encuentra ubicado dentro de dos municipios los cuales son:

- Municipio de Ipala que es uno de los once (11) municipios del departamento de Chiquimula, se encuentra en la parte oeste del departamento en la Región III o Región Nor-Oriental. La distancia entre Ipala y la cabecera departamental, Chiquimula es de 34 km. Sus colindancias son las siguientes:

Norte: Con el municipio de San José La Arada, del departamento de Chiquimula.

Sur: Con el municipio de Agua Blanca, del departamento de Jutiapa.

Este: Con los municipios de San Jacinto, Quetzaltepeque y Concepción Las Minas, del departamento de Chiquimula.

Oeste: Con los municipios de San Luis Jilotepeque y San Manuel Chaparrón, del departamento de Jalapa.

- Municipio de Agua Blanca que es uno de los diecisiete municipios del departamento de Jutiapa, se encuentra en la parte oeste del departamento en la Región III o Región Nor-Oriental. La distancia entre Agua Blanca y la cabecera departamental, Jutiapa es de 42 km. Sus colindancias son las siguientes:

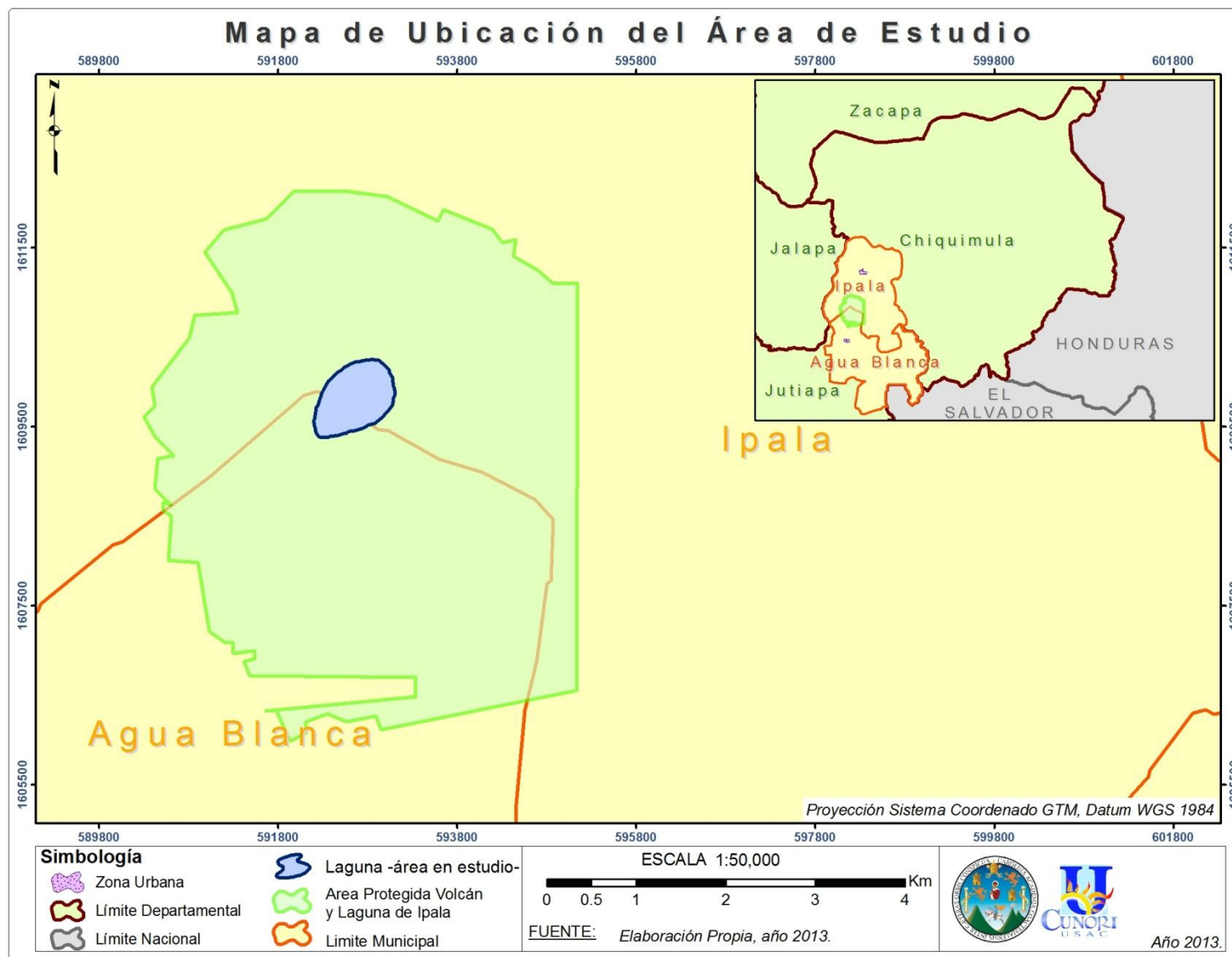
Norte: Con los municipios de Ipala y Concepción Las Minas, del departamento de Chiquimula.

Sur: Con el municipio de Asunción Mita, Jutiapa y la República de El Salvador.

Este: con el municipio de Concepción Las Minas, Chiquimula y la República de El Salvador.

Oeste: Con los municipios de Santa Catarina Mita, del departamento de Jutiapa y San Manuel Chaparrón, del departamento de Jalapa.

Para ingresar al cráter del volcán en donde se encuentra la alguna, se puede accesar por vehículo a la aldea de Chagüitón y de allí un recorrido aproximado a pie de dos kilómetros. El otro acceso es por vehículo a la aldea de Monterrico y de allí un recorrido de 1 kilómetro hasta la laguna.



**Figura 2.** Mapa de ubicación del área de estudio.

**Fuente:** *Elaboración propia 2013.*

### 4.3 Características biofísicas del área de estudio

#### 4.3.1 Zonas de vida

El área de estudio comprende dos zonas de vida, según el mapa de Zonas de Vida elaborado por el MAGA en el año de 2006; el Bosque Seco Subtropical -bs-S- y el Bosque Húmedo Subtropical (templado) -bh-S(t)-. Como el área de estudio la caracteriza su origen fisiográfico, por ser un volcán es, muy común que esto ocasione que las condiciones climáticas y los ecosistemas que se desarrollan en el área, cambien drásticamente en una extensión relativamente pequeña de terreno. El 38.89% pertenece al Bosque Seco Subtropical, el cual ocupa la parte oeste del área protegida.

El restante 61.11% corresponde al Bosque Húmedo Subtropical (templado), el cual ocupa la parte este del área protegida.

Entre las especies vegetales indicadoras de estas zonas de vida se presentan en los siguientes cuadros:

**Cuadro 2.** Especies vegetales indicadoras del bosque seco subtropical.

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
Cochlospermum vitifolium	Pochote
Swietenia humilis	Caoba del pacífico
Alvaradoa amorphoides	Cola de ardilla
Sabal mexicana	Botán
Phylocarpus septentrionalis	Guacamayo
Albizzia caribea	Conacaste blanco
Avicennia nitida	Mange blanco
Leucaena guatemalensis	Yaje

**Fuente:** Maga 2006.

**Cuadro 3.** Especies vegetales indicadoras del bosque húmedo subtropical (templado).

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
Pinus oocarpa	Pino colorado
Curatella americana	Lengua de vaca
Quercus spp.	Roble, encino
Byrsonima crassifolia	Nance

**Fuente:** Maga 2006.

#### 4.3.2 Clima

El clima predominante en el área es cálido seco con una estación seca bien definida, ocurre entre los meses de diciembre a marzo. Su rango altitudinal varía entre los 923 a 1650.47 msnm.

De acuerdo con los modelos climáticos generados por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación de Guatemala del año 2006; la precipitación en el área de estudio varía entre los 730 y 876 mm anuales, aunque estas estimaciones no consideran situaciones microclimáticas que caracterizan al volcán, causa que los valores mencionados en este apartado sean demasiado conservadores.

Mientras que la temperatura media anual se encuentra entre los 18 y los 20 grados centígrados, siendo las partes altas del cráter del volcán las áreas más frías.

#### 4.4 Geología

El volcán de Ipala forma parte de la Cadena Volcánica del Pacífico, conocida también como Sierra Madre; la cual se extiende desde el volcán Tacaná en la frontera México-Guatemala, hasta el volcán Chingo en la frontera El Salvador-Guatemala. La Sierra Madre limita al sur con la Planicie Costera del Pacífico y al norte con la Depresión del Motagua. La cadena volcánica es de edad geológica reciente. El material rocoso es pumicita, roca originada en el Período Terciario Superior, hace 25 millones de años.

Su topografía es poco erosionada en las que prevalecen las superficies originadas por procesos volcánicos. El cono del volcán tiene una superficie de 1.2 kilómetros cuadrados y no muestra la forma común cónica, sino mas bien es achatado en su cráter en donde reposa la laguna (CONAP 2005).

#### **4.5 Hidrología**

La laguna de Ipala es el cuerpo de agua más importante en la región, de ella se abastecen las aldeas de los municipios circundantes, alimenta algunas corrientes internas que salen a la superficie en forma de ojos de agua, pantanos y quebradas en las faldas del volcán. El incremento del agua del espejo de la laguna ocurre únicamente por precipitación pluvial. La extracción de agua de la laguna de Ipala para el abastecimiento de las comunidades beneficiadas, comenzó en el año de 1950, desde ese entonces a la fecha, el nivel de agua de la laguna empezó a descender, ya que la sustracción del vital líquido ha ido en aumento.

Se estima que el nivel ha bajado unos 20 metros del nivel antes del inicio de la extracción. El impacto en la baja del nivel del agua de la laguna se evidencia desde la década de los 50, siendo su descenso de unos 30 centímetros por año. Las personas extraen un 50 por ciento de agua de la que precipita cada año.

Existen otros cuerpos de agua de menor relevancia en la zona de amortiguamiento del área, en la aldea La Esperanza existe un pequeño pantano que origina un riachuelo y a una altura de 1300 msnm se encuentra el nacimiento llamado Chichicaste. También hacia el Este hay dos pequeñas lagunetas; el Obrajuicio y el Orégano y algunas quebradas de poco caudal como la de San Sebastián, El Chaparrón y Colima (CONAP 2005).

#### **4.6 Sitios de importancia e infraestructura**

Los sitios de importancia por su belleza escénica son:



Mirador panorámico, el cual está localizado a 200 metros de la playa principal al costado sudeste del volcán. Allí el visitante puede apreciar dos preciosas vistas una a la laguna y la otra hacia la planicie frente a las faldas del Volcán Suchitán.

El verdadero atractivo turístico de esta área protegida se encuentra al lado sudeste del cráter del volcán y lo constituye la hermosa laguna.

En el área de estudio se encuentra una infraestructura presente formada por:

- Centro de atención
- Sala de interpretación
- Cabaña de investigación
- Cabaña de guarda recursos
- Cabaña Comedor
- Cuatro baños
- Dos vestidores
- Diez áreas de meriendas distribuidas a los alrededores de la laguna.

La laguna se encuentra en la zona de libre acceso con fines de recreación, por tal motivo es visitada por personas nacionales y extranjeras anualmente (CONAP 2005).

## **V. MARCO METODOLÓGICO**

### **5.1 Objetivos**

#### **5.1.1 General**

Contribuir al manejo integral de la laguna del volcán de Ipala, a través de la generación y actualización de información sobre morfología y batimetría del plan maestro del área protegida.

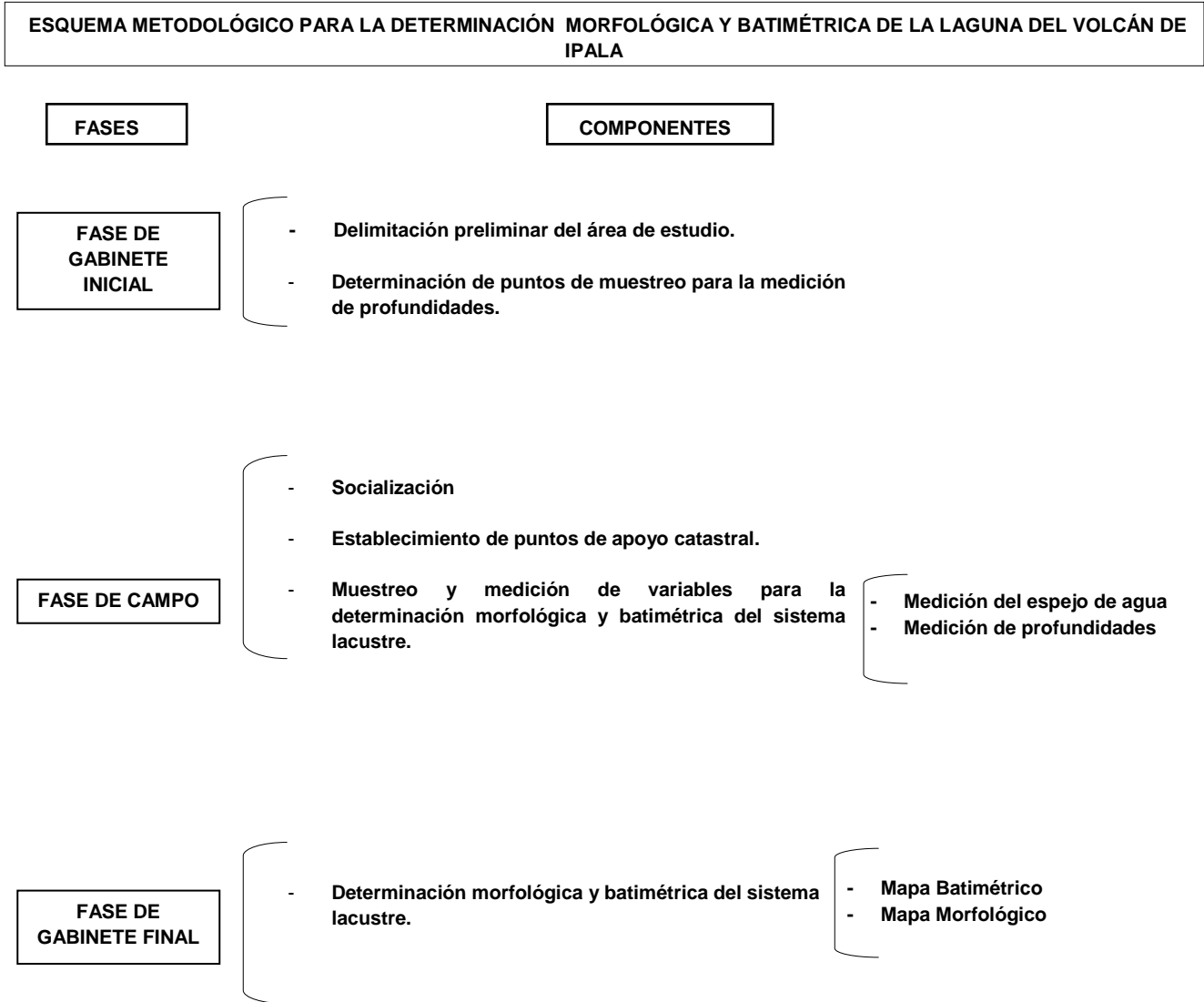
#### **5.1.2 Específicos**

- Elaborar la cartografía básica del sistema lacustre del volcán de Ipala.
- Determinar los parámetros morfológicos y batimétricos del cuerpo de agua.
- Generar y validar una metodología para la elaboración de mapas topográficos de sistemas lacustres.

### **5.2 Descripción de la metodología**

La metodología con la que se llevó a cabo este estudio, reunió consideraciones de levantamientos topográficos de alta precisión, tomando en cuenta las normas que establece el Registro de Información Catastral -RIC- para levantamiento de información topográfica georeferenciada mediante sistema de navegación global por satélite -GNSS-. La batimetría del sistema lacustre se determinó mediante una ecosonda digital marca Humminbird modelo 597ci HD DI, para la medición de las profundidades aplicando una alta intensidad de muestreo.

Con base a lo expuesto anteriormente la metodología comprendió tres fases según el siguiente esquema metodológico:



**Figura 3.** Esquema metodológico utilizado para la determinación batimétrica y morfológica del área de estudio.

**Fuente:** Elaboración propia 2013.

### **5.3 Fase de gabinete inicial**

La mayor parte de preparación y procesamiento de los datos en esta fase requirieron el uso de paquetes de software como lo son ArcGIS 10 de Esri™, ILWIS 3.3 Academic y técnicas de topografía digital para la generación de información relacionada al tema de batimetría y geomorfología.

#### **5.3.1 Delimitación preliminar del área de estudio**

La delimitación del área de estudio se llevó a cabo a través de una clasificación no supervisada de la imagen de ortofoto, generada por el proyecto “Obtención de imágenes digitales a escala de detalle de la República de Guatemala” en el año 2006. La imagen utilizada corresponde al número 22591\_18\_ORT\_RGB.ecw, contenida en el bloque 3 del índice de ortofotografías de la República de Guatemala. El tamaño del pixel de la imagen en el terreno es de 0.4 m<sup>2</sup>, la altura de vuelo promedio es de 4, 600 m sobre el nivel del mar y se compone de tres bandas.

La clasificación no supervisada, permite agrupar los pixeles que tienen características similares en la imagen. Este estudio se realizó a través del programa ILWIS 3.3 Academic, programa de Sistemas de Información Geográfica -SIG- y de percepción remota para el manejo de información geográfica vectorial y raster, desarrollado por International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation -ITC-.

El programa facilita el análisis, la preparación y la visualización de imágenes. En la clasificación no supervisada, se utiliza un algoritmo que identifica el valor de cada pixel en relación a la cantidad de energía emitida por los cuerpos capturados en la imagen, el cuál forma grupos homogéneos localizando el centro de cada grupo. Cada pixel es asignado a un grupo, de acuerdo a una distancia mínima al centro que lo conforma.

El método inicia con un agrupamiento promedio arbitrario, cada vez que se repite el proceso el promedio se modifica para ser utilizado en la siguiente repetición. El algoritmo repite el agrupamiento de la imagen hasta que se ejecuta el número máximo de

repeticiones solicitadas en la configuración del proceso o se alcance el máximo porcentaje de asignación de píxeles no cambiados de grupo entre dos repeticiones.

Con el proceso anterior, se definieron las clases en archivo de formato raster. Este formato es un modelo lógico de datos en los sistemas de información geográfica, donde los objetos son representados a través de celdas y cada una de ellas posee un valor determinado para una o varias características específicas. En este estudio se utilizó únicamente aquella que posee el valor único de la característica del espejo de agua de la laguna.

Para el cálculo del área correspondiente se transformó del formato raster a uno vectorial. Este formato es otro modelo lógico de datos en la información geográfica, objetos discretos que representan al mundo real en forma geométrica de puntos, líneas y polígonos. El archivo vectorial definió el polígono del espejo de agua para calcular el área y perímetro.

### **5.3.2 Determinación del tamaño de la muestra**

Una vez delimitada y calculada el área de estudio, se procedió a la determinación del método de muestreo, lo que permitió mapear el área de una manera consistente para la elaboración del mapa batimétrico.

La intensidad del muestreo respondió a un nivel de detalle “Intensivo”. La densidad de inspecciones es más de una muestra por 2,500 m<sup>2</sup> (Rossiter 2004).

El método de muestreo permitió conocer mediante la extensión obtenida en la delimitación preliminar del área de estudio, el mínimo y máximo de muestras a tomar en cuenta con el nivel de detalle mencionado.

## 5.4 Fase de campo

### 5.4.1 Socialización del estudio

Se realizaron reuniones en el Centro Universitario de Oriente -CUNORI-, con la Asociación para el Desarrollo Integral Sostenible de Oriente -ADISO-, coadministrador del área protegida del volcán de Ipala y técnicos de la Dirección Regional Sur Oriente del Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-. El objetivo de las mismas fue dar a conocer el estudio, sus objetivos y productos pretendidos, así como también los beneficios que permiten los resultados (Anexo 1).

Tomando en cuenta que el área de estudio se trata de un área protegida se tuvo a bien realizar el trámite para la emisión de la respectiva licencia de investigación en el Área Protegida Volcán y Laguna de Ipala.

Además se llevo a cabo una presentación en el área de estudio, con la finalidad de dar a conocer el trabajo que se llevó a cabo en la ejecución del estudio, se realizó el día 01 del mes de mayo del presente año en instalaciones del área protegida, a la cual asistieron alcaldes comunitarios, guarda recursos de -CONAP-, director del área protegida por -ADISO-, miembros de consejos comunitarios, personal administrativo de área protegida por -CONAP- y -ADISO-.



**Figura 4.** Presentación del estudio en el Área Protegida Volcán y Laguna de Ipala.

#### **5.4.2 Establecimiento de los vértices de la red de apoyo catastral de segundo orden**

Se establecieron puntos de apoyo catastral, dentro del cráter del volcán para un control en la medición que determina variables geomorfológicas, estos puntos de apoyo catastral corresponden a los vértices de la red de apoyo catastral de segundo orden, establecida con el estudio.

Para dar inicio a la ejecución de las actividades de campo, se hizo un recorrido previo de reconocimiento del área, en el cuál se identificó los lugares donde se establecieron los puntos de apoyo catastral y los bancos de marca necesarios en la medición topográfica del perímetro del cuerpo de agua.

Para dar precisión a la posición de los puntos de apoyo catastral, se utilizaron la referencia y enlace a las coordenadas de las estaciones geodésicas, establecidas por el Registro de Información Catastral y validadas por el Instituto Geográfico Nacional en la red de apoyo catastral de primer orden cuyas características son definidas por distancias que van en el orden de 7 a 15 kilómetros y una precisión de 5 mm más 1 ppm. Los puntos establecidos en este estudio, forman parte de la red geodésica nacional en el orden de RAC 2 (red de ajuste catastral de segundo orden), cuyos requisitos son haber sido posicionados a través de puntos del orden RAC 1, contar con una distancia entre vértices de 0.5 a 7 kilómetros y tener una precisión de 10 mm más 2 ppm; es decir 1 milímetro por kilómetro de la longitud de línea base.

En la determinación de las coordenadas de los puntos de apoyo, se utilizaron equipos receptores geodésicos de marca Topcon, modelo HiPer Lite+, con precisiones horizontales de 3mm + 0,5ppm en estado estático.

Se utilizó el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) que es un sistema de navegación radial basado en satélites y en la línea de visión, el cual es dirigido por el Departamento de Defensa (DoD) de los Estados Unidos.

La precisión de una posición depende del número, integridad de la señal y ubicación (también conocida como Dilución de Precisión o DOP) de los satélites, para éste estudio se trabajó con un DOP menor de 6, además se trabajó bajo una máscara de elevación de 13°, con una tasa común de registro de datos de 15 segundos y con una duración de la colecta de datos estadísticos de 2 a 3 horas.

La implementación de puntos en tierra de apoyo catastral fue monumentados de forma permanente, la función principal de los puntos de apoyo catastral es brindar una posición y precisión geodésica apropiada. Tanto el diseño, construcción, distribución de sus monumentos e intervisibilidad, corresponden a las normas técnicas del Registro de Información Catastral -RIC- (RIC 2008).

### **5.3.2 Diseño y geometría de la red de apoyo catastral**

Para el diseño de la red y su geometría, se usó de referencia el sistema nacional geodésico de la República de Guatemala, adoptado por el Instituto Geográfico Nacional -IGN-, el cual corresponde al datum WGS 1984, cuya aplicación es de carácter mundial. Siendo un sistema coordenado, un medio que utiliza números para determinar unívocamente la posición de un punto sobre la superficie terrestre.

La proyección Guatemala Transverse Mercator conocida también como zona 15.5, es una proyección local, única para el país de Guatemala, lo cual permite mejorar la precisión de posiciones en trabajos de topografía y cartografía. Sus parámetros son los siguientes:

- Proyección: Transversa de Mercator (tipo Gauss Kruger) en zona única local.
- Esferoide: WGS84
- Longitud de origen: -90.30 (meridiano central de proyección)
- Latitud de origen: 0° (el ecuador)
- Unidades de medida: metros
- Falso Norte: 0 metros
- Falso Este: 500,000 metros en el meridiano central
- Factor de escala en el meridiano central: 0.9998



- Numeración de las zonas: no está dentro de la numeración normal de zonas UTM (Universal Transversa de Mercator), se le llama zona 15.5 por la posición especial entre dos zonas del país en el globo terráqueo.

Una vez definida la proyección cartográfica, se estableció la forma triangular de la red interna de la laguna del volcán de Ipala. El triángulo es la figura geométrica que permite mejorar la precisión en procesos geodésicos; por su conformación respectivamente.

En el diseño de la red se ubicaron tres puntos geodésicos en el perímetro correspondiente al cuerpo de agua de la laguna. Estos últimos permitieron los amarres topográficos para la elaboración de los levantamientos planimétricos, altimétricos y batimétricos.

Este diseño fue planteado primeramente en gabinete con la ayuda del programa de sistemas de información geográfica denominado ArcGIS 10, tomando en cuenta el recorrido de reconocimiento realizado inicialmente en la fase de campo del estudio, para poder cotejar sus ventajas o desventajas en acceso, comunicación e intervisibilidad.

### **5.3.3 Identificación de los puntos de apoyo catastral de orden superior**

En la red actual del Instituto Geográfico Nacional -IGN-, se pudo constatar que existen dos puntos en el orden de RAC 1 que por su ubicación geográfica se utilizaron para la medición: uno se encuentra ubicado en la entrada a la cabecera municipal de Ipala, en el departamento de Chiquimula y el otro en la aldea La Tuna, del municipio de Agua Blanca, en el departamento de Jutiapa (Anexos 2 y 3).

Después de definidos los puntos, se hicieron visitas de campo para conocer su ubicación física y geográfica, se midieron tiempos para poder determinar la logística al momento de las sesiones de medición conforme a las normas técnica del Registro de Información Catastral -RIC-. Esta actividad tuvo la finalidad de saber la forma de acceso con los propietarios de los terrenos y las condiciones actuales de los monumentos. Se determinó el tiempo y las condiciones mínimas para lograr las sesiones de medición coordinadamente con los puntos geodésicos de orden RAC 2, establecidos en el estudio.

#### **5.3.4 Precisión de la red de apoyo catastral**

La ubicación espacial y geográfica de todos los estudios que se realizarán posteriormente en la laguna de Ipala, serán referidas a la red geodésica que se estableció con este estudio en su perímetro. Esta red utilizó dos puntos del orden RAC 1 que fueron descritos anteriormente. La red propia de la laguna del volcán de Ipala se definió como tipo 2, establecidas por el Registro de Información Catastral -RIC-. Para su aprobación respectivamente se elaboró una solicitud y estudio que será presentado ante ellos para su inclusión en la red geodésica nacional.

Para esta actividad se sostuvieron reuniones técnicas con personeros del Registro de Información Catastral -RIC-, para su asesoría y ajuste de los parámetros requeridos en este sentido. Al mismo tiempo se logró obtener la información necesaria para la toma de datos, por recomendaciones del personal y requerimientos de las normas y procedimientos catastrales.

#### **5.3.5 Aprobación y rotulación de las fichas geodésicas**

Las fichas geodésicas están hechas de bronce, para su fácil rotulación y adhesión a los materiales de construcción (cemento y arena) que se utilizaron.

Los códigos de identificación para la RAC 2 interna de la laguna del volcán de Ipala, fueron definidos en base al orden de las normas técnicas catastrales del -RIC-, adjudicando a cada una de ellas el número correlativo que le corresponde en función de su ubicación geográfica. Los elementos considerados fueron los siguientes:

- a. El orden de la red a que pertenece el punto; es decir, orden correlativo en función de su uso.
- b. Se registra el código del departamento donde se ubica el punto y se le asignó según la codificación aprobada por el -RIC-.
- c. El código del municipio donde se ubica el punto y fue asignado según la codificación del -RIC-.

- d. Y por el último el orden correlativo del punto dentro del departamento y municipio, tomando en cuenta los ya utilizados en la red misma. Es decir se agregaron al número de puntos ya establecidos por el -RIC-.

De los puntos definidos; dos se localizan en el municipio de Ipala, en el departamento de Chiquimula y uno en el municipio de Agua Blanca, en el departamento de Jutiapa.

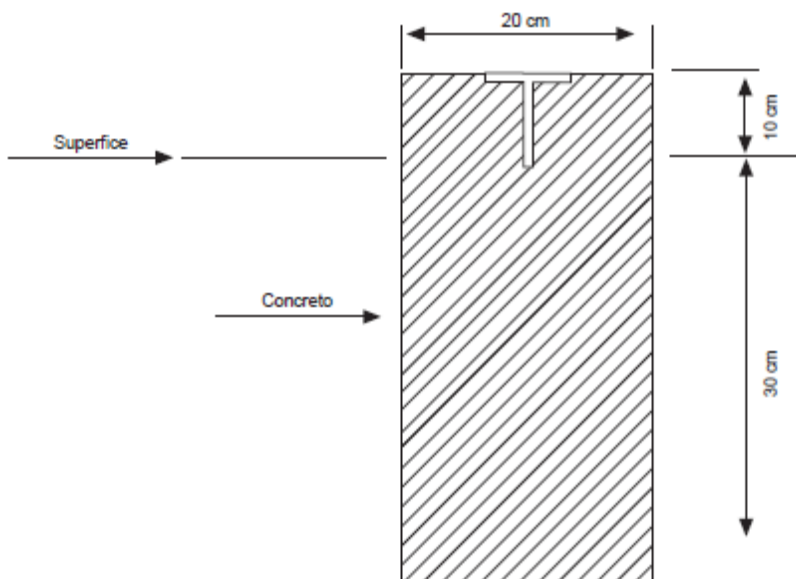
La codificación de los tres puntos geodésicos de segundo orden de RAC, mismos que fueron validados por el -RIC-, cuentan con la siguiente nomenclatura:

- RAC EN JURIDICCION DE IPALA RAC 2      2011001
- RAC EN JURIDICCION DE IPALA RAC 2      2011002
- RAC EN JURIDICCION DE JUTIAPA RAC 2    2204001

El Registro de Información Catastral dono al estudio, una ficha geodésica de bronce para monumentar los puntos de RAC 2, así como también llevaron a cabo la rotulación de cada ficha geodésica que se estableció (Anexo 4).

### **5.3.6 Construcción de monumentos**

El primer paso fue localizar las coordenadas de los vértices y fundir los monumentos de cada vértice, estos monumentos para la RAC 2, son unas bases de concreto de 20 \* 20 centímetros de sección y tienen una altura de 40 centímetros de los cuales solamente sobresalen 10 centímetros de la superficie del suelo.



**Figura 5.** Dimensiones de los monumentos para el establecimiento de RAC 2.

**Fuente:** *Manual de normas técnicas y procedimientos catastrales del -RIC- 2011.*

Cada monumento se identificó con una ficha de bronce de 7 centímetros de diámetro la cual se colocó en el centro de la base con orientación al norte y contiene la siguiente información:

- Nomenclatura del vértice
- Fecha de establecimiento
- Marca central (x)
- Nombre del RIC

En esta ocasión lleva además, la denominación CUNORI para dar referencia que el establecimiento de la red de apoyo catastral se llevó a cabo con el presente trabajo de graduación.

### **5.3.7 Geoposicionamiento de vértices que conforman la red de apoyo catastral**

Los vértices monumentados se geo-referenciaron con dos sesiones de dos horas cada una de manera simultánea (interrumpiendo cada una de ellas por un lapso de 10 minutos) entre los puntos de apoyo catastral de orden superior (RAC 1 en Ipala, Chiquimula y RAC 1 en La Tuna, Agua blanca).

El equipo utilizado para esta actividad se enlista a continuación:

- Seis receptores GPS Topcon HiPer Lite+,
- Seis bases nivelantes
- Seis tripodes de aluminio y madera
- Seis radios transmisores
- Boletas de control de observaciones GPS establecidas por el -RIC- (Anexo 5)
- Software Pccdu para configuración de equipo y descarga de los datos
- Software Topcon Tools, con licencia para postproceso de las mediciones
- Software ArcGIS 10 para la elaboración del mapa de la RAC 2 sobre ortofoto y hoja cartográfica
- Equipo de cómputo

Para completar el equipo, se solicitó al Registro de Información Catastral dos bases nivelantes, las cuales se utilizaron para nivelar los receptores GPS que dieron posición a los puntos de RAC 2 (Apéndice 1 y anexo 6).

### **5.3.8 Post proceso de los vértices que conforman la red de apoyo catastral**

Luego de la realización del geoposicionamiento las coordenadas resultantes de los puntos de apoyo catastral se descargaron del receptor mediante el software PC-CDU, controlador que se puede correr en una computadora bajo el sistema operativo de Windows.

Para la corrección diferencial de las coordenadas se procedió al trabajo de post proceso, en donde se depuró la información errónea que transmitieron los satélites para lograr

cumplir con las tolerancias permitidas. El post proceso se realizó con el programa Topcon Tools.

### **5.3.9 Muestreo y medición de variables para la determinación morfológica y batimétrica del sistema lacustre**

#### **a) Medición del espejo de agua**

La medición del espejo de agua de la laguna del volcán, se realizó mediante topografía digital, utilizando una estación total de marca Sokkia modelo SET-500 auxiliado de dos prismas de espejos. Este equipo lleva a cabo una medición de ángulos de alta precisión y mediciones de distancia de largo alcance respaldadas por una fina puntería automática y una localización fiable y rápida del prisma.

Las características que ofrece este equipo son las siguientes:

#### **Medición angular**

- Presición: 5" (1.5 mgon)
- (Desviación estándar, ISO 12857-2:1995)

#### **Medición de distancia (modo IR)**

- Precisión/tiempo de medición:
- Modo estándar: 3mm + 2ppm
- Modo Rápido: 5mm + 5ppm
- Desviación estándar, ISO 12857-3:1995

Para la determinación del perímetro del espejo de agua se llevó a cabo mediante un levantamiento topográfico por medio del método de radiaciones. Para la orientación del equipo se utilizó el método de orientación por dos puntos conocidos a través de coordenadas, para lo cual se utilizaron las coordenadas geodésicas de los vértices de RAC 2. El levantamiento se llevó a cabo según los siguientes pasos:

- Reconocimiento general del terreno a medir, para ver la factibilidad de aplicación del método de levantamiento; buscar el vértice de RAC 2 que se utilizó de referencia y mediante el cual se logre tener visibilidad de la mayor área posible.
- Poner en estación el aparato: armar, centrar, nivelar, acerar y orientar. En este caso se realizó una orientación a dos puntos con coordenadas geodésicas conocidas, que corresponden a vértices de RAC 2 establecidos con anterioridad.
- Por último se realizaron las lecturas de acuerdo al método de radiaciones, el cual consiste en visar el vértice donde se encuentra ubicado el prisma, luego soltar el movimiento azimutal y realizar las radiaciones a través de disparos respectivos hacia el centro del prisma en todos los vértices del terreno a medir, para desarrollar las lecturas en los vértices observados y realizar las respectivas anotaciones o registros en el aparato.

#### **b) Medición de muestras**

Consistió en el muestreo llevado a campo para la determinación de las coordenadas de los puntos sobre la laguna, en la medición de la profundidad. Para este caso de estudio una vez ubicado en el punto de muestreo con la ayuda del sistema GPS que está incorporado en la ecosonda, se identificaron las coordenadas de cada punto de muestra en el sistema de coordenadas geográfico de nivel mundial con datum WGS 1984.

La ecosonda permite, mirada hacia abajo más sólida, cuenta con una pantalla de muy alta resolución de 5 pulgadas, un interno de 50 canales GPS y 300 vatios de potencia de salida del sonar. La frecuencia de funcionamiento del sonar se encuentra dentro del rango de 200 KHZ a 83 KHZ.

La ecosonda se instaló en una balsa de PVC marca Zodiak de 9 pies de largo para una carga máxima de 600 Kg. Se utilizó un motor fuera de borda marca Suzuki de 4 tiempos de 6 HP.

Una vez ubicado en las coordenadas de un punto de muestra se hizo la lectura respecto a la medida de la profundidad y se asignó a la coordenada del punto de muestra la profundidad resultante.

## **5.4 Fase de gabinete final**

### **5.4.1 Determinación morfológica y batimétrica del sistema lacustre**

#### **a) Mapa batimétrico**

Para la elaboración del mapa batimétrico, se utilizaron las coordenadas de cada profundidad, luego se procedió a plotear la información, a un formato vectorial de puntos, para su interpolación local con el programa ArcGIS 10.

La interpolación predice valores para las celdas que conforman un archivo formato ráster a partir de una cantidad limitada de puntos correspondientes a las muestra. La interpolación es una opción viable ya que los objetos distribuidos espacialmente están correlacionados, es decir, las cosas que están cerca tienden a tener características similares.

El método de interpolación utilizado en este estudio es a través de redes irregulares de triángulos (sus iniciales en inglés TIN), este método permite modelar diversas superficies del terreno de forma prácticamente idéntica a la realidad.

Las redes irregulares de triángulos son un medio digital para representar la morfología de la superficie del terreno puesto que permiten realizar cálculos de área de superficie y volumen. Además, son una forma de datos geográficos digitales basados en vectores y se construyen mediante la triangulación de un conjunto de puntos, que en este estudio corresponden a las muestras en las cuales se midieron las profundidades.

Utilizando redes irregulares de triángulos se obtuvo posteriormente un modelo digital de elevación del terreno, el cual constituye una forma de representación de la superficie del



terreno en formato de archivo raster; a fin de modelar de la mejor manera visual, la forma de la profundidad de la laguna del volcán.

## **b) Mapa geomorfológico**

Para la elaboración del mapa geomorfológico, se partió de la medición topográfica del perímetro de la laguna. La cual se descargó de la estación a través de su programa de manipulación Spektrum Link, en un formato de archivo compatible con el programa de sistemas de información geográfica ArcGIS 10.

Los datos de la medición luego de ploteados en el programa ArcGIS 10, fueron convertidos a formato de archivo vector para obtener el polígono que comprende el espejo de agua y proceder con el cálculo de las siguientes características morfológicas a identificar:

- Aspectos lineales  
Perímetro, ancho y longitud máxima del sistema lacustre.
- Aspectos de superficie  
Área, relación de forma.
- Aspectos relativos al relieve  
Profundidad promedio, profundidad máxima y mínima, volumen.

Las características lineales y de superficie se calcularon digitalmente con el software ArcGIS 10, a través del polígono en formato de archivo vectorial obtenido de la medición topográfica de la laguna.

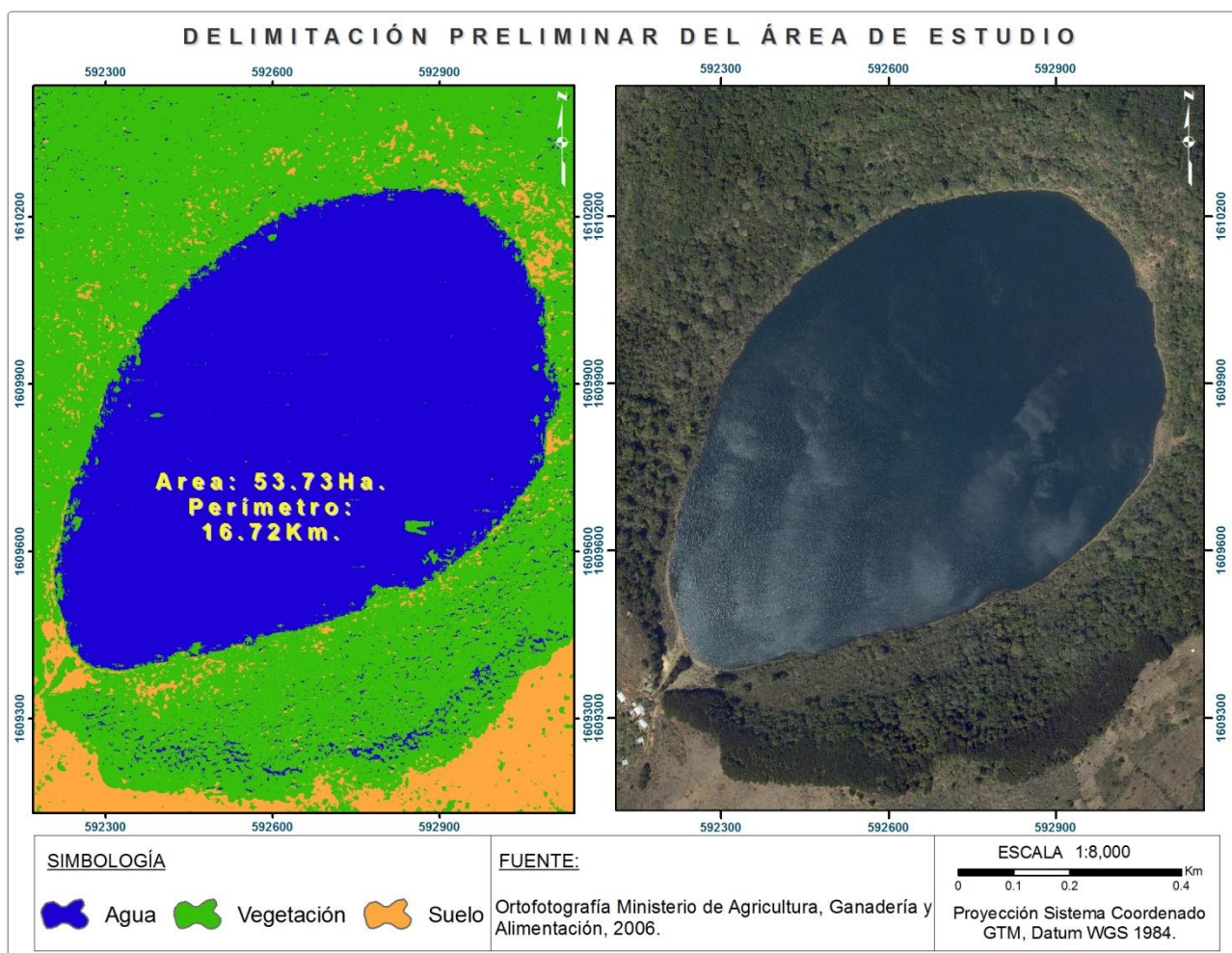
En cuanto a las características de relieve se calcularon digitalmente con el software de ArcGIS 10, mediante el modelo de elevación batimétrico del sistema lacustre obtenido con la interpolación mediante la red irregular de triángulos TIN, de las elevaciones correspondientes a las profundidades encontradas.

El cálculo de volumen se realizó con el método de diferenciales, lo cual permite a través de la herramienta TIN Difference del software ArcGIS 10, restarle a la red irregular de triángulos obtenida con las elevaciones de las profundidades (TIN de la batimetría), la red irregular de triángulos sin profundidades (TIN obtenido únicamente con las elevaciones del cráter al nivel del agua). Esto dio como resultado toda la superficie en la cual se diferencian ambos TIN, siendo ésta toda la profundidad a partir del nivel del agua de la laguna, traducándose en volumen con unidades de metros cúbicos.

## VI. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1 Delimitación preliminar del área de estudio

Se logró calcular el área y perímetro previo del cuerpo de agua, para poder analizar procesos referentes a las siguientes actividades y conocer la magnitud del proyecto. En la Figura 1, podemos observar que el área resultante es de 53.73 hectáreas y el perímetro es de 16.72 km.



**Figura 6.** Delimitación preliminar del área de estudio.

**Fuente:** Elaboración propia 2013, en base a la Ortofoto del -MAGA- 2006.

Luego de tener una delimitación previa del área de estudio, se determinó que la intensidad del muestreo de las profundidades responderá a más de cuatro muestras por hectárea,

según el estándar del Instituto de servicios Geológicos de los Estados Unidos -USGS-. (Rossiter 2004).

## 6.2 Establecimiento de la red de apoyo catastral de segundo orden

En el establecimiento de los vértices de la RAC 2, se obtuvo una precisión en la corrección diferencial de 3mm en la horizontal y 6.3 mm en la vertical. El vector más corto de las líneas base es de 7, 241. 98 distribuyendo el error que muestra el software en la horizontal del vector mencionado, se obtuvo una precisión de 0.42 mm por kilómetro cuadrado.

**Cuadro 4.** Distancia de vectores entre vértices de RAC.

Vértice RAC (de)	Vértice RAC (hacia)	Distancia m
RAC 2 2204001	RAC 2 2011002	666.22
RAC 22011002	RAC 2 2011001	745.69
RAC 2 2011001	RAC 2 2204001	940.21
RAC 1 Agua Blanca	RAC 2 2204001	12739.51
RAC 1 Agua Blanca	RAC 2 2211001	13394.85
RAC 1 Agua Blanca	RAC 2 2211002	13403.64
RAC 1 Ipala	RAC 2 2011001	7347.88
RAC 1 Ipala	RAC 2 2011002	7241.98
RAC 1 Ipala	RAC 2 2204001	7908.01

**Fuente:** Elaboración propia 2013.

Luego se procedió a obtener las coordenadas de los vértices de RAC 2; a continuación se muestra un cuadro conteniendo las coordenadas y nombre de los vértices de RAC 2 establecidos en el estudio.

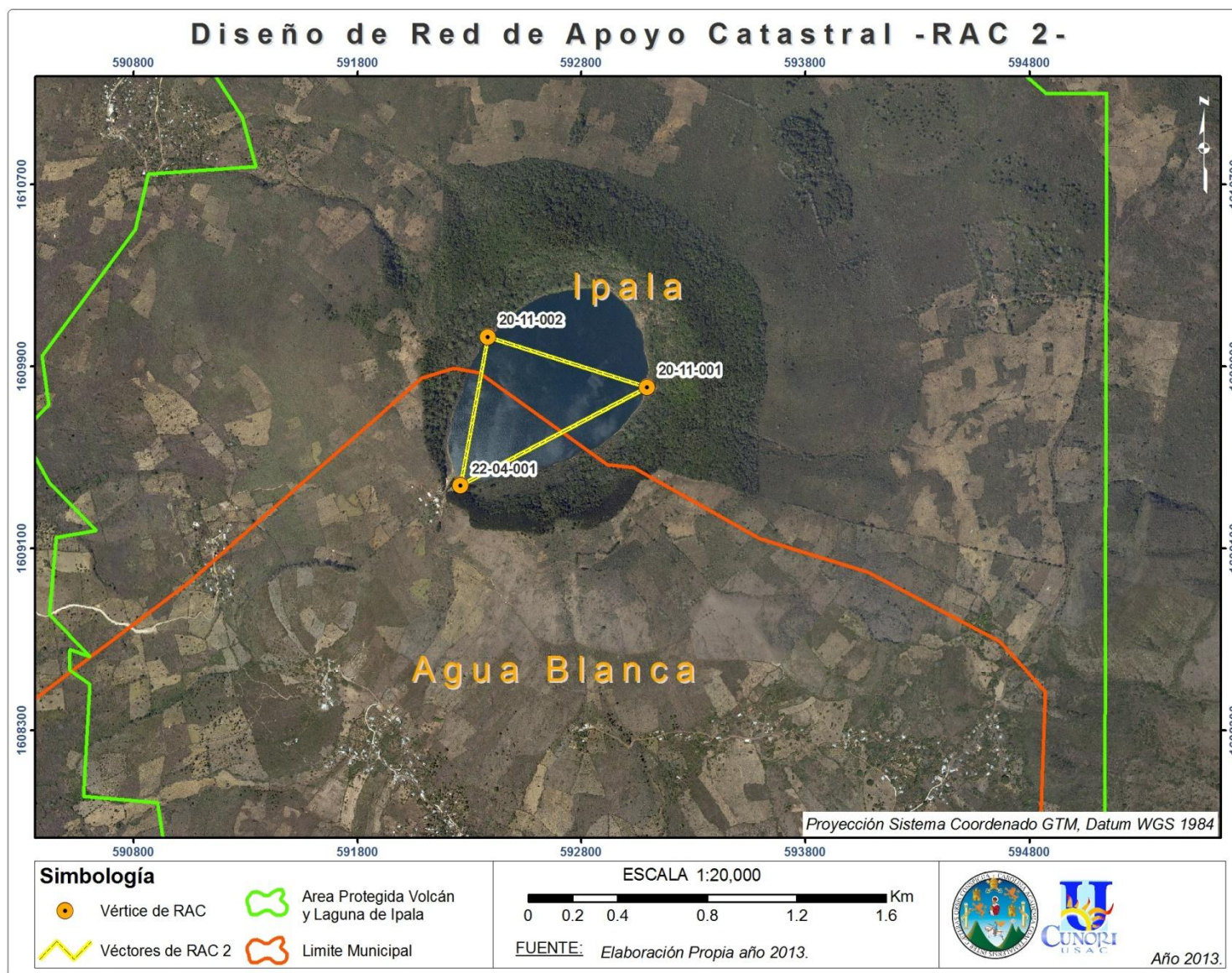
**Cuadro 5.** Vértices de la red de apoyo catastral de segundo orden

No.	Coordenada en Y	Coordenada en X	Elevación	Punto
1	1609809.27	593094.8	1490.6073	Vértice RAC 2 20-11-001
2	1609375.15	592260.46	1490.0263	Vértice RAC 2 22-04-001
3	1610030.29	592382.39	1488.8193	Vértice RAC 2 20-11-002

**Fuente:** *Elaboración propia 2013.*

Para la seguridad de la ubicación posterior de cada vértice de RAC 2, se establecieron dos referencias por vértice. Estas referencias son rótulos en piedras de tamaño considerable, bases de concreto y otros objetos identificados en el área, con la característica de ser permanentes en el área y de fácil observación (Apéndices 2 y 3).

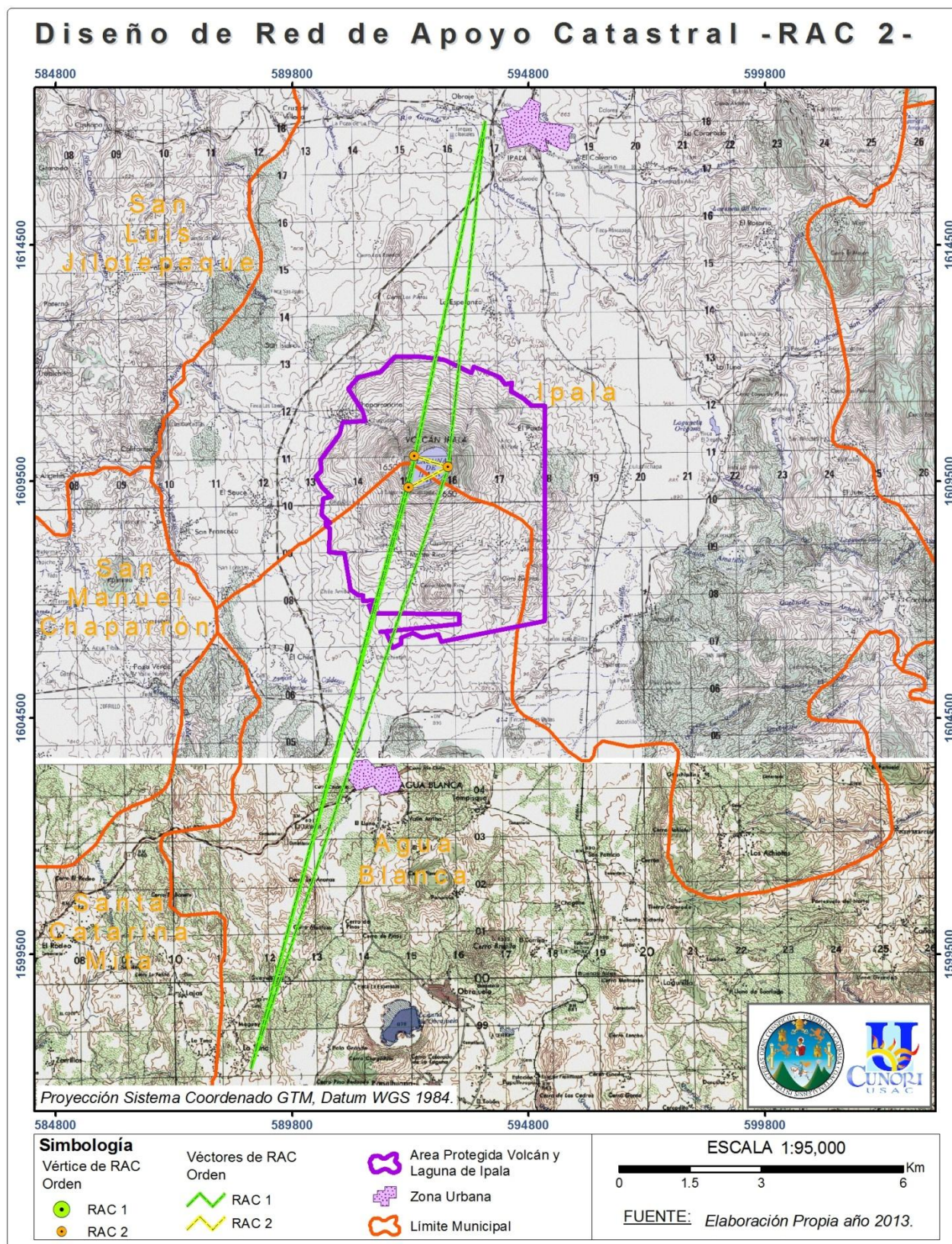




**Figura 7.** Red de apoyo catastral de segundo orden.

**Fuente:** *Elaboración propia 2013.*





**Figura 8.** Red de apoyo catastral de segundo orden y vértices de RAC 1.

**Fuente:** Elaboración propia 2013.

### 6.3 Medición del perímetro de la laguna

En esta fase los resultados obtenidos fueron, las coordenadas geodésicas de los vértices que conforman el perímetro y la forma del espejo del agua a través del trazo de una línea que la delimita (Apéndice 4).

En la medición topográfica se hizo necesario estacionar dos veces para poder observar y radiar todo el perímetro de la laguna, se radiaron 41 vértices, además se establecieron cinco bancos de marca que sirven de referencia a las estaciones establecidas y otros a los vértices de RAC 2 (Apéndice 3).

También se radiaron algunos puntos que visiblemente se encuentran a diferentes alturas de la topografía del cráter del volcán, la elevación que se obtuvieron y sus respectivas coordenadas se utilizaron de referencia para establecer el modelo de elevación digital del cráter.

**Cuadro 6.** Boleta topográfica de puntos de estaciones y puntos de referencia en la laguna del volcán de Ipala, Chiquimula.

No.	Coordenada en Y	Coordenada en X	Elevación	Punto
1	1609375.29	592260.7331	1490.2251	Banco de marca 1
2	1609368.49	592220.15	1494.5633	Banco de marca 2
3	1610029.84	592384.85	1488.1663	Banco de marca 3
4	1609809.24	593085.8	1488.0493	Banco de marca 4
5	1610030.27	592382.6081	1488.8614	Banco de marca 5
6	1609376.46	592262.04	1489.7593	Estación topográfica 1
7	1609470.67	592205.92	1490.8113	Estación topográfica 2
8	1610031.58	592378.9	1490.1133	Referencia de Vértices RAC 2
9	1609813.3	593092.76	1489.9623	Referencia de Vértices RAC 2
10	1609806.07	593091.55	1489.9193	Referencia de Vértices RAC 2
11	1609409.82	592202.47	1494.0353	Referencia de cota
12	1609335.2	592189.77	1497.4023	Referencia de cota
13	1609809.269	593094.7992	1490.6673	Referencia de cota

**Fuente:** Elaboración propia 2013.



## **6.4 Medición de las profundidades**

En la medición de las profundidades se obtuvo como resultado 2,565 lecturas de puntos muestreados. Las lecturas se realizaron en el mes de mayo del presente año. Las coordenadas resultantes de los puntos de muestra medidos, pertenecen a la carrera de Ingeniería en Administración de Tierras del Centro Universitario de Oriente -CUNORI-, por lo tanto no se muestran a detalle en el presente documento, no obstante el acceso a las mismas puede solicitarse a la carrera académica antes mencionada.

En la laguna el nivel de agua es variable aún más en temporada de lluviosa, ya que la acumulación por precipitación y por esorrentía provoca un aumento del nivel, por otra parte, existen comunidades que actualmente aún se abastecen del agua por medio de sistemas de bombeo con motores de diesel y tuberías de pvc, lo que provoca que además de la evaporación que tiene la laguna directamente, se extrae una gran cantidad de agua para consumo humano, así disminuye el nivel de agua recuperado por la época lluviosa; por lo tanto se puede decir que tiene un nivel flotante o variable, motivo por el cual se tomaron medidas del nivel existente del agua los días de lecturas de las profundidades, como referencia.

Para las medidas de referencia del nivel de laguna en el día de lectura de profundidades, se utilizó una escala numérica de acero que se encuentra sumergida en la laguna. Esta escala la estableció el -INSIVUMEH- (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología) en la década de los noventa para realizar medidas de aumento de nivel después de cada precipitación en el área. (Según entrevista a pobladores del área, quienes realizaban las lecturas).

## **6.5 Determinación batimétrica**

Para la determinación batimétrica se compensaron los datos con respecto a la escala de medida del -INSIVUMEH-, utilizando un factor que convirtió las profundidades negativas de la ecosonda en elevaciones (msnm).

Se radio la parte sobresaliente de la escala numérica con la estación total, luego las radiaciones hechas con la estación total se compensaron con los vértices de la RAC 2, obteniendo así la elevación (msnm) de cada radiación.

Con ello se obtuvo la elevación (msnm) de la escala que para el estudio es la referencia del nivel del agua. Los días que se realizaron medidas de profundidades se hizo una lectura de la parte sobresaliente del acero de la escala hacia el nivel del agua.

Posteriormente las medidas de la escala al nivel del agua se promediaron y el resultado se le restó a la elevación obtenida de la compensación realizada con los vértices de RAC 2, dando como resultado el nivel del espejo de agua del sistema lacustre utilizado de referencia base en el estudio, siendo este de 1,486 msnm.

Por último al nivel del espejo de agua obtenido, se le resto cada una de las profundidades obtenidas con la ecosonda, convirtiéndolas así en elevaciones (msnm).

El resultado final es un modelo de elevación de la laguna correspondiente a la batimetría de la misma en archivo tipo raster de formato “Grid” con una resolución espacial de 0.4 metros. Además un modelo de elevación de la laguna y cráter del volcán de Ipala, en archivo tipo raster de formato “Grid” con una resolución espacial de 15 metros.

La información restante en cuanto a la elevación del cráter se obtuvo a través del modelo de elevación digital global creado a partir de imágenes con una resolución espacial de 15 metros, captadas por el sensor japonés ASTER, lanzado en el mes de junio del año 2009 a bordo de la nave espacial Terra. El software que se utilizó para la obtención de las elevaciones del cráter del volcán es el Global Mapper de Esri.

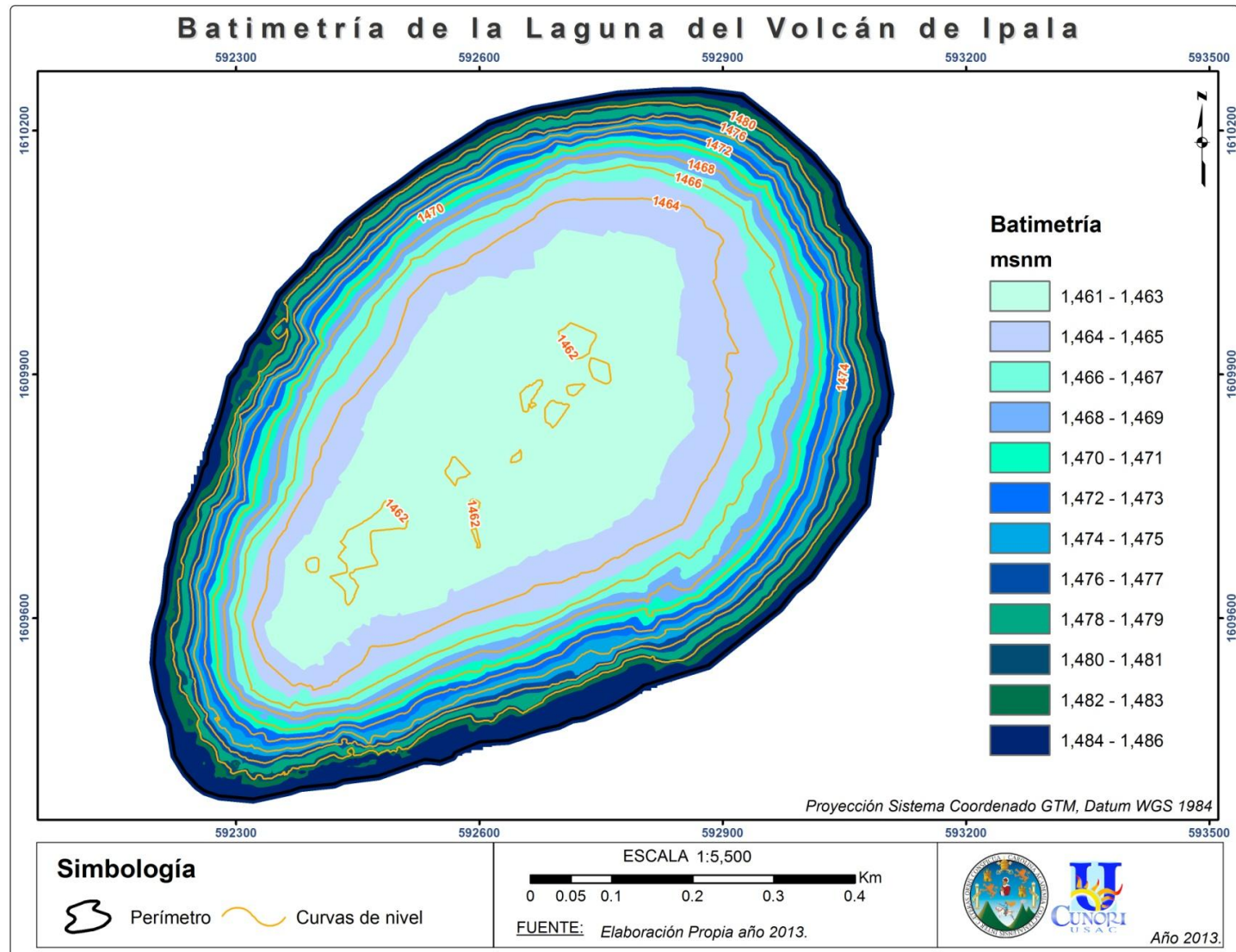
Para poder unir correctamente las elevaciones obtenidas de la profundidad de la laguna con las del cráter del volcán, generadas a partir de las imágenes de satélite de alta resolución, se tomaron en campo algunas referencias en el cráter del volcán para poder validar la información, obteniendo como resultado el modelo de elevación digital del cráter y laguna del volcán de Ipala.

En el siguiente cuadro se muestra, el porcentaje que ocupa cada rango de profundidad, en cuanto al área que cada uno cubre en el sistema lacustre.

**Cuadro 7.** Porcentajes de áreas por rango de profundidad.

No.	Rango	Profundidad m	Profundidad acumulada m	Área m <sup>2</sup>	Porcentaje %
12	1484 - 1486	2	2	38961.15	6.91
11	1482 - 1483	2	4	16370.86	2.90
10	1480 - 1481	2	6	19621.89	3.48
9	1478 - 1479	2	8	20586.38	3.65
8	1476 - 1477	2	10	23317.41	4.14
7	1474 - 1475	2	12	29262.51	5.19
6	1472 - 1473	2	14	30713.93	5.45
5	1470 - 1471	2	16	33782.82	5.99
4	1468 - 1469	2	18	37998.72	6.74
3	1466 - 1467	2	20	54455.24	9.66
2	1464 - 1465	2	22	104167.04	18.48
1	1461 - 1463	3	25	154450.31	27.40

**Fuente:** Elaboración propia 2013.



**Figura 9.** Mapa batimétrico de la Laguna del Volcán de Ipala.

**Fuente:** elaboración propia 2013.

## 6.6 Determinación de características morfológicas

Las características morfológicas que se determinaron en el estudio son las siguientes:

### 6.6.1 Aspectos lineales:

- El perímetro que comprende a la laguna es de 2, 806.10 metros.
- El ancho máximo del sistema lacustre es de 722 metros (Figura 10).
- El Largo máximo es de 1,081.29 metros (Figura 10).

### 6.6.2 Aspectos de superficie:

- El área que comprende al sistema lacustre es de 560, 397.16 metros cuadrados.
- La relación de forma se calculó a través del coeficiente de compacidad, determinado por la siguiente fórmula:

$$Kc. 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Como resultado se obtuvo un coeficiente de compacidad de 1.057, equivalente a 1 lo cual significa que la forma es circular.

### 6.6.3 Aspectos relativos al relieve:

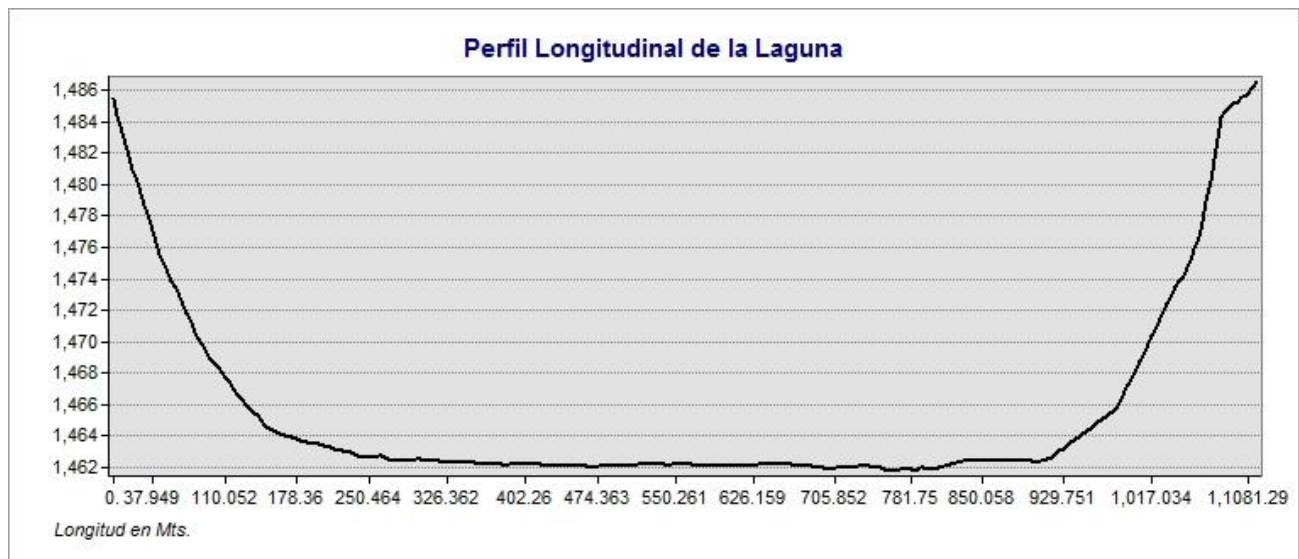
- La elevación máxima de la laguna es de 1, 486 msnm (Figura 9).
- La elevación mínima de la laguna es de 1, 461 msnm (Figura 9).
- La elevación media de la laguna es de 1, 469 msnm (Figura 9).
- El volumen del cuerpo de agua corresponde a 11, 674,634.06 metros cúbicos, lo que equivale a 1, 167, 4634,060 litros de agua.

Con la diferencia entre la elevación máxima 1, 486 msnm y la elevación mínima 1, 461 msnm, se obtuvo la profundidad máxima del sistema lacustre la cual corresponde a 25 metros.

Según el cuadro 7. Porcentajes de áreas por rango de profundidad, se observa que el rango entre 1, 461 a 1, 463 msnm, es el rango que ocupa el 27.40% de área y que alcanza la profundidad máxima de 25 metros.

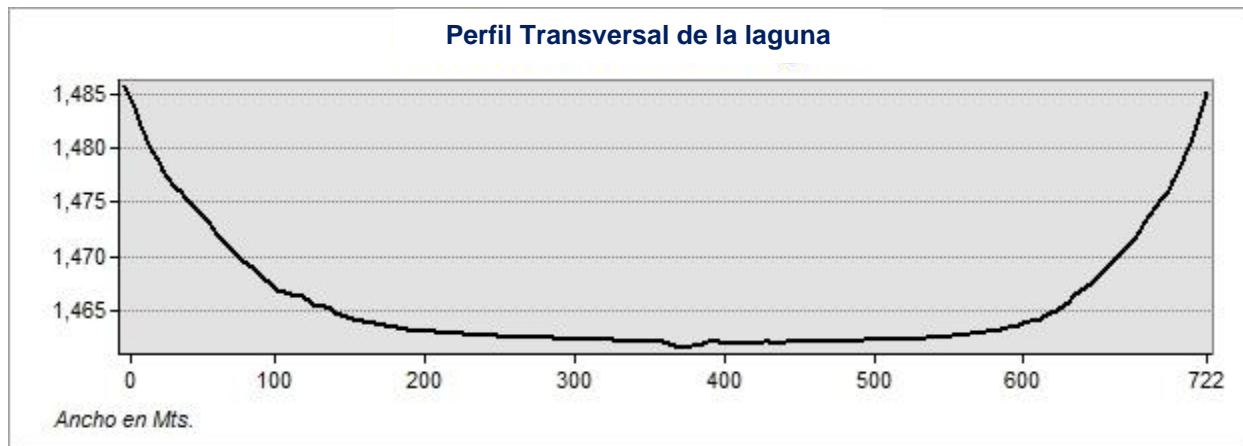
En las siguientes gráficas de perfiles longitudinal y transversal, se observa que en el rango de profundidad entre 1, 461 a 1, 463 msnm, se torna en el eje de la línea una horizontal. Esto muestra que la forma del reservorio del sistema lacustre corresponde a la naturaleza volcánica que lo caracteriza, con una pronunciada pendiente de las orillas hacia el centro de la laguna, tomando como centro de la laguna el rango de profundidad entre 1, 461 a 1, 463 msnm.

**Figura 10.** Perfil longitudinal de la laguna del volcán de Ipala.



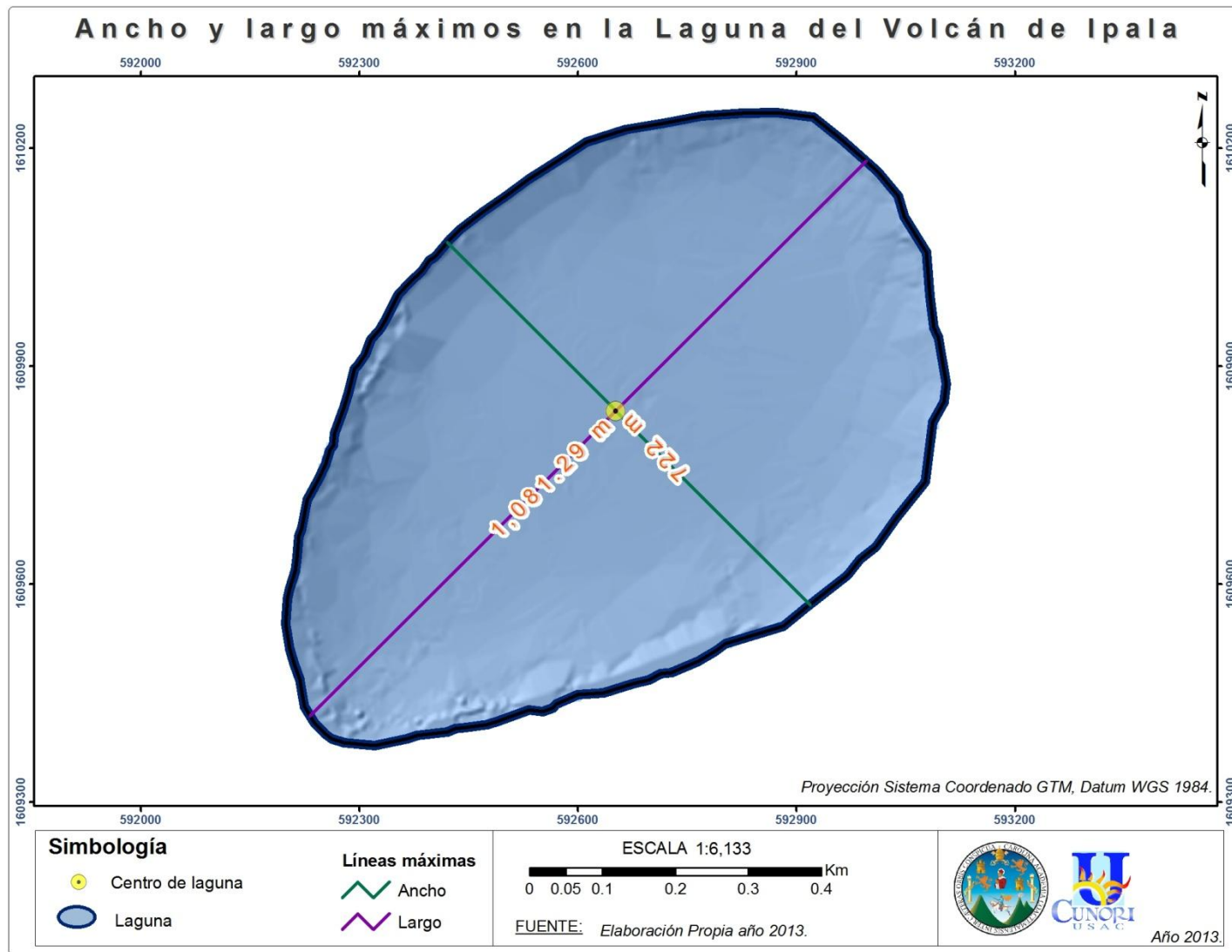
**Fuente:** Elaboración propia 2013.

**Figura 11.** Perfil transversal de la laguna del volcán de Ipala.



**Fuente:** Elaboración propia 2013.

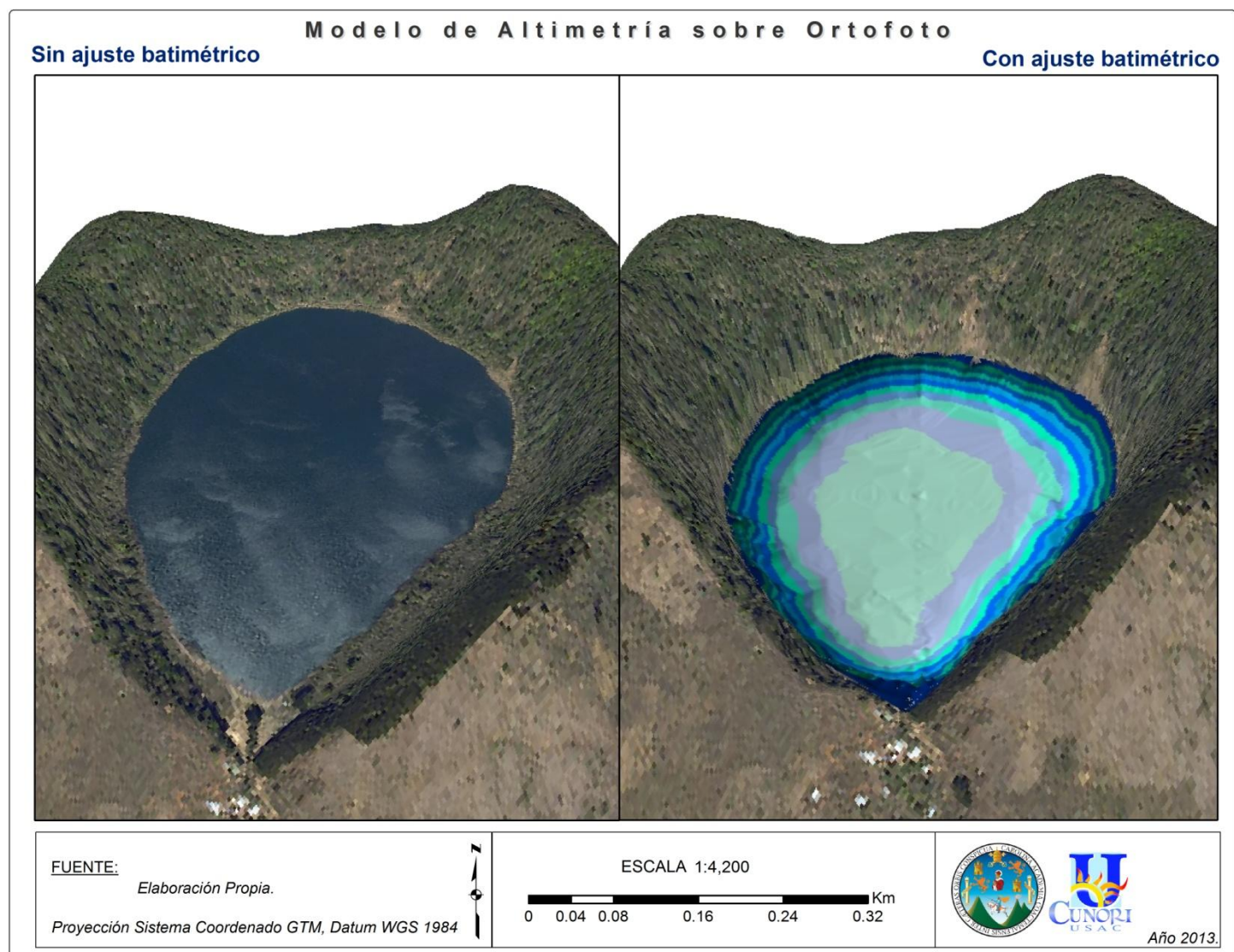
Con la elevación máxima resultante del parte aguas la cual es de 1,650 msnm, a diferencia de la elevación del nivel del espejo de agua que son 1,486 msnm, obtenemos una altura de 164 metros del sistema lacustre a la cima del volcán (Figura 12).



**Figura 12.** Mapa de identificación del largo y ancho máximos en la laguna del volcán de Ipala.

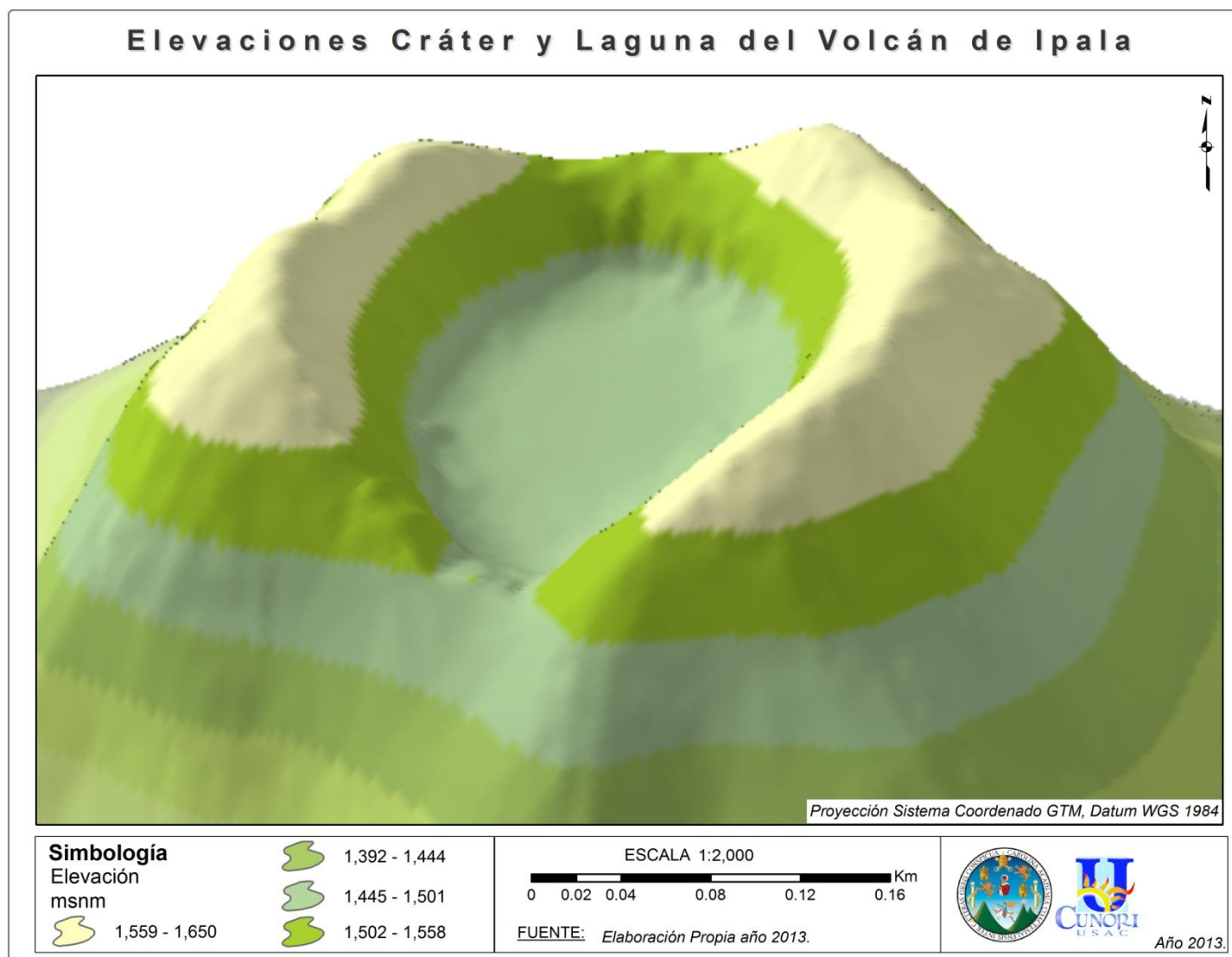
**Fuente:** Elaboración propia 2013.





**Figura 13.** Mapa de comparación del modelo altimétrico en relación al ajuste batimétrico.

**Fuente:** *Elaboración propia 2013.*



**Figura 14.** Mapa de elevaciones del cráter y laguna del volcán de Ipala.

**Fuente:** Elaboración propia 2013.

## VII. CONCLUSIONES

- La precisión obtenida en el establecimiento de la red de apoyo catastral de segundo orden en el cráter del volcán de Ipala es de 0.42 mm por kilómetro cuadrado, es decir que califica para dar posición a poligonales que se pretendan establecer en comunidades aledañas al área protegida así como también otros estudios que se realicen en el volcán como la zonificación del área protegida.
- Los parámetros morfológicos de la laguna del Volcán de Ipala que se establecieron en el presente estudio fueron: Un perímetro de 2,806.10 metros, ancho máximo de 722 metros y largo máximo de 1,081.29 metros. El área es de 560,397.16 metros cuadrados, con un coeficiente de compacidad de 1.057, lo que significa que la forma predominante es Circular.
- El modelo de elevación digital de la laguna del volcán de Ipala comprende una elevación máxima de 1, 486 msnm y una elevación mínima de 1, 461 msnm, estableciendo con ello la profundidad máxima del sistema lacustre la cual es de 25 metros.
- De acuerdo al perfil de la laguna del volcán de Ipala en el eje de la longitud máxima las profundidades mínimas de 1, 462 msnm oscilan entre las longitudes de 350 a 800 metros; en la línea del ancho máximo las profundidades mínimas de 1, 465 msnm se encuentran entre los anchos de 300 a 500 metros.
- El volumen resultante de la determinación batimétrica es de 11, 674,634.06 metros cúbicos, lo que equivale a 1, 167, 4634,060 litros de agua. Tomando los 240,000 litros de agua diarios que se le extraen a la laguna para consumo, según García, HO. 2005, disminuye en su volumen 240 metros cúbicos diariamente, sin tomar en cuenta parámetros de recarga al sistema lacustre.

- Se produjo un modelo de elevación digital del cráter y la laguna del volcán de Ipala, que comprende una altura sobre el nivel del mar mínima de 1, 461 msnm y una máxima de 1, 650 msnm, con curvas a nivel de 2 metros de intervalo, de resolución espacial de 15 metros; el cual estará disponible para su manejo espacial a los usuarios en archivo raster formato Grid.
- Una metodología para la elaboración de mapas topográficos de sistemas lacustres pequeños se ha generado con el presente estudio, conformando una red de apoyo catastral de segundo orden, especificando la medición del espejo de agua, determinando las profundidades por medio de ecosonda y los métodos de posproceso de datos medidos y levantados en campo a través de la cual se obtiene información georeferenciada con el sistema de coordenadas planimétricas nacional y elevaciones en metros sobre el nivel del mar.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar un monitoreo de profundidades inmediatamente después de la temporada lluviosa (meses de noviembre a abril) para determinar el grado de recarga por acumulación de agua precipitada en el sistema lacustre.
- Es recomendable en estudios batimétricos de sistemas lacustres pequeños determinar o fijar un objeto con escala numérica, que una parte del mismo se encuentre sumergida para utilizarlo de referencia y poder realizar medidas en las diferencias de niveles.
- Para otros estudios en el perímetro del área protegida y comunidades aledañas que necesiten una posición en coordenadas de cualquier objeto, se recomienda utilizar la red de apoyo catastral de segunda orden, establecida en el cráter del volcán a través de este estudio.
- La posición de puntos geodésicos se debe realizar en días no muy nublados, porque se puede tener como resultado transmisiones erróneas de los satélites lo cual perjudicaría en la precisión del levantamiento.
- Antes de establecer la ubicación de un vértice geodésico, tomar en cuenta que debe de estar a 50 metros de cualquier obstrucción tales como espejos de agua, estructuras metálicas, líneas de transmisión de energía, entre otros que establece el manual de normas técnicas y procedimientos catastrales del Registro de Información Catastral.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, GT). 2005. Plan maestro del área de usos múltiples “Volcán y Laguna de Ipala - Agua Blanca”. Guatemala. 70 p.
- \_\_\_\_\_. 2004. Política de co-administración en áreas protegidas. Guatemala. 21 p.
- Congreso de la República de Guatemala. 1989. Ley de áreas protegidas, decreto 4-89. Guatemala, CALAS. 13 p.
- \_\_\_\_\_. 1998. Ley de creación del área protegida del volcán y la laguna de Ipala, decreto 7-98. Guatemala, CALAS. 6 p.
- España, N. 1995. Batimetría y análisis morfométrico del lago de Arreo. España, Universidad Autónoma de Madrid. 4 p.
- García Álvarez, D. 2008. Sistema GNSS (global navigation satellite system). España, Universidad Autónoma de Madrid, Escuela Politécnica Superior. 124 p.
- García García, HO. 2005. Caracterización de la laguna de Ipala mediante un monitoreo continuo en época de estiaje y lluviosa, proyecto 26-2003. Guatemala, FODECYT. 34 p.
- Hernani, TA; Ramírez, JJ. 2002. Aspectos morfométricos y teóricos de un embalse tropical de alta montaña: represa La Fé, El Retiro, Colombia. Colombia, Universidad de Antioquia, Instituto de Biología. 8 p.
- Hillesheim, D. 2003. Mapa batimétrico del lago Petén Itzá, Guatemala. Guatemala, Universidad de Florida. 23 p.
- Humminbird, USA. 2013. Teoría de sondeo (en línea). Estados Unidos. 20 p. Consultado 12 jul. 2012. Disponible en <http://humminbird.es>

- INE (Instituto Nacional de Estadística, GT). 2003. Población y locales de habitación particulares censados según departamento y municipio. Guatemala. 38 p.
- López Paredes, LA. 2008. Estudio limnológico del lago de Guija, determinación de su estado de eutrofización. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 89 p.
- MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2006. Otofoto de la laguna del volcán de Ipala. Chiquimula, GT, SIG-CUNORI. Escala 1:10,000. Bandas de color RGB.
- RIC (Registro de Información Catastral, GT). 2008. Manual de normas técnicas y procedimientos catastrales del RIC. Guatemala. 100 p.
- Rossiter, DG. 2004. Metodologías para el levantamiento del recurso suelo. Trad. Vargas Rojas. Holanda, ITC. 145 p.
- Universidad Politécnica de Valencia, ES. 1995. Levantamientos y seguimientos topobatimétricos en ingeniería de costas (en línea). Revista Ingeniería del Agua 2 (número extraordinario): 181-200. Consultado 3 jul. 2012. Disponible en <http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/3772/1/article12.pdf>
- Wolf, P.; Ghilani, C. 2008. Topografía. 11 ed., México. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. 952 p.



## **X. APÉNDICES**



## Apéndice 1. Solicitud de dos bases nivelantes al Registro de Información Catastral.



DETERMINACIÓN MORFOLÓGICA Y BATIMÉTRICA DE LA LAGUNA DEL  
VOLCAN DEL MUNICIPIO DE IPALA, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA  
FODECYT 55-2012



Chiquimula 22 de Marzo de 2013

Ing. Edwin Joel Vásquez Morales  
Registro de Información Catastral  
Chiquimula

Por medio de la presente me dirijo a usted deseándole mucho éxito en cada una de sus actividades a realizar.


El motivo de la presente es para hacer una solicitud de equipo que utilizaremos en una de las actividades de la fase de campo, correspondiente al proyecto **FODECYT 55-2012**. La actividad consta del posicionamiento de cuatro puntos geodésicos en el cráter del Volcán del municipio de Ipala, las cuales servirán de referencia para la medición topográfica del perímetro de la laguna del volcán y la medición batimétrica de la misma.

Para el posicionamiento utilizaremos dos vértices de la red pasiva nacional del Instituto Geográfico Nacional -IGN-, por lo tanto estaremos haciendo uso de 6 receptores GPS+ de doble frecuencia modelo HiPer Lite de marca Topcon cada uno con su base nivelante.

La carrera de Ingeniería en Administración de Tierras de CUNORI proporcionará los seis receptores a utilizar y cuatro bases nivelantes, motivo por el cual solicitamos al Registro de Información Catastral dos bases nivelantes para completar el equipo y llevar a cabo la actividad con éxito.

Sin otro particular, agradeciendo su colaboración a la presente solicitud, de usted;

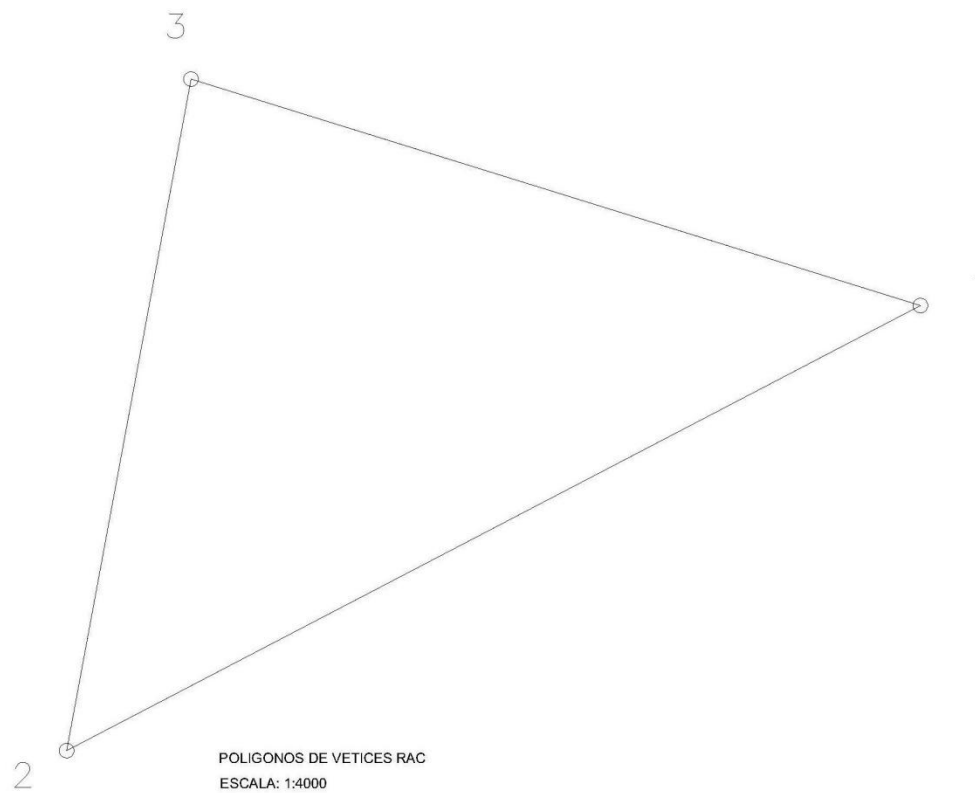
Atentamente,

  
**Maris Arellis España Estrada**  
Asistente de Investigación  
PROYECTO FODECYT No.055-2012

  
Recibido  
22-03-2013.

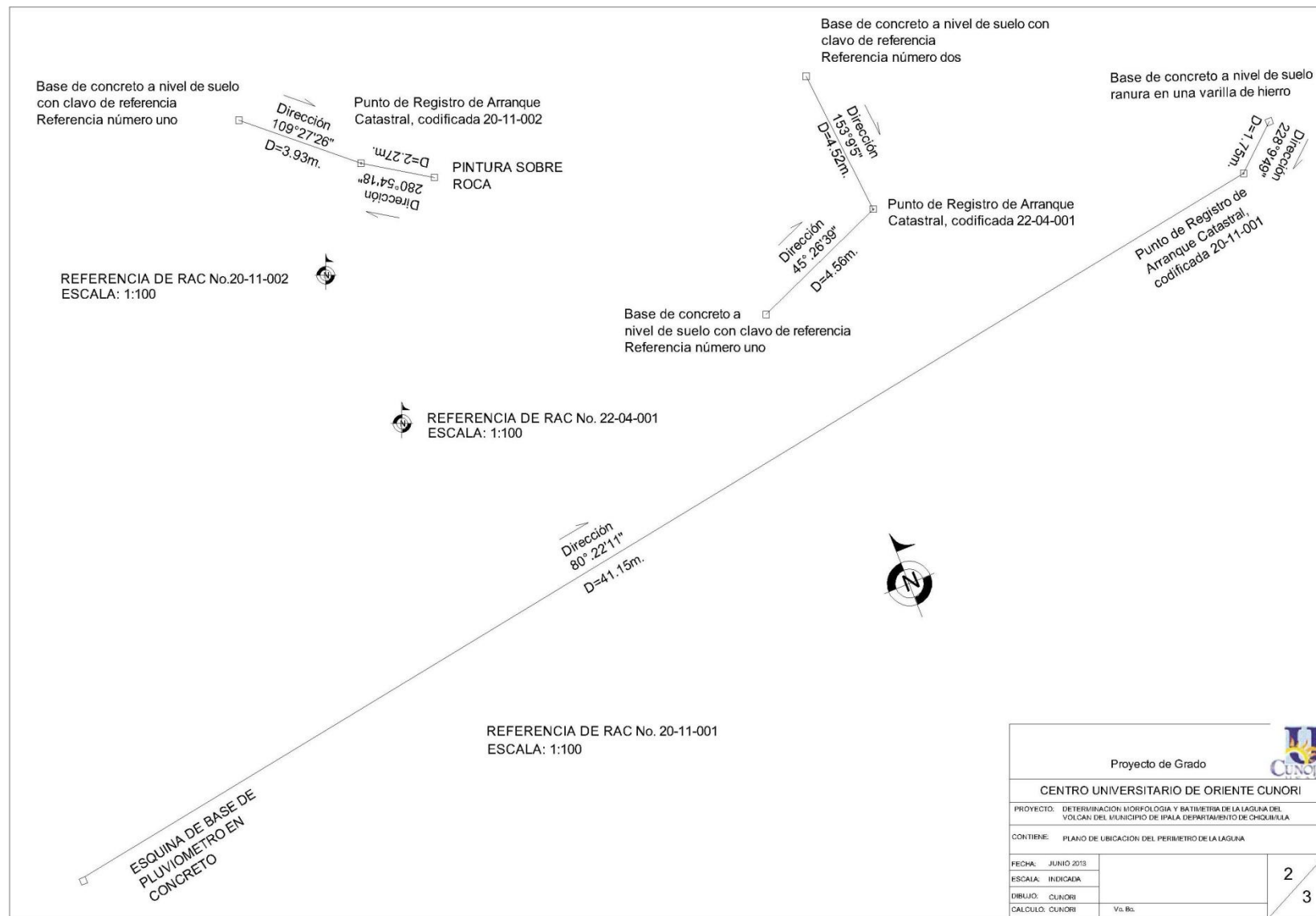
## Apéndice 2. Diseño de red de apoyo catastral de segundo orden.

LADO	RUMBO	DISTANCIA	AZIMUT	VERT.	VERTICE DE RAC 2	ANG.INT.	Y	X
1-2	S 62°30'40.43" W	940.214	242°30'40.43"	1	20-11-001	44°43'42.63"	1,609,809.2690	593,094.7981
2-3	N 10°32'26.62" E	666.222	10°32'26.62"	2	22-04-001	51°58'13.81"	1,609,375.2900	592,260.7331
3-1	S 72°45'36.95" E	745.692	107°14'23.05"	3	20-11-002	83°18'3.57"	1,610,030.2700	592,382.6081

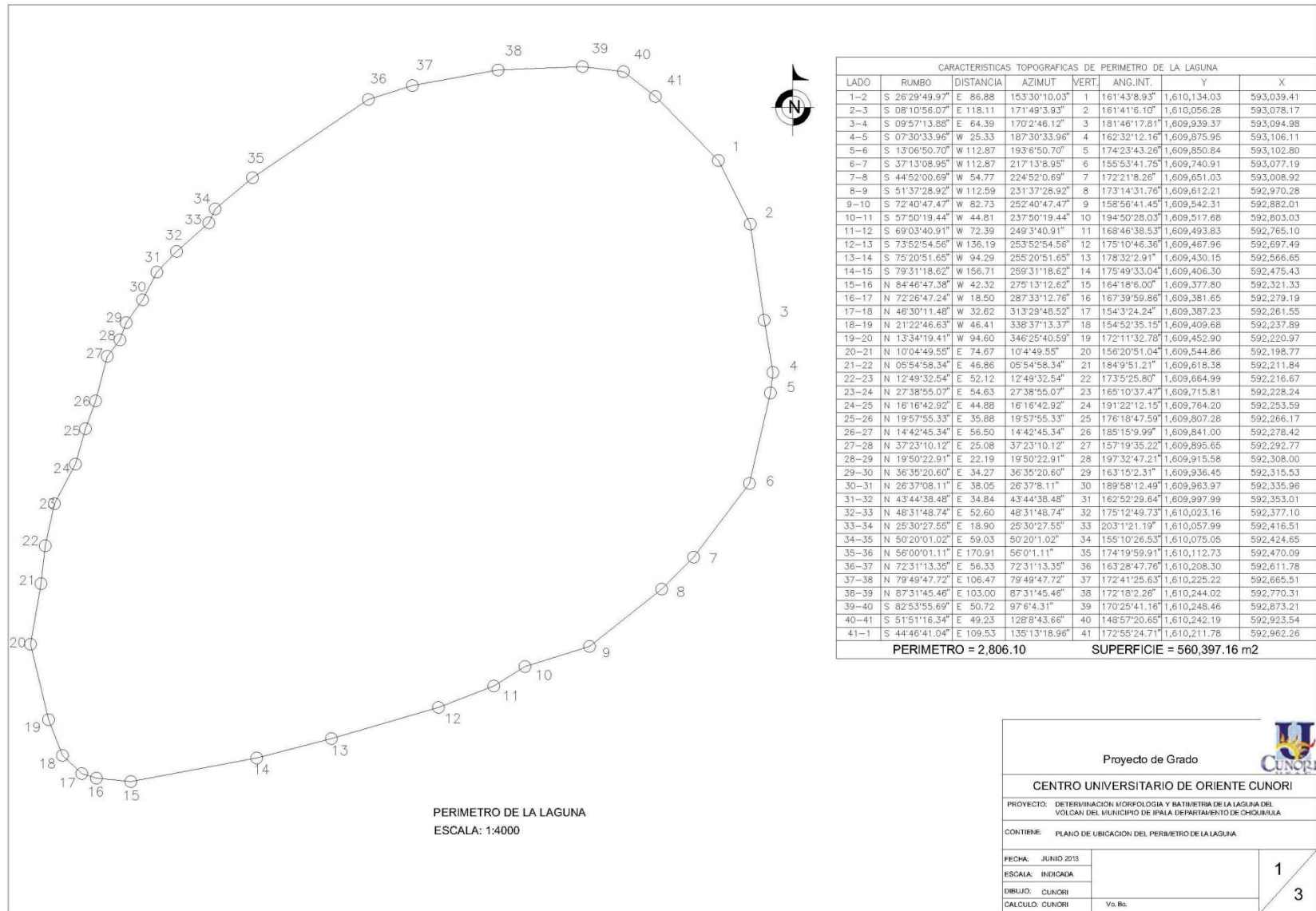


Proyecto de Grado		
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE CUNORI		
PROYECTO: DETERMINACIÓN MORFOLOGÍA Y BATIMETRÍA DE LA LAGUNA DEL VOLCAN DEL MUNICIPIO DE IPALA DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA		
CONTIENE: POLIGONO DE VERTICES RAC		
FECHA: JUNIO 2013		3 3
ESCALA: INDICADA		
DIBUJO: CUNORI		
CALCULO: CUNORI	Vs. Bs.	

### Apéndice 3. Referenciales de los vértices de la red de apoyo catastral de segundo orden.



## Apéndice 4. Perímetro de la laguna del volcán de Ipala.



## Apéndice 5. Cronograma de actividades.

### Determinación morfológica y batimétrica de la laguna del volcán del municipio de Ipala.

<b>Cronograma de actividades año 2013</b>	Primer mes Mayo				Segundo mes Junio				Tercer mes Julio				Cuarto mes Agosto				Quinto mes Septiembre			
Actividad/Semanas	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2		
Delimitación preliminar del área de estudio.																				
Determinación de puntos de muestreo para la medición de profundidades.																				
Establecimiento de puntos de apoyo catastral.																				
Medición topográfica del perímetro																				
Muestreo y medición de variables para la determinación morfológica y batimétrica del sistema lacustre.																				
Determinación morfológica y batimétrica del sistema lacustre.																				
Redacción y Presentación del informe final																				

## **XI. ANEXOS**

## Anexo 1. Carta de reunión con personas de -CONAP-.



### A QUIEN INTERESE:

Por este medio La Dirección Regional Sur Oriente del Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-, hemos participado en reuniones donde se ha planteado realizar diferentes investigaciones en el Área Protegida Área de Usos Múltiples Volcán y Laguna de Ipala (entre los Departamentos de Chiquimula y Jutiapa), por lo que en esta oportunidad al habernos expuesto el interés de realizar la investigación denominada: **"Determinación de la Morfometría y Batimetría de la Laguna del Volcán de Ipala"**, por parte del Ingeniero Marlon Bueso, llegamos al consenso de apoyar dicha investigación ya que los resultados de esta serían de mucha utilidad en los procesos de conservación del área.

Y PARA LOS USOS LEGALES QUE AL INTERESADO CONVENGAN  
EXTIENDO FIRMO Y SELLO LA PRESENTE A LOS VEINTICUATRO DÍAS DEL MES  
DE MAYO DEL AÑO DOS MIL DOCE.









Ing. Julio César Castro Salguero  
Director Regional  
CONAP Sur Oriente  
Jutiapa

c.c. Archivo

DIRECCIÓN REGIONAL  
5ta Avenida 7-50 Zona 1 Barrio Latino Jutiapa.  
TELE-FAX.: 7844 6160









## Anexo 2. Estación geodésica Ipala.

			
Estación		Orden	
IPALA			
Latitud	14° 37' 22.20870" N	Longitud	89° 37' 42.28038" W
Sistema de Referencia Geodésico		WGS84 EPOCA 2011.30	
Norte (Y)	1,618,251.0914 m.	Este (X)	216,849.7085 m.
Zona y Proyección		16 UTM	
Norte (Y)	1,617,114.3797 m.	Este (X)	593,886.4872 m.
Zona y proyección		15.5 GTM	
Altura Elipsoidal:	806.8507 m.	Elevación:	
Orden:		Datum:	
		Puerto de San José 1949 / 50	
Características de la marca		Estampado	
Ficha de bronce de 6 cms., de diámetro, incrustada en monumento de concreto tipo piramidal con ficha subterránea		IPALA GPS IGN 2,005	
Referencia No. 1:	Referencia No. 2:	Referencia No. 3:	Referencia No. 4:
Az. 135° a mts.	Az. 230° a mts.	Az. ° a mts.	Az. ° a mts.
Localización	Dep. De Chiquimula, Municipio de Ipala.		Trabajo
		GEODESIA-IGN	
<b>Acceso:</b> Partiendo de Chiquimula con rumbo hacia Esquipulas recorrer 7 km. Tome la carretera al lado derecho con rumbo hacia Ipala, recorra aproximadamente 24 km. Y en el vértice sur del triángulo formado por la bifurcación de carreteras, entrada a Ipala se localiza el vértice geodésico, al pie de un rotulo de concreto donde se lee Bienvenidos a Ipala.			
MAPA DE REFERENCIA		CROQUIS	
			
			
Posicionada por: H. Muñoz, W. Castañeda		Reposicionada por: L. Sandoval y J.C. Contreras	
Fecha: Septiembre - 2003		Fecha: Abril de 2011.	



### Anexo 3. Estación geodésica La Tuna.

			
Estación		Orden	
LA TUNA			
Latitud	Longitud	Sistema de Referencia Geodésico	
14° 26' 30.94776° N	89° 40' 30.45976° W	WGS84 EPOCA 2011.30	
Norte (Y)	Este (X)	Zona y Proyección	
1.598.282.6612 m	211.573.1020 m	16 UTM	
Norte (Y)	Este (X)	Zona y proyección	
1.597.081.5420 m	588.320.2457 m	15.5 GTM	
Altura Elipsoidal:	Elevación:	Orden:	Datum:
996.5242 m	MSNM	1er.	Puerto de San José 1949 / 50
<b>Características de la marca</b> Ficha de bronce de 0.07 m de diámetro, incrustada en monumento de concreto tipo piramidal con plataforma de 0.60 x 0.60 m. y 0.40 de alto tiene subterráneo.		<b>Estampado</b>	
		LA TUNA - GPS - IGN - 2005	
Referencia No. 1:	Referencia No. 2:	Referencia No. 3:	Referencia No. 4:
Azimut 10° a 4.35 mts	Azimut 285° a 21.50 mts	Azimut ° a mts.	
<b>Localización</b> Depto. Jalapa, Municipio Agua Blanca, lugar aldea La Tuna, en terrenos de don Vitalino de Jesús Folgar Guerra		<b>Trabajo</b>	
		GEODESIA-IGN	
<b>Acceso</b> Partiendo del municipio de Agua Blanca, frente a Bannur, tome la ruta que conduce a la aldea La Tuna, recorra 6 km, aprox, pasando por Guayabito siga hasta llegar a la Escuela de la Aldea la Tuna, llegando a la cancha de Basquetbol encontrará una bifurcación, cruce a la derecha y luego a la izquierda como a 300 mts. se localiza la casa de don Vitalino Fogar Guerra quien es el dueño del terreno donde se localiza la estación.			
MAPA DE REFERENCIA		CROQUIS	
			
			
Posicionada por:		Reposicionada por: M.Celada A. Fernandez	
Fecha: Septiembre - 2005		Fecha: Abril 2011	

**Anexo 4.** Carta de donación de ficha geodésica por el -RIC-.



PARA: Maris Arelis España Estrada  
Técnico SIG  
CUNORI Chiquimula

DE: Melvin Vinicio Jarquín Castillo  
Técnico Control de Calidad  
Jocotán Chiquimula.

Vo. Bo. Marvin Joel Vásquez Morales  
Gerente de Contrato a.i.  
-RIC- Zacapa-Chiquimula

ASUNTO: Entrega Ficha de Bronce

FECHA: 19/03/2,013

Por medio de la presente hago entrega de una ficha de Bronce de 7 cm de Diámetro para el establecimiento de un punto de Red de Apoyo Catastral 2, en el municipio de Ipala Chiquimula, como parte del apoyo al establecimiento de esta red, para el Proyecto No. 55-2012 de SENACYT con el Centro Universitario de Oriente (CUNORI).

Atentamente:

OFICINAS RIC CHIQUIMULA: KM 172 Carretera a Esquipulas, Chiquimula  
PBX: (502) 7942-4553 FAX: (502) 7942-3215  
[www.ric.gob.gt](http://www.ric.gob.gt)

## Anexo 5. Boleta de control de observaciones GPS.



**REGISTRO**  
DE INFORMACIÓN  
CATASTRAL

Construyendo la seguridad jurídica de la tierra

### CONTROL DE OBSERVACIONES GPS

<b>Departamento</b>		<b>Municipio</b>	
<b>Fecha</b>		<b>Estación</b>	
<b>Día GPS</b>		<b>Sesión</b>	
		<b>Código</b>	

<b>Receptor</b>		<b>No.</b>	
<b>Antena</b>		<b>No.</b>	
<b>Altura de la antena antes (m)</b>	1		2
<b>Altura de la antena después (m)</b>	1		2
<b>Altura Promedio (m)</b>			
<b>Medido a:</b>			

	<b>Hora Local</b>	<b>Hora GPS</b>	<b>Duración</b>
<b>Hora de Inicio</b>			
<b>Hora Final</b>			
<b>Parámetros de Registro:</b>			
<b>Máscara de Elevación:</b>		<b>Int. Época.</b>	

<b>Croquis:</b>	<b>Obstrucciones</b>

**Observaciones:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Responsables:** \_\_\_\_\_ **Firma:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ **Firma:** \_\_\_\_\_

**Revisado Por:** \_\_\_\_\_ **Firma:** \_\_\_\_\_

## REGISTRO DE INFORMACION CATASTRAL

### CONTROL DE OBSERVACIONES GPS

<b>Departamento</b>			<b>Municipio</b>		
<b>Fecha</b>			<b>Estación</b>		
<b>Día GPS</b>		<b>Receptor No.</b>		<b>Antena No-</b>	
<b>Sesión No.</b>	<b>Hora de Inicio</b>	<b>Hora Final</b>	<b>Altura de la antena antes (m)</b>	<b>Altura de la antena después (m)</b>	<b>Altura Antena Promedio (m)</b>
<b>Medido a:</b>					

Parámetros de Registro:			
<b>Máscara de Elevación:</b>		<b>Int. Época.</b>	

**Croquis:**

**Observaciones:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Responsables:** \_\_\_\_\_ **Firma:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ **Firma:** \_\_\_\_\_

**Revisado Por:** \_\_\_\_\_ **Firma:** \_\_\_\_\_



## Anexo 6. Carta de préstamo de bases nivelantes por el -RIC-.




Ref. RIC\ZA-CHI\ADMIN\037\2013

Chiquimula, 22 de marzo de 2013.

Maris Arelis España Estrada.  
Asistente de Investigación  
Proyecto Fodecyt.

En espera de que sus actividades marchen exitosamente, por este medio se le hace el préstamo de Dos Bases Nivelantes, una marca Trimble y la otra Topcon. Las cuales son para apoyo de las actividades programadas por el proyecto FODECYT 55-2012.

Atentamente,

  
Marvin Joel Vásquez Morales  
Asistente Administrativo  
RIC Zacapa-Chiquimula  
ADMINISTRACION  
Marvin Joel Vásquez  
Asistente Administrativo  
Zacapa-Chiquimula