



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
SEDE BOGOTÁ

**DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS
FACULTAD DE CIENCIAS**



AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS

**PROYECTO
CARTOGRAFIA GEOLOGICA Y MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DE LAS
CUENCAS DE URABÁ Y SINÚ-SAN JACINTO A PARTIR DE LA INTERPRETACION
DE IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS Y MONITOREO SISMICO**

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO

No. 070 de 2008

**INFORME DEL RECONOCIMIENTO GEOFÍSICO
Y ESTRUCTURAL PARA LA UBICACIÓN E INSTALACIÓN DE
LA RED DE SISMOGRAFOS**

Bogotá D.C., 3 de marzo de 2009

**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA Y MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DE LAS CUENCAS DE URABÁ Y
SINÚ-SAN JACINTO A PARTIR DE LA INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS Y
MONITOREO SÍSMICO**

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO

No. 070 de 2008

**INFORME DEL RECONOCIMIENTO GEOFÍSICO
Y ESTRUCTURAL PARA LA UBICACIÓN E INSTALACIÓN DE LA RED
DE SISMOGRAFOS**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE CIENCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS

Bogotá D.C., 3 de marzo de 2009

PARTICIPANTES

DIRECTOR

ORLANDO HERNANDEZ PARDO, Ph.D.

ELABORACION Y EDICION DE INFORME

MARTÍN A. PACHECO CORREA. Físico, Candidato M.Sc. Geofísica.

JHON J. FRANCO HEREDIA Ingeniero Electrónico

REVISION Y CORRECCION DE INFORME

INSTRUMENTACIÓN E INTERPRETACION DE REGISTROS SÍSMICOS

MARTÍN A. PACHECO CORREA. Físico, Candidato M.Sc. Geofísica.

JHON J. FRANCO HEREDIA Ingeniero Electrónico

TRABAJO DE CAMPO

MARTÍN A. PACHECO CORREA. Físico, Candidato M.Sc. Geofísica.

JHON J. FRANCO HEREDIA Ingeniero Electrónico

ARIEL RUIZ CARDENAS. Est. Lic. Física

1. Margo geológico y geofísico del bloque de las cuencas Urabá Sinú-San Jacinto	10
1.1 Ubicación Geográfica	10

1.2 Marco Geológico	11
1.3 Eventos sísmicos en la región y sismicidad histórica	11
1.4 Marco Tectónico.....	12
1.5 Sismicidad en el área de estudio.....	13
2. Instrumentación y sismómetros usados en campo	16
2.1 Sismógrafo Q330 Quanterra	17
2.2 Acelerómetro de movimiento fuerte Altus K2, Kinimetrics	19
2.3 Sismómetro CME 4111-120.....	20
3. Criterios para evaluar sitios para la instalación de estaciones sismológicas para tomografías sísmicas.	21
4. Descripción de sitios evaluados para el diseño de la red estaciones.....	21
4.1 Estación Pueblo Nuevo-Bobal Carito.....	25
4.2 Estación Tíe-Casa Blanca	25
4.3 Estación Necoclí-Antena Movistar	26
4.4 Estación Necoclí-Cerro del Águila	26
4.6 Estación Zapata-Gigantón-Piedras Negras	27
4.7 Estación Turbo-Piedrecitas.....	27
5. Estaciones a las cuales no se pudo acceder	41
5.1 Estación Pueblo Bello-Puerto Rico	41
5.3 Estación Rancho Acandí-Río Guati	42
6. Estaciones seleccionadas y diseño de transversas.....	45
7. Diseño de los bunkers para los sismógrafos	45
8. Estaciones instaladas.....	48
9. Conclusiones y recomendaciones	52
Bibliografía	54

Contenido

1. Resumen
2. Margo geológico y geofísico del bloque de las cuencas Urabá Sinú-San Jacinto.
3. Instrumentación y sismógrafos usados en campo
4. Criterios para evaluar sitios para la instalación de estaciones sismológicas para tomografías sísmicas.
5. Descripción de sitios evaluados para el diseño de la red estaciones
6. Estaciones seleccionadas y diseño de transversas
7. Diseño de los bunkers para los sismógrafos
8. Estaciones instaladas
9. Conclusiones y recomendaciones

Bibliografía

Anexo 1. Coordenadas de las estaciones evaluadas.

Anexo 2. Personal de contacto en terrenos de las estaciones evaluadas.

Anexo 3. Anexos fotográficos y registros de evaluación en estaciones

Anexo 4. Bases de datos registrados

Anexo 5. Mapas de bolsillo

Lista de Figuras

- Figura 1. Ubicación geográfica del bloque Urabá y Sinú-San Jacinto, zona de estudio.
- Figura 1. Configuración actual de la Placa Suramericana y su relación con la Placa Caribe con un desplazamiento de 10 a 22mm/año, en sentido este – noreste. Modificado de Suter et.al. (2008).
- Figura 3. Mapa de amenazas sísmicas de Choco, Córdoba y Antioquia, nótese que el bloque Urabá y Sinú-San Jacinto se encuentra en una zona de amenaza alta, Rojo(Amenaza alta), Amarillo(Amenaza media) y Verde(Amenaza baja). Mapa obtenido de la Red Sismológica Nacional, INGEOMINAS subdirección de información geocientífica.
- Figura 4. a).Distribución de la red de INGEOMINAS de estaciones sismológicas en Colombia Obtenido del Boletín de sismos Julio – Diciembre de 2006 Red Sismológica Nacional de Colombia y b). Sismograma digital en tiempo real de estaciones de banda ancha (<http://seisan.ingeqminas.gov.co/sismograma-digital-seisan.html>).
- Figura 5. Distribución de sismos en Colombia durante Junio de 1993 a Diciembre de 1999, obtenido de Mapa de la sismicidad en Colombia 2000, Red Sismológica Nacional de Colombia, INGEOMINAS.
- Figura 6. a). Sistema digitalizador equipo Quanterra Q330, accesorios antena GPS y disco duro externo. b). Sensor episensor, se muestra el nivel y la dirección a la cual es orientado.
- Figura 8. a). Equipo Altus K2, Kinimetrics. b). Interior del equipo K2, sensor del acelerómetro, nivel interno y memoria flash.
- Figura 9. a). Sistema digitalizador del sismómetro CME 4111-120, CPU del sistema, GPS. b). Sensor CME 4111-120.
- Figura 10. Mapa de Radar de la zona de estudio bloque Urabá y Sinú-San Jacinto, se muestran los sitios evaluados para colocar las estaciones sismológicas y las estaciones preseleccionadas para la instalación de equipos (Adjunto como mapa de bolsillo en el informe).
-
- Figura 11. Mapa de Radar con la cartografía geológica junto con los sitios evaluados para colocar las estaciones de sismología en la zona de estudio del bloque Urabá y Sinú-San Jacinto, y en círculos rojos sitios evaluados para colocar las estaciones sismológicas (Adjunto como mapa de bolsillo en el informe).
- Figura 12. Diseño de la red de estaciones sismológicas, estaciones instaladas, seleccionadas y sitios alternos. Se muestra el diseño de transversas con dirección Occidente-Oriente.
- Figura 13. Diseño de la red de estaciones sismológicas, estaciones instaladas, seleccionadas y sitios alternos. Se muestra el diseño de transversas con dirección Norte-Sur.
- Figura 14. Hueco para la construcción de la caseta, y hueco para el mojón.

- Figura 15. Caseta en adobe, tiene 80x80x60cm, tiene 40cm de profundidad y sobresale 20cm desde el suelo para que sea visible.
- Figura 17. Estación sismológica dentro de la caseta.
- Figura 18. Vista final de la caseta para las mini-estaciones sismológicas.
- Figura 19. a). Disposición del equipo Q330, b). Afloramiento y caseta de Jurado-Alto
- Figura 20. Estación Tumará cerros del 40, a). Disposición del equipo CME y b). Caseta, se muestra el desagüe.
- Figura 21. Estación Alto de Mulatos, a). Disposición del equipo CME y b). Caseta.
- Figura 22. Estación San Pedro-El Pueblito, a). Caseta en adobe y b). Recubrimiento en hicipor
- Figura 23. Estación Necoclí-Antena Movistar, a). Disposición del equipo CME y b). Caseta.
- Figura 24. Estación San Juan de Urabá, a). Disposición del equipo K2 y b). Caseta.

Lista de Tablas

Tabla 1. Coordenadas Este y Norte del área de estudio, con origen Bogotá

Tabla 2. Sismógrafos de campo usados para el reconocimiento de sitios en el bloque Urabá y Sinú-San Jacinto.

Resumen

En este informe se describen las actividades llevadas a cabo durante tres comisiones de campo, que contemplaron reconocimiento sísmico del área, reconocimiento estructural, selección de sitios para estaciones sísmicas, socialización con propietarios de terrenos, adecuación de casetas e instalación de sismógrafos, y finalmente evaluación y registro de actividad sísmica. Lo anterior como parte de la actividad de monitoreo sísmico dentro del proyecto, CARTOGRAFIA GEOLOGICA Y MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DE LAS CUENCAS DE URABÁ Y SINÚ-SAN JACINTO A PARTIR DE LA INTERPRETACION DE IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS Y MONITOREO SISMICO.

Se describen las propiedades geológicas, estructurales y geográficas más importantes, mencionando como es y como ha sido la actividad sísmica del bloque de Urabá y Sinú-San Jacinto. También se presenta como la Red Sismológica Nacional de Colombia servirá de

apoyo en las primeras etapas de adquisición de datos para establecer eventos y elaborar modelos de velocidades.

Cada estación evaluada es descrita de forma individual haciendo énfasis en su ubicación características geológicas y registros sísmicos de evaluación. Se muestra el proceso de construcción de casetas y la instalación del equipo en ella.

Finalmente se recomienda una metodología para lograr obtener una tomografía sísmica.

1. Margo geológico y geofísico del bloque de las cuencas Urabá Sinú-San Jacinto.

1.1 Ubicación Geográfica

Las cuencas de Urabá y Sinú-San Jacinto se encuentran ubicadas en el noroccidente de Colombia y comprende parte de los departamentos de Choco, Antioquia y Córdoba, en su centro se encuentra ubicado el golfo de Urabá. La zona de estudio se encuentra delimitada por los vértices 1 a 5 (ver tabla 1.), que se muestran en la figura 1.

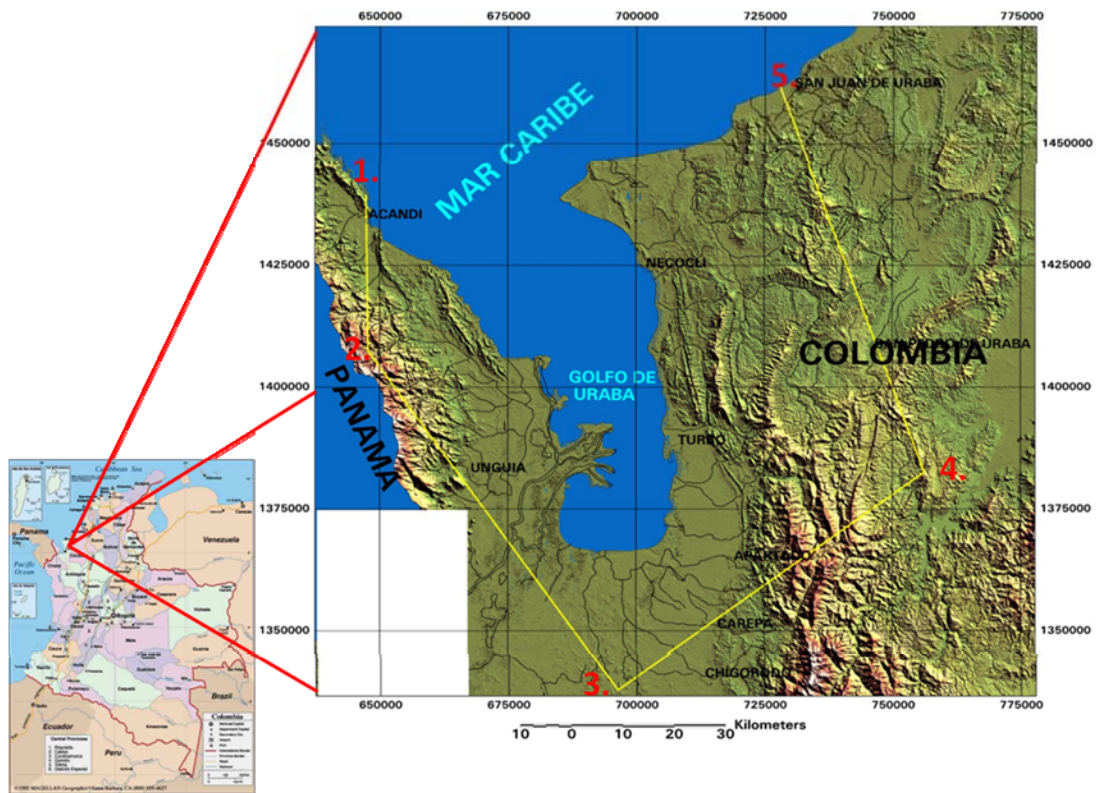


Figura 1. Ubicación geográfica del bloque Urabá y Sinú-San Jacinto, zona de estudio.

Vértice	Este (m)	Norte (m)
1	647508	1434452
2	647294	1406410
3	696364	1337962
4	756238	1382575
5	727809	1462010

Tabla 2. Coordenadas Este y Norte del área de estudio, con origen Bogotá

La zona comprende los municipios de Capurganá, Acandí, Triganá, Titéate, Balboa, Unguía en el Choco, Chigorodó, Carepa, Apartado, Turbo, Changas, San Pedro, Necoclí, Mulatos, Zapata y Arboletes en Antioquia y Valencia, Tierra Alta y Canalete en Córdoba. Para

acceder a dicha zona se llega desde Medellín por la carretera panamericana vía hacia Apartado, también se accede desde Montería vía hacia Arboletes.

1.2 Marco Geológico

El bloque Urabá Sinú-San Jacinto se encuentra emplazado dentro de la provincia litosférica oceánica-cretácica occidental PLOCO de Colombia, dentro del área de estudio se pueden identificar tres provincias geológicas.

La primera la zona occidental conformada por la serranía del Darién en el norte del Choco donde en su parte alta se encuentran basaltos toleíticos; doleritas, piritas, tobas básicas y brechas volcánicas, mientras que en su parte baja se presentan granodioritas de tipo cuarzdioritas y cuarzomonzonitas. También se encuentran los depósitos aluviales de los ríos Acandí, Tolo, Tanela y Cuque, las serranías de la Iguana en Acandí, y de Tripogandí en Triganá que bordean el golfo de Urabá, en ellas se encuentran lavas basálticas, brechas, aglomerados y tobas; intercalados con eventos sedimentarios de tipo marino, cherts, limolitas, lodolitas calcáreas y calizas.

La segunda provincia hacia la parte central del bloque presenta los depósitos aluviales de los ríos Sinú, León, Apartado, Carepa y Chigorodó. Hacia el sur del golfo de Urabá se presenta la falla de Murindó, la cual se evidencia por la aparición de cuerpos intrusivos como los cerros del cuchillo y las lomas aisladas del cuarenta.

La tercera provincia comprende la parte oriental del bloque, conformada por la serranía de Abibe en Chigorodó donde se presentan basaltos, los altos de Carepa, Quimarí, de Buenos y la serranía de las Palomas correspondientes al Urabá Antioqueño se presentan rocas sedimentarias, Arenitas líticas a sublíticas de grano medio, interestratificadas con lodolitas. También un rasgo muy característico de esta zona es el diapirismo de lodo. Bordeando el golfo de Urabá en su parte occidental por el corregimiento de Tíe está la cuchilla del caballo en Necoclí donde se presentan formaciones de tipo calcáreo.

1.3 Eventos sísmicos en la región y sismicidad histórica

La región del Urabá ha presentado sismos de magnitud considerable como los terremotos de Murindó ocurrido el 17 de octubre de 1992 el cual tuvo una magnitud 6,6Mw y una profundidad de 14 Km, con un mecanismo focal de falla inversa y dirección NNE, y el 18 de octubre de 1992 con una magnitud de 7,2Mw a 50 Km de profundidad (Hermelin y Meyer, 2005) los cuales han sido unos de los sismos de más alta magnitud en Colombia. El sismo del 17 de octubre produjo fuertes daños en Murindó, licuación y destrucción de la mayoría de edificaciones, fue sentido en todo el NE de Colombia así como en Cali y

Bogotá, el sismo del 18 de octubre produjo nuevos efectos en Murindó y en los municipios del Atrato Chocuanos y Antioqueño incluso tuvo efectos en ciudades tan alejadas como Medellín en donde algunas edificaciones altas sufrieron daños.

También se han reportado sismos los días 19 y 22 de Marzo de 1995, y el 1 de noviembre del 2004 que han sacudido la región del Urabá, este último se localizó a 14 kilómetros al sur oeste de la cabecera del municipio de Dabeiba.

En la página de la Red Sismológica Nacional de Colombia en la sección actividad sísmica reciente, se puede ver como en el área de Acandí-Choco se registró un evento destacado por la red con magnitud aun no determinada el día 10 de enero de 2009, también en Murindó el 2 de marzo de 2009 un sismo con magnitud 1.9 en la escala de Richter.

1.4 Marco Tectónico

Colombia se localiza geográficamente en la esquina noroccidental de Suramérica. Esta zona se caracteriza por presentar una estructura tectónica compleja, ya que en ella convergen tres placas litosféricas: la Placa de Nazca localizada en el Océano Pacífico, la Placa Caribe en el Mar Caribe y la Placa Suramericana en la zona continental (Figura 3). Esta juntura triple ha estado presente durante los últimos 5 millones de años (m.a.). Estas tres placas se desplazan con velocidades y sentidos diferentes; en el caso de Colombia, las Placas de Nazca y del Caribe se mueven bajo la Placa Suramericana en un proceso denominado subducción. Este proceso tiene características diferentes para cada uno de los casos: la Placa de Nazca se mueve hacia el este, mientras que la Placa Caribe se desplaza hacia el sureste, a una velocidad menor que la de la Placa de Nazca.

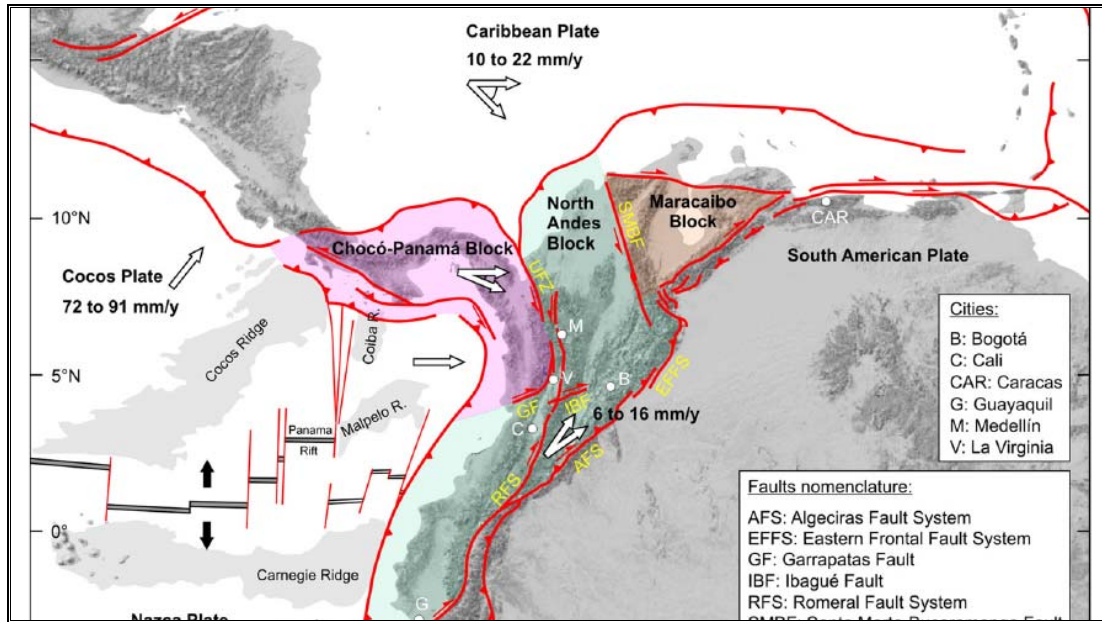


Figura 2. Configuración actual de la Placa Suramericana y su relación con la Placa Caribe con un desplazamiento de 10 a 22mm/año, en sentido este – noreste. Modificado de Suter et.al. (2008).

Además de la existencia de estas tres placas, dos bloques adicionales o microplacas se han sugerido para explicar la complejidad tectónica del área donde convergen las placas principales: el Bloque de Panamá y el Bloque Andino (ver figura 2).

En general la zona occidental de Colombia está constituida por material simático (silicio y magnesio), el cual fue acrecionado o adicionado al borde occidental de la actual Cordillera Central como resultado de un proceso de subducción a finales del Jurásico (hace 200 m.a.). A partir de la Paleosutura de Romeral RFS (ver figura 2), la cual corresponde a su límite este, se encuentran cinturones de este material cada vez más jóvenes hacia el occidente. La sismicidad es superficial en su parte occidental, y se va profundizando hacia el oriente, lo cual se ve muy bien en la zona del Eje Cafetero, donde los hipocentros pueden alcanzar profundidades mayores a 160 Km.

1.5 Sismicidad en el área de estudio

De acuerdo con el modelo tectónico existente y la historia sísmica de la región, el bloque Urabá Sinú-San Jacinto, se encuentra dentro de una zona de amenaza sísmica alta, en su parte occidental mientras que en su parte oriental se encuentra en una zona de amenaza sísmica media (ver figura 3.).

Hay que tener en cuenta que el modelo hipotético de tectónica de placas para Colombia, muestra como en la parte sur del bloque Urabá Sinú-San Jacinto pasa la Juntura entre los bloques Andino y de Panamá, y los sistemas de falla como la de Murindó hacen parte de esta juntura.

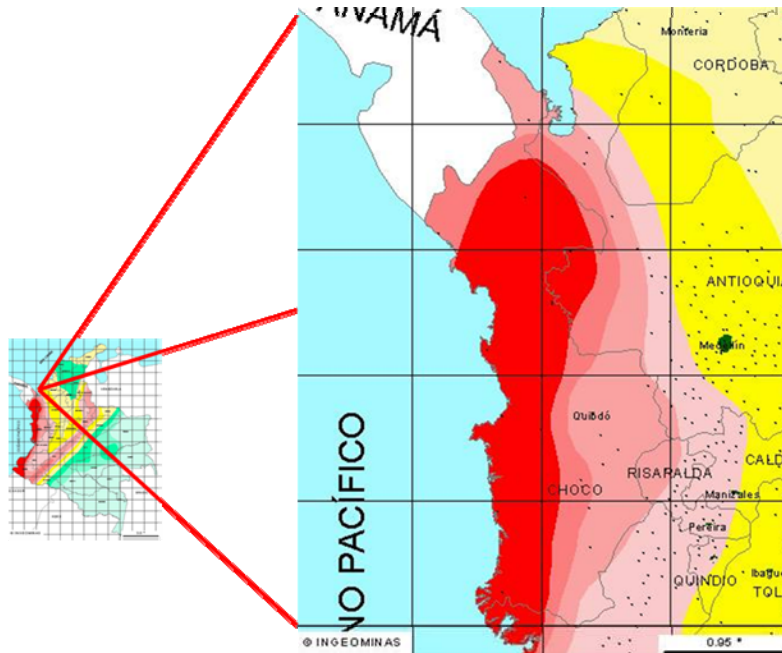


Figura 3. Mapa de amenazas sísmicas de Choco, Córdoba y Antioquia, nótese que el bloque Urabá y Sinú-San Jacinto se encuentra en una zona de amenaza alta, Rojo(Amenaza alta), Amarillo(Amenaza media) y Verde(Amenaza baja). Mapa obtenido de la Red Sismológica Nacional, INGEOMINAS subdirección de información geocientífica.

Como se muestra en la figura 4, dentro del área de estudio, Ingeominas en su Red Sismológica Nacional tiene ubicada una estación sismológica de banda ancha en Capurgana, Choco. Las estaciones Solorzano en Choco y Santa Helena en Antioquia son las siguientes estaciones más cercanas de la red sismológica nacional, los eventos registrados por ellas podrían ser usados para establecer un control regional y también para establecer en conjunto con la red sismológica nacional los eventos que ocurren dentro del bloque a estudiar.

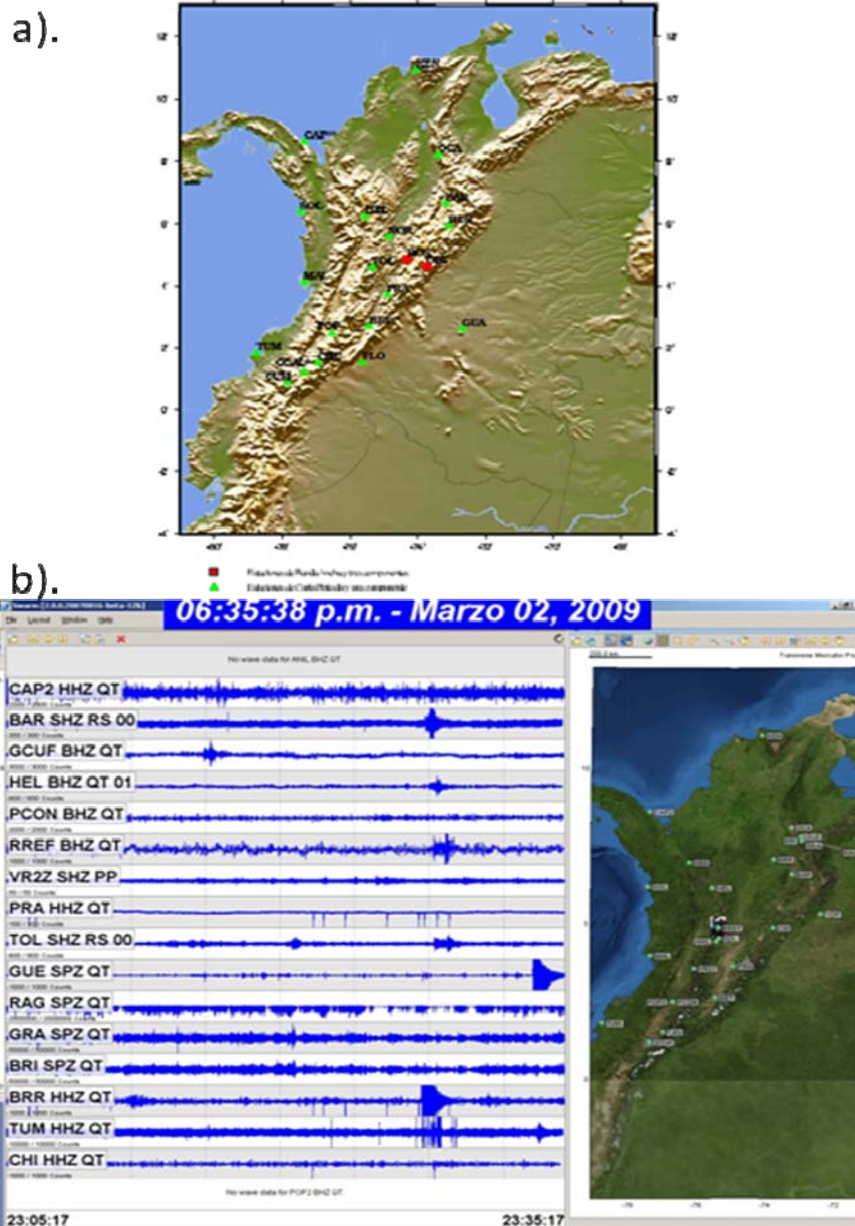


Figura 4. a). Distribución de la red de INGEOMINAS de estaciones sismológicas en Colombia Obtenido del Boletín de sismos Julio – Diciembre de 2006 Red Sismológica Nacional de Colombia y b). Sismograma digital en tiempo real de estaciones de banda ancha (<http://seisan.ingeo Minas.gov.co/sismograma-digital-seisan.html>).

En la figura 5, se muestra el mapa de eventos sísmicos entre Junio de 1993 y Diciembre de 1999, el cual refleja como en la zona de Urabá y del Sinú se presentan gran cantidad de sismos de magnitud considerable, y que el área por donde tiene influencia la falla de Murindó y la juntura de los bloques Panamá y Andino, se comporta como un foco de sismos o nido sísmico.

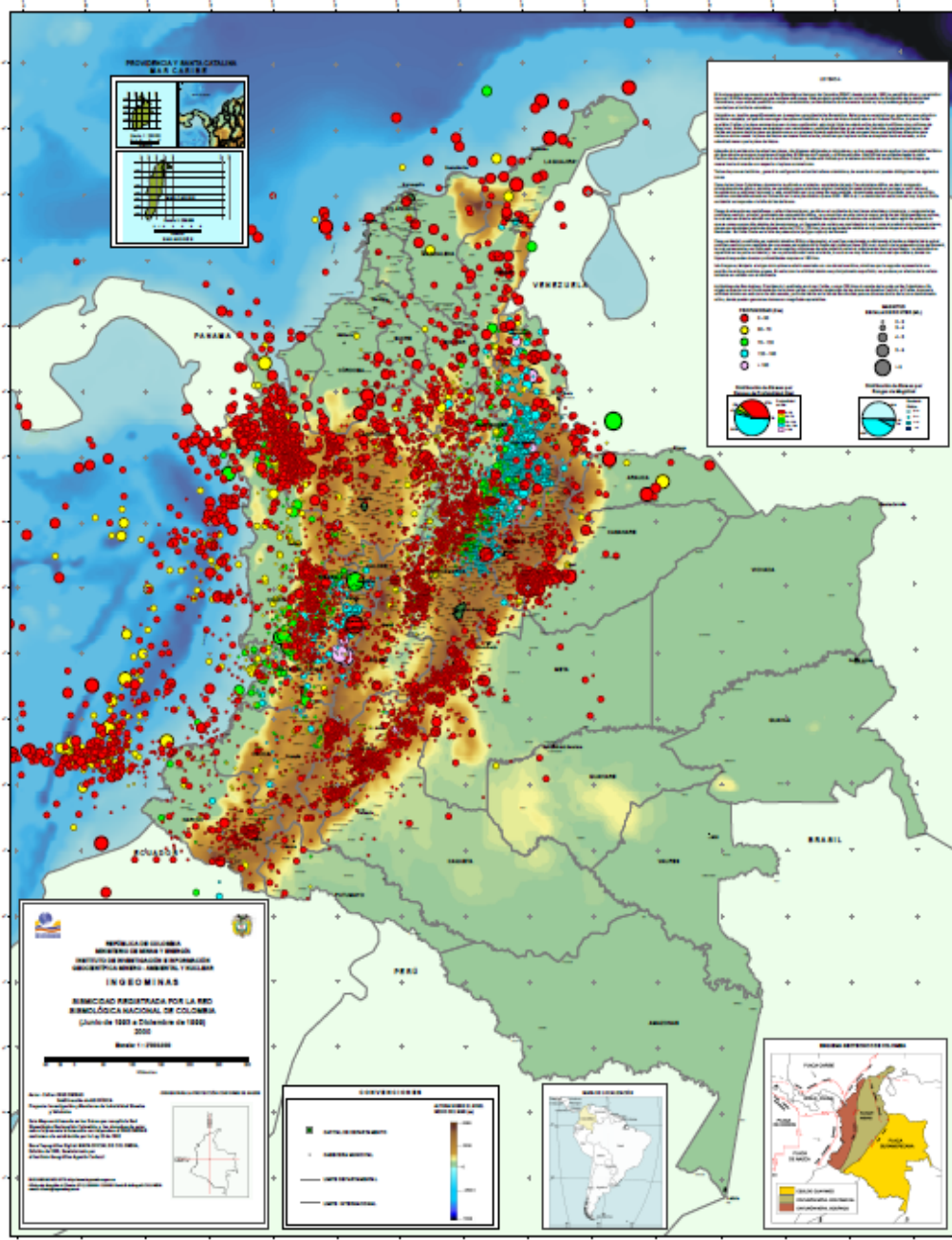


Figura 5. Distribución de sismos en Colombia durante Junio de 1993 a Diciembre de 1999, obtenido de Mapa de la sismicidad en Colombia 2000, Red Sismológica Nacional de Colombia, INGEOMINAS (ver mapa en mejor resolución en el CD adjunto a este documento).

2. Instrumentación y sismómetros usados en campo

Para el reconocimiento, evaluación de sitios e instalación de sismógrafos de campo, la Universidad Nacional cuenta con seis equipos, que se muestran en la tabla 2. A continuación se describe el detalle de funcionamiento de cada uno de ellos.

Equipo	Quanterra, Sensor triaxial epi-sensor	Kinimetrics, acelerómetro triaxial de movimiento fuerte	CME 4111-120 Triaxial Banda Ancha
Abreviatura	Q330	Altus K2	CME
No. de equipos	1	1	4
Respuesta plana	0.02-20Hz	0.6-10Hz	120 s – 50 Hz
CPU	Procesador ADSP- 2189M	Microcontrolador Motorola HC16 (16- bit)	Procesador ARM2
Sensibilidad			4000 V/m/s
Frecuencia de muestreo	200, 100, 50, 40, 20, 10, 1 ms	100ms	100ms
Capacidad de registro	8GB	8GB	Flash memory USB 16 GB (7 meses registro continuo)
Canales,sensores	6, 2 sensores	6, 2 sensores	6, 2 sensores

Tabla 2. Sismómetros de campo usados para el reconocimiento de sitios en el bloque Urabá y Sinú-San Jacinto.

2.1 Sismógrafo Q330 Quanterra

El sismógrafo Q330 esta con puesto por un sensor de banda ancha (*epi-sensor*), un disco duro (Baler), una antena GPS y un sistema digitalizador con indicadores led que describen el funcionamiento del sistema, ver figura 6. La configuración del equipo se realiza por medio del software *Willar.exe* con el cual se puede observar el estado de la señal GPS, la señal en tiempo real adquirida en cada uno de los canales y el tamaño ocupado en el búfer de datos. Dependiendo de su configuración y cuando se llena el búfer, los datos son enviados al disco duro donde los archivos quedan grabados con la extensiones .BLN .BLE y .BLZ, estos datos pueden ser observados por medio del software *cimarron.exe*.

Para la disposición del equipo en campo, se alimenta el equipo por medio de una batería seca a 12V a 17A para las pruebas en campo y dos baterías de 12V a 55A mas una de 33A cuando se usa como estación permanente, logrando así alcanzar ocho días de registro continuo.



Figura 6. Sistema digitalizador equipo Quanterra Q330, accesorios antena GPS y disco duro externo.



Figura 7. Sensor episensor, se muestra el nivel y la dirección a la cual es orientado.

2.2 Acelerómetro de movimiento fuerte Altus K2, Kinimetrics.

En la figura 8, se puede observar el equipo Altus K2, es un equipo portátil muy práctico para evaluar sitios para la disposición de estaciones sísmicas ya que simplemente requiere de la nivelación en el sitio. Consiste de un sistema de un sensor interno al case el cual posee un nivel que se ajusta por medio de un trípode en la base de case del equipo, también posee una memoria flash extraíble de 8GB y es alimentado por medio de una batería seca a 12V.



Figura 7. a). Equipo Altus K2, Kinimetrics. b). Interior del equipo K2, sensor del acelerómetro, nivel interno y memoria flash.

El equipo no registra señales continuas sino solamente eventos que superen un umbral de detección, el cual se configura de acuerdo a la señal a estudiar esto debido a que un registro continuo saturaría la memoria del equipo. De manera que para la tasa de muestreo a usar, el equipo fue configurado de dicha manera. Para la disposición del equipo en campo, se modifico el conector de manera que este pudiese ser conectado a dos baterías de 55A y a una de 33A en paralelo, con ello se pueden alcanzar hasta 10 días de registro continuo. Finalmente un sistema de matriz de leds indica el estado de funcionamiento del equipo.

2.3 Sismómetro CME 4111-120

Este sismógrafo consta de un sensor de banda ancha CME 4111-120 de fabricación rusa, el cual es conectado a un digitalizador desarrollado por Geoslac (Asociación Latinoamericana de Geociencias), el cual está basado en sistema de adquisición de datos con una microprocesador ARM. Un GPS Garmin es conectado a la tarjeta para indicar el tiempo de en que la señal sísmica es adquirida.

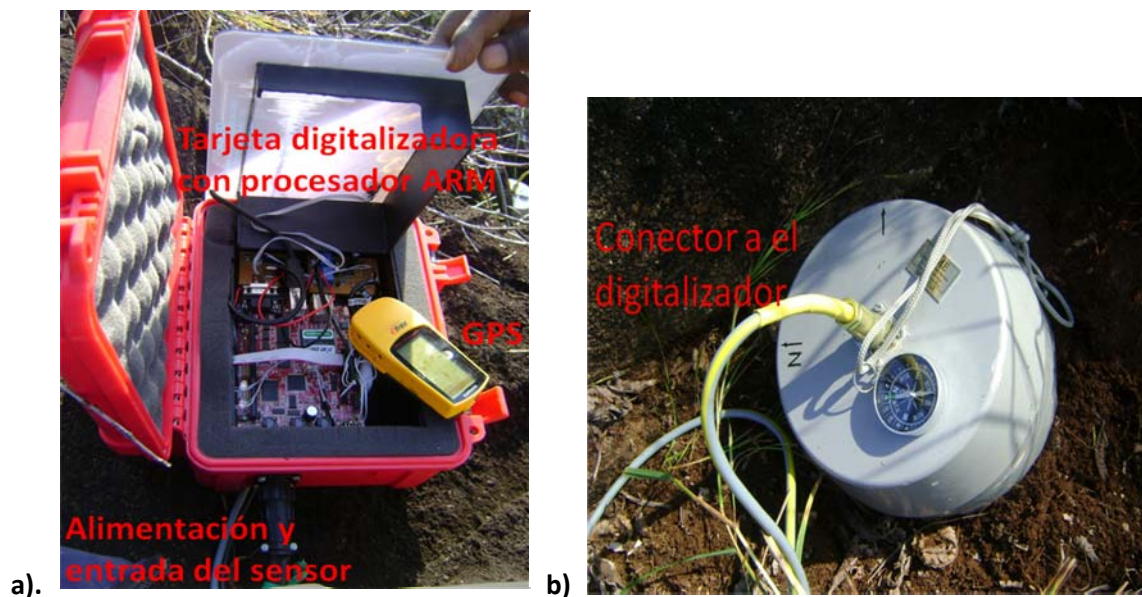


Figura 9. a). Sistema digitalizador del sismómetro **CME 4111-120**, CPU del sistema, GPS. b). Sensor **CME 4111-120**.

Los datos de este equipo son enviados hacia una memoria USB, en formato ASCII. Para la instalación del equipo en campo se usaron dos baterías de 55A y una de 33 A a 12V con lo cual se logra un registro de veinte días de forma continua.

3. Criterios para evaluar sitios para la instalación de estaciones sismológicas para tomografías sísmicas.

Para escoger el sitio en el cual se desea instalar el sismógrafo se han tenido en cuenta diferentes criterios, que contemplan niveles de ruido, localización geográfica estructural y geológica y condiciones ambientales. Para ello se tiene en cuenta:

- La estación debe ser ubicada sobre un sitio en el cual sean favorables las condiciones para capturar los datos del primer arribo de la onda P, es decir debe estar ubicada en un sitio donde el material sea consolidado, como lo son afloramientos de roca, el sensor, o el mojón en concreto que sirve como base a este, debe estar en contacto físico con la roca. En caso de que la estación no pueda ubicar sobre un sitio de material consolidado, se deben introducir dos varillas de 1m en la tierra y estas deben estar en contacto con el mojón.
- El sitio de la estación debe estar libre de ruido ambiental producido por el viento, las raíces de los árboles, ríos o quebradas, carreteras o caminos cercanos y ganadería. En lo posible el acceso al sitio de la estación debe ser fácil.
- Para tomografías sísmicas, la estación en lo posible debe estar ubicada sobre o sitios donde afloren bordes de estructuras, tales como flancos de anticlinales, sinclinales, cuerpos intrusivos, bloques de fallas, esto permitirá captar de mejor manera las ondas sísmicas refractadas y provenientes del hipocentro.
- La separación entre estaciones debe ser alrededor de 15Km, la cual se densifica dependiendo si se desea obtener detalle de alguna estructura. La disposición de los equipos en la región debe ser tal, que se puedan realizar transversas y grillas que cubran el bloque. Las estaciones pueden ser internas y externas al bloque del área de estudio para garantizar el modelamiento regional y local.
- Se considera el evento de un primer arribo a aquella señal de gran amplitud y de fase mínima, es decir un pulso que decae rápidamente en el tiempo.
- Para efectos de reconocimiento de sitios, se considera a un evento a aquella señal que se acerque del valor de umbral del sensor, este debe ser ajustado para cada equipo y tenido en cuenta para los procesos de análisis e interpretación de la información. También si se observan señales periódicas o no periódicas cuya amplitud supere este umbral, el sitio no se considera apto.
- El diseño de la caseta o bunker donde se instala el equipo en lo posible debe estar bajo el nivel del suelo, y el mortero o base de la caseta no debe estar en contacto físico con el mojón donde se coloca el sensor. También debe garantizar la refrigeración y drenaje de su interior.

4. Descripción de sitios evaluados para el diseño de la red estaciones

En la figura 10, se muestra la imagen de radar que contiene el bloque de Urabá Sinú-San Jacinto, y donde se resaltan las estructuras y cadenas montañosas más importantes y los sitios en los cuales se colocaron sismómetros de campo para la evaluación de los puntos. Cada estación fue ubicada de tal manera que las cuencas y estructuras más importantes dentro del bloque, pudiesen ser modeladas a partir de los primeros arribos de las ondas sísmicas.

A continuación se describen cada una de las estaciones evaluadas durante las campañas de campo del 14 de noviembre al 3 de diciembre y del 7 al 23 de diciembre de 2008 donde se describe el acceso, ubicación geográfica, geología, características estructurales de la zona y datos de contacto con los propietarios o administradores del sitio donde está la estación, en el Anexo 1 se muestra una tabla con las coordenadas de cada una de las estaciones, en el Anexo 2 se muestran teléfonos de contacto del administrador, propietario o contacto en el área (en ciertos casos no fue posible obtener dicha información). Los equipos con los cuales fue realizada la prueba, sus señales de registro y un mapa geológico del área alrededor de cada estación se describen en el Anexo 4 (En el final del anexo 4 se encuentran las convenciones geológicas).

Los mapas geológicos, topográficos y de carreteras del área se encuentran en el CD adjunto al informe, al igual que las coordenadas GPS de lugares que facilitan la llegada a las estaciones. También se encuentran los archivos originales de los equipos, los registros obtenidos a partir de este.

Con el equipo Q330 se realizaba observación visual por parte del geofísico de campo, con el fin de verificar que el sitio no presentará niveles de ruido que pudieran afectar la señal sísmica, o ser confundida con un evento, ejemplo de este tipo de observaciones se muestran en la carpeta VIDEOSQ330SOFTIEMPOREAL.

Los datos adquiridos en campo, se describen en el anexo 4 y se muestran en el CD adjunto.

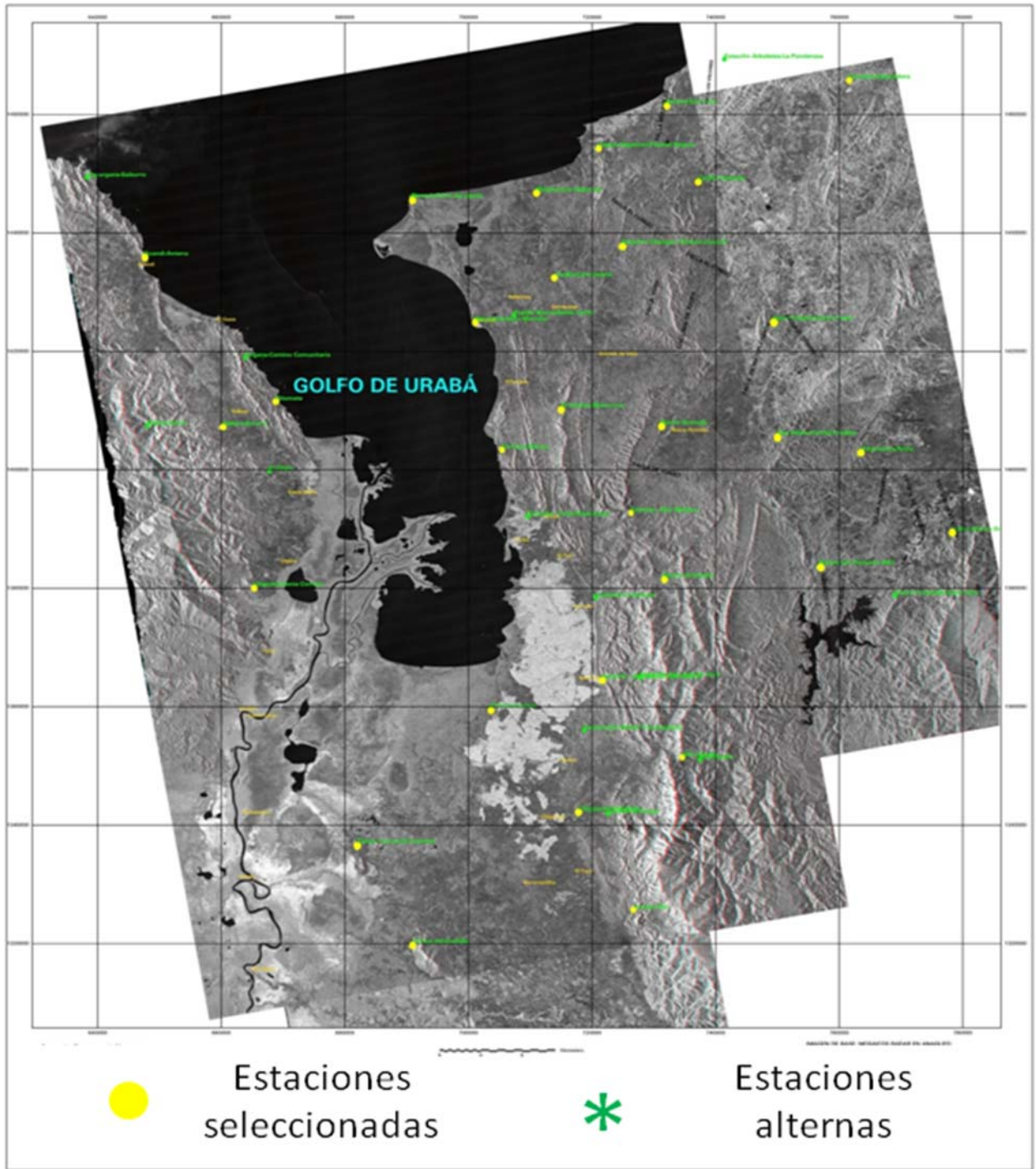


Figura 10. Mapa de Radar de la zona de estudio bloque Urabá y Sinú-San Jacinto, se muestran los sitios evaluados para colocar las estaciones sismológicas y las estaciones preseleccionadas para la instalación de equipos (Adjunto como mapa de bolsillo en el informe, ver anexo 5).

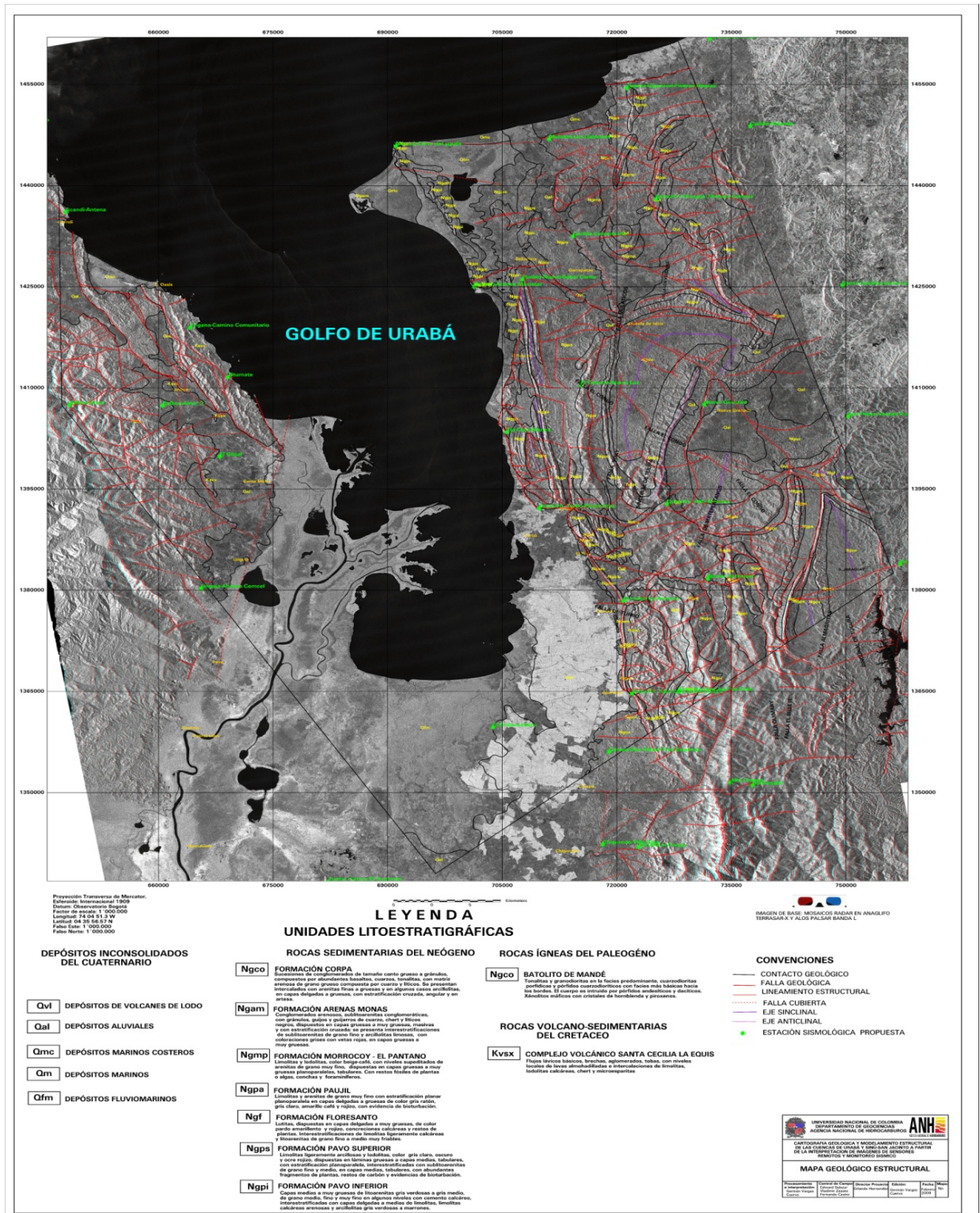


Figura 11. Mapa de Radar con la cartografía geológica junto con los sitios evaluados para colocar las estaciones de sismología en la zona de estudio del bloque Urabá y Sinú-San Jacinto, y en círculos rojos sitios evaluados para colocar las estaciones sismológicas (Adjunto como mapa de bolsillo en el informe, ver anexo 5).

4.1 Estación Pueblo Nuevo-Bobal Carito

Por la Vía a Necoclí –Turbo, después de la hacienda Montecristo, se toma la vía hacia Pueblo Nuevo GPS012, carretera hacia el Bobal, en punto GPS013 sobre la vía se encuentra un afloramiento de roca arenisca no consolidada, litoarenitas pertenecientes a la formación pavo inferior, frente a la finca el laguito. Siguiendo la secuencia del afloramiento que aparece de nuevo en el río que cruza la finca, y cruzando el puente se llega a una pequeña loma aislada, donde fue realizada la prueba en el punto GPS015. Se realizó la evaluación del sitio usando el equipo Q330, ver (figura A.3.1.).

Alrededor de la estación hay varias secuencias del cuaternarias y una estructura terciaria (figura A.3.2.) que proviene desde una pequeña cadena montañosa, un lineamiento estructural que viene desde Turbo en dirección Norte, el afloramiento del Bobal hace parte de esta secuencia terciaria.

Con el equipo q330 se realizó la evaluación del sitio haciendo uso del software de visualización en tiempo real (ver archivo Q330ev.avi en el CD adjunto), no se presentaron niveles de ruido altos, por lo cual el sitio se considera apropiado para la instalación de un equipo, pero será tomado como punto alterno para la instalación de equipos.

4.2 Estación Tíe-Casa Blanca

Hacia al sur del corregimiento de Tíe, vía hacia Turbo, en el punto GPS016 se encuentra la carretera de acceso hacia la hacienda Casa Blanca, por esta vía se accede a la cantera de piedras blancas, donde se presenta una formación de roca caliza. Al final de la cantera, se sigue por un camino aproximadamente a 300 metros de la cantera hacia el punto seleccionado para la estación GPS019, para cual se siguió la secuencia de roca caliza (figura A.3.3.). El registro y evaluación de datos sísmicos se realizó usando el equipo K2.

La estación de Tíe se encuentra sobre una pequeña cadena montañosa paralela a la estructura donde se encuentran las estaciones de Turbo-piedrecitas y Pueblo Nuevo-Bobal Carito, dichos lineamientos estructurales al parecer hacen parte de los plegamientos más jóvenes de la superficie. Como se puede ver en la figura 12, la cantera de Tíe es un afloramiento terciario rodeado por secuencias del cuaternario pertenecientes a la formación pavo inferior, y depósitos de material no consolidado que bordean la costa.

Se realizó una prueba inicial, induciendo un movimiento al equipo K2 (evento de prueba), y posteriormente se dejó el equipo realizando medidas. Se registró un pequeño evento, pero incoherente es decir señales que no son de fase mínima, esto se debió a ganado presente en el área y que pasó cerca de la estación. El punto se considera apropiado para la instalación de un sismógrafo ya que no presenta niveles de ruido continuos.

4.3 Estación Necoclí-Antena Movistar

En el municipio de Necoclí por la vía que cruza junto al Hospital y después de este al lado de a un árbol de mango, se encuentra el camino de acceso hacia la antena repetidora de Movistar en Necoclí, la estación seleccionada se dispuso por fuera del muro que protege la antena repetidora en el punto GPS020 y se uso el equipo Q330 (ver figura A.3.4). La raíz del cerro donde se encuentran la antena y la estación se encuentran sobre una cantera de roca arenisca pertenecientes a la formación pavo inferior, como se puede ver en la figura 11.

En principio se realizo una prueba observando con el software de adquisición en tiempo real con el sensor dentro del recinto o lote donde se encuentra la antena y con colaboración del operario de Movistar, se encendio el motor disel que alimenta de forma auxiliar la antena: Se observo que dentro del recinto el motor disel produce un pequeño ruido, pero colocando el sensor fuera del recinto, la señal captada por el sensor no es afectada el motor disel, ya que las paredes del recinto absorben las vibraciones del motor (ver archivo Q330ev.avi en el CD adjunto).

Posteriormente se realizo una prueba con el equipo CME por varias horas, este registro se muestra en la figura A.3.5 del anexo. Se registraron varios eventos y se determino a partir de ello que el sitio es apto para la instalación de una estación permanente.

El registro de la figura A.3.5, nos muestra ruido al principio de la prueba que corresponde al movimiento al disponer el equipo para la medida, pero después hay un registro continuo y sin señales de gran amplitud lo que indica que el sitio es apropiado para la instalación de una estación.

4.4 Estación Necoclí-Cerro del Águila

Ubicada hacia el norte del municipio de Necoclí vía hacia la vereda Marimonda se encuentra la estación en el punto GPS023, en el cerro del águila, finca cerro del águila.

De la finca cerro del águila se toma el camino hacia el faro, donde aparece una secuencia de rocas sedimentarias, areniscas, se coloca la estación K2 e el punto GPS023. La formación se encuentra ubicada sobre roca caliza, presente el afloramiento ubicado en el punto GPS022 en un borde del cerro del águila y a un costado de la carretera.

Desde el cerro del águila hasta el municipio de Necoclí, se presenta un lineamiento estructural que pierde su continuidad en Necoclí pero al parecer corresponde a la misma secuencia observada en la estación de Tíe, este lineamiento contiene las Formaciones Pavo Superior y Arenas Monas. En inmediaciones del Cerro del Águila se observan afloramientos de roca caliza. Más en concreto en el sitio de la estación se observan afloramientos de litoarenitas (ver figura A.3.6.d.)

En la figura A.3.6 se muestran los registros obtenidos con el equipo K2, el primero de ellos corresponde al registro de prueba que se hacía para dar inicio a la evaluación del punto, los dos siguientes eventos corresponden a registros captados por el equipo. En sí el sitio se considera apto para la instalación de la estación sísmica ya que no hay ruido continuo en los registros.

4.5 Estación Mulatos-Los Galopes

Dos kilómetros antes de llegar a Mulatos, por la Necoclí-Mulatos en el punto GPS025 se encuentra ubicada la entrada a la finca los galopes donde se encuentran unas colinas, las únicas presentes en el área y primeras elevaciones de norte a sur desde el mar, en ellas se colocó la estación Q330 para evaluar la calidad del sitio.

La estación Mulatos se encuentra en depósitos del cuaternario, pero por estar en las elevaciones que hay en el sitio y puesto que hay una secuencia terciaria a tres kilómetros aproximadamente (ver figura A.3.8.c), bajo la estación hay secuencias terciarias lo que permite captar los primeros arribos de las ondas sísmicas. El sitio se considero apto para la instalación de una estación sismológica.

4.6 Estación Zapata-Gigantón-Piedras Negras

Vía Zapata-San Juan de Urabá en el punto GPS026 se encuentra la vía hacia la cantera piedras negras, a final de la vía esta la cantera donde se presenta un intrusivo, al parecer un cuerpo de rocas ígneas pues se observan fenocristales de anfíbol y plagioclasa. De acuerdo con la cartografía geológica la estación zapata está ubicada en la formación Morrocoy el pantano, que contienen limolitas y lodolitas que rodean al cuerpo intrusivo (ver figura A.3.8.a).

A 200 metros del final de la carretera y del comienzo de la cantera, es ubicado el sismógrafo K2 con el que se realiza la evaluación del punto. Según el registro de la figura A.3.8.d., ya que no se presentan señales continuas que se puedan considerar como ruido, el punto se considera como apto para la instalación de un sismógrafo.

4.7 Estación Turbo-Piedrecitas

Vía Necoclí-Turbo, cinco kilómetros antes de Turbo Se encuentra la cantera piedrecitas, una formación de arenisca consolidada que presenta lentes de brea (ver figura A.3.10.), a doscientos metros aproximadamente de la vía principal. La entrada a esta se encuentra en el punto GPS006 y la cantera en el punto GPS007. Esta estación se encuentra sobre la formación pavo inferior.

La estación está más o menos a 200 metros de la cantera por un camino que parte la vía principal en el punto GPS030, donde se sigue el camino hacia la colina en frente en cuya cima se halla el sitio que fue evaluado, haciendo uso del equipo K2.

Se realizó un registro de prueba (figura A.3.10.d.) para dar inicio a la prueba, no se registraron eventos posteriores producidos por ruido, de tal manera que el punto se considera apto para la instalación de un sismógrafo, pero este punto no es tenido en cuenta, inicialmente como estación preseleccionados.

4.8 Estación Caribia-Cementerio

Para llegar al corregimiento de Caribia se toma la vía Necoclí-Mulatos, en el caserío piedrecitas se encuentra el aparte hacia Caribia. Quinientos metros antes de la estación y sobre la vía, se encuentran afloramientos de arenisca no consolidada, limolitas y arenitas, ubicados en el punto GPS033 y que hacen parte de la formación pavo superior. La estación es ubicada en una colina punto GPS031 cerca al cementerio de Caribia, y doscientos metros antes de llegar al caserío de Caribia. Se ha seguido la secuencia de roca sedimentaria presente en la vía. Se usó el equipo K2 para evaluar el punto (ver figura A.3.11).

Después del registro inicial el equipo K2 no detectó otro evento o ruido, de manera que el punto se considera aceptable para la instalación de un sismógrafo.

4.9 Estación Changas –Antena Comcel

En el municipio de Changas cincuenta metros desde la antena de Comcel, es ubicada la estación Q330 en el punto GPS032, se accede desde la casa de la Señora Elis Romero propietaria del predio. La estación se encuentra en el sitio más elevado dentro del área sobre una secuencia sedimentaria dentro de la formación pavo superior, pero que a su vez tiene un efecto de influencia de depósitos de lodo relacionados con el volcán de lodo de Changas, que se encuentra un kilómetro hacia el sur del volcán de lodo.

La evaluación del sitio se realizó por medio del equipo Q330 no encontrando irregularidades ni niveles de ruido altos en la señal, de modo que el sitio se considera apto para la instalación de un sismógrafo.

4.10 Estación San Juan-Antena Comcel

Entre la vía San Juan-Arboletes se encuentra un conjunto de antenas repetidoras y de señal celular, adelante del municipio de San Juan, se accede por el camino en la vía principal, punto GPS036, se toma el camino por entre las bananeras que sale al camino entre las antenas, se toma hacia la izquierda hacia la finca de Areli Mejía, cien metros adelante en el punto GPS036 es ubicada la estación Q330 al lado de la antena de Comcel la cual se encuentra sobre el afloramiento de roca arenisca (ver figura A.3.13).

Geológicamente el afloramiento de la estación San Juan corresponde a una secuencia terciaria que aflora en la cima las colinas frente a San Juan, lugar donde se encuentran las antenas, además la base de las colinas se encuentran rodeadas por la formación morrocoy el pantano.

Estructuralmente la estación se encuentra sobre un lineamiento que proviene desde Changas de lineado por la falla de Mulaticos, lo cual constituye un aspecto favorable a la hora de la interpretación de datos sísmicos pues en los registros de las estaciones Changas y San Juan guardaran un rasgo en común y correlacionable.

La evaluación del sitio se realizo con la observación en tiempo real de la señal sísmica con el equipo Q330, no encontrando irregularidades ni niveles de ruido altos, por lo cual la estación se considera como apta para la instalación de un sismógrafo.

4.11 Estación Arboletes-La Ponderosa

En la de salida Arboletes hacia Montería se toma la vía hacia la hacienda la Ponderosa y se llega hasta la casa principal, de ahí se accede a pie cruzando la quebrada hasta la zona montañosa, en el punto GPS037, más o menos a 800metros de la hacienda es ubicada la estación K2 para la evaluación del sitio. La figura A.3. muestra una señal captada por el equipo K2 en este sitio, pero en general no se presentaron niveles altos de ruido.

La estación Arboletes se encuentra sobre elevaciones cuaternarias con influencia de depósitos volcánicos ya que en Arboletes hay una buena influencia de volcanes de lodo, también se presenta influencia de la falla de los volcanes.

4.12 Estación Canalete-Repetidora

En Canalete se toma la vía que se dirige hacia la antena repetidora y se llega hasta la finca Mira valle muy cerca de la repetidora de Canalete, cerca de ella en el punto GPS039 se ubica la estación Q330 con la cual se realiza la prueba, observando la señal en tiempo real. No se presentaron niveles de ruido alto y se considera como un sitio apto, pero en la finca Miravalle hay gran influencia de ganado por lo cual se recomienda cercar el sitio en un radio de 15mts alrededor de la estación.

La estación canalete se encuentra sobre elevaciones conformadas por material del cuaternario, con influencia de la falla de canalete (ver figura A.3.16).

4.13 Estación Valencia-La Rusia

Por la vía desde Valencia a San Pedro, cuando en la parte alta de la cordillera, que conforma borde del sinclinal de Jaraguai, al llegar a la estación de medio ambiente se toma la vía hacia la escuela el Divino Niño, más adelante se encuentra la finca la Rusia y el Faro. Se toma el camino hacia la casa del señor Regino, se cruza el lago, la casa y luego se dirige hacia una

colina aislada que se encuentra más adelante, donde en el punto GPS047 se realizó la prueba para mirar la calidad del sitio.

Por medio del equipo K2 se realizó la evaluación del punto, encontrándose un registro que al parecer corresponde a un evento, y puesto que no se presentaron ni registros continuos o ruido permanente, el sitio se considero como apropiado para la instalación del sismógrafo,

El sitio se encuentra en el borde del sinclinal de Jaraguay, sobre depósitos terciarios en la cima del sinclinal, formación Paujil. El sitio es clave para modelar la cuenca sedimentaria que se encuentra dentro del sinclinal, ya que al encontrarse en uno de los bordes, los primeros arribos de las ondas sísmicas serán captados con un buen detalle.

4.14 Estación Alto Mulatos

Por la vía que conduce del corregimiento del tres hacia San Pedro, se llega al corregimiento Alto de Mulatos. Se toma el camino que conduce hacia la antena repetidora. Se cruza la finca viento libre y enseguida se encuentra un quebrada, donde afloran rocas calcáreas siguiendo el camino en el punto GPS053 se ubica la estación K2 con la cual se realizó la evaluación del punto.

La estación se encuentra en la parte sur del sinclinal de Tulipa, con influencia de las fallas de Mata plátanos y la falla del Congo, en general son depósitos sedimentarios pertenecientes a la formación pavo superior, pero también se presentan rocas calizas (ver figura A.3.18).

Se registro una señal durante la prueba, pero esta señal parece no pertenecer a un evento sísmico posiblemente se deba al paso de alguna persona o animal. En general el sitio es un buen lugar para instalar un sismógrafo pero se recomienda hacer una cerca alrededor de la estación con 15mts de radio ya que hay ganado en la zona.

4.15 Estación San Pedro-Vereda Pueblito

Ubicada en el borde occidental del sinclinal de Jaraguai, se ubicó la estación Q330 e la vereda Pueblito del municipio de San Pedro. Esta estación está ubicada en el extremo opuesto a la estación la Rusia ubicada en el extremo oriental del sinclinal de Jaraguai. Para llegar a la estación se toma la carretera San Pedro Valencia cuando se asciende por la vía se llega al punto GPS005 sobre la carretera donde se ubica la casa de la señora Alba Contreras. Unos metros antes de dicha casa se observa un pequeño afloramiento de arenisca no consolidada, la estación es ubicada sobre esta formación, trescientos metros aproximadamente desde la carretera, y se ubica en el punto GPS054.

La estación está ubicada sobre la formación floresanto, sobre un pequeño afloramiento terciario de litoarenitas (ver figura A.3.19.).

La evacuación del punto se hizo observando la señal en tiempo real con el equipo Q330, no observando niveles de ruido altos o periódicos. Gracias a las características del sitio y su cercanía con la carretera, se hicieron un grupo de pruebas en el sitio, haciendo pasar varias

veces la camioneta de la comisión con el fin de estudiar la influencia de la vibración que producen los carros en la señal adquirida. Se descubrió que en general cuando el nivel de la carretera está por encima del nivel de la estación y a una distancia menor de doscientos metros hay influencia sobre la señal, mientras que cuando el nivel de la carretera está por debajo, no hay influencia en la señal.

En general el sitio es apto para la instalación del sismógrafo, pero el afloramiento se encontraba cerca de un cultivo de alverja, a unos 20mts, de modo que al analizar los datos que provienen de esta estación se podrían presentar algunos niveles de ruido, en la época cuando se recoja o siembre la cosecha.

4.16 Estación Nueva Granada

Por la vía el Tres-San Pedro después de pasar Pueblo Bello, se encuentra el aparte hacia Nueva Granada, del pueblo se toma la vía que conduce hacia el puente y cruzando este se toma el camino comunitario que conduce hacia las fincas de los señores Amado y Fidel. Ubicadas en el borde oriental del Sinclinal de Tulipa (ver figuras 11 y A.3.20).

Se presenta una pequeña cadena montañosa paralela al sinclinal de Tulipa, en la cima de esta es ubicada la estación a 30mts del camino comunitario. En el sitio se encuentra en el punto GPS 055 sobre la formación pavo superior con influencia de la falla de Mateplátanos y del Congo y en una pequeña serranía adyacente y que forma parte del sinclinal de Tulipa.

Con el equipo K2 se evaluó la calidad del sitio, se detecto una señal que al parecer corresponde a un evento sísmico. En si el sitio no está ubicado sobre el sinclinal de Tulipa sino en la serranía adyacente, mas a menos a 45 minutos de camino a pie desde Nueva Granada y a unos 2Km desde el sinclinal. Se decidió dejar la estación en este sitio pues para llegar al sinclinal de Tulipa se toman dos horas desde Nueva granada, lo cual sería muy laborioso a la hora de construir la caseta y descargar los datos de la estación.

4.17 Estación Santa Catalina-Loma Linda

Desde San Pedro se toma la vía hacia Santa Catalina, después de cruzar el corregimiento se acerca hacia una pequeña zona montañosa donde hay formaciones cuaternarias, siguiendo adelante, vía a Arboletes se llega hasta la entrada de la finca Loma linda donde al occidente de observa una cadena montañosa con estructuras terciarias correspondiente a la formación floresanto (ver figura A.3.21).

Se toma esta vía que se dirige hacia la finca loma linda y desde la casa principal se parte hacia el borde de la cadena montañosa, por el camino que parte de la casa. Con el equipo Q330 en el punto GPS058 se realizo la prueba de la estación.

La prueba con el software de adquisición en tiempo real no revelo irregularidades, así que se recomienda la instalación del sismógrafo en este sitio, pero hay que tener en cuenta que se presentan algunas zonas de derrumbe que podrían dañar el equipo.

4.18 Estación El Totumo-Nueva Luz

En el corregimiento del Totumo, se toma la carretera que aparta de la vía principal y se dirige hacia Aguas Claras. La carretera empieza a subir y se observan varios afloramientos de areniscas y arcillolitas en el sitio conocido como aguas claras. Después la carretera baja hacia el tigre y luego sube hacia el caserío de Nueva Luz, desde el cual se toma el camino hacia la quebrada cruzando esta se llega a un plan donde está el punto GPS074, en el cual se realizó la prueba del sitio con el equipo K2. El sitio tiene influencia de las fallas de San Rafael, Mulaticos y del Congo, se encuentra sobre la formación pavo inferior.

Después de inducir una señal o registro de prueba como se puede ver en la figura A.3.22.c no se registró ningún otro tipo de señal por lo cual se considera el sitio como apto para la instalación de un sismógrafo.

La estación Nueva Luz se encuentra en el borde occidental del sinclinal de Tulipa, en cuyo extremo opuesto, es decir el oriental, se encuentra la estación de Nueva Granada. En la parte sur del sinclinal de Tulipa se encuentra la estación Alto de Mulatos. En conjunto estas tres estaciones permitirán modelar la cuenca y estructuras correspondientes al sinclinal de Tulipa.

4.19 Estación Currulao La Arenera

Saliendo de Currulao, se toma la carretera hacia la Arenera, en el punto GPS078 donde empieza la zona montañosa esta la entrada a la Finca los Morritos, hay un camino que se dirige hacia las colinas del área, que hacen parte de la formación arenas monas compuestas en su mayor parte por material del cuaternario. En el punto GPS078 donde empieza la parte selvática fue colocada la estación K2 (ver figura A.3.23).

La estructura donde se encuentra la estación, parece ser continuidad del lineamiento estructural que viene desde Necolí, Tíe y Turbo-Piedrecitas pero que ha sido truncada por la influencia de la falla de Turbo y erodada por del río Currulao.

En esta estación no se registraron señales ajenas a las inducidas para tener una referencia, de manera que el punto se considera como apto para la instalación de una estación. Por el momento este sitio no será tenido en cuenta para la instalación del sismógrafo ya que se le da prioridad a otros sitios.

4.20 Estación Nueva Antioquia

Saliendo de Currulao, se toma la carretera hacia la Arenera, y se sigue hasta llegar a Nueva Antioquia, se toma el camino que cruza el río y se sube a la colina asegurada por la Policía, que se encuentra en frente de Nueva Antioquia, la estación K2 fue colocada en el punto GPS077 para evaluar el sitio (ver figura A.3.24).

La estación se encuentra ubicada en la parte occidental de la serranía de Abibe, una de las estructuras más influyentes en el bloque, sobre la formación paujil (ver figura 11) y parte de la formación pavo superior y tiene influencia de la falla Mateplátanos.

Después de la señal de referencia, se registro un evento en el sitio evaluado, es de notar que cerca del sitio había hay campamentos militares y este evento puede estar relacionado con dicha actividad. En sí el sitio se considera apto para la instalación de un sismógrafo.

Nueva Antioquia es un sitio donde se presenta una alta alteración del Orden Público y en el área se encuentran minas antipersona, por lo cual para la llegada al sitio se debe pedir asesoría por parte del Ejército y la Policía. Es aconsejable que los vehículos cuando ingresen al área, lleven los distintivos correspondientes a la Universidad Nacional e ingresar con las ventanas abiertas.

4.21 Estación Apartado-La Primavera

Vía a San José de Urabá desde Apartado, se encuentra la finca la Primavera de la señora Ofelia Ríos en esta propiedad se presentan las primeras elevaciones sobre la cuenca del Urabá desde Apartado, la casa de esta finca se encuentra sobre la carretera, y por la parte de atrás sale un camino hacia las colinas que se presentan en el área, en el punto GPS083 se encuentra ubicada la estación donde se usó el equipo K2.

Aparte del registro de prueba no se obtuvo algún otro tipo de señal o ruido en el sitio (ver figura A.3.25) de manera que se considera un lugar apropiado para la instalación de un sismógrafo.

La estación Apartado está ubicada sobre la formación pavo superior y al igual que la estación currulao, asociada con lineamiento estructural que viene desde Necoclí. Al parecer este lineamiento finaliza en la estación Apartado

4.22 Estación Tumará-Cerros El Cuarenta

Desde Chigorodó se toma la vía a Medellín, en el sitio conocido como el Tigre GPS085 se toma el aparte a Barranquillita, por la vía panamericana, se cruza el río León hasta llegar a los cerros aislados o el Cuarenta, donde se encuentran las únicas elevaciones presentes en el área. Un afloramiento de roca basáltica se encuentra en un costado de la vía que bordea los cerros GPS087. También se observan dioritas hacia la parte alta de los cerros.

En la finca el Cerrito, un kilómetro antes del afloramiento, se toma el camino hacia la estación punto GPS089, donde hay otro afloramiento de basaltos, sobre el cual se realiza la prueba con el equipo K2, donde se induce una señal de prueba. Puesto que posteriormente no fueron adquiridas señales posteriores, se deduce que el sitio es apto para la instalación de un sismógrafo.

La estación de Tumará-Cerros del cuarenta se encuentra sobre la zona donde tiene influencia la falla de Murindó (ver figura A.3.26) y por ser una zona de debilidad de la corteza, afloran cuerpos intrusivos y hay presencia de basaltos, los cuales están asociados con el batolito de Mandé.

Esta estación es de gran importancia, pues la falla de Murindó hace parte del sistema que conforma la juntura entre los bloques Panamá y Andino, es una zona de alta sismicidad. También es de notar que los cerros del cuarenta se encuentran bajo jurisdicción de CorpoUrabá y cualquier actividad que se realice allí debe estar aprobada por esta institución.

4.23 Estación Chigorodó-Villa Nela

Desde Chigorodó en dirección a Carepa después de cruzar el río se toma la apartada hacia el Congo, se llega hasta el punto GPS094 antes del caserío indígena del Coco, en este lugar se ubica la finca Villa Nela. En esta propiedad se ubica el punto GPS095 donde fue ubicada la estación K2, sobre las primeras elevaciones de depósitos cuaternarios, al parecer terrazas aluviales (ver figura A.3.27).

Después del registro de prueba no hubo influencia de ningún otro tipo de señal, de modo que el punto se considera apto para la instalación del sismógrafo.

4.24 Estación Carepa-San Rafael Tres Esquinas

Vía Carepa Apartado, se encuentra la apartada hacia el reposo GPS098, se toma esta vía y se llega a el punto GPS102 donde se encuentra la Finca San Rafael, donde se encuentra el punto GPS101 donde se realiza la prueba con el equipo K2.

Este sitio al parecer está formado por terrazas aluviales del río Zungo, plegamientos y elevaciones de edad cuaternaria.

En dirección de la serranía de Abibe, hasta donde se puede acceder es al corregimiento de Tres esquinas, de ahí para allá la serranía esta a 2h a pie.

En el registro se muestra una señal que no corresponde a un evento, pero dura un lapso de tiempo corto, esto posiblemente debido a la influencia de la carretera, el punto deberá ser alejado unos cientos de metros desde la carretera pues están al mismo nivel.

4.25 Estación San José de Urabá

Por la misma vía que se llega a la estación de Apartado, se tómalala vía hacia San José de Urabá, que esta aproximadamente a 9Km desde Apartado. Se llega a San José de Urabá y se toma el camino que cruza varias veces el río, este parte desde el punto GPS103. Para llegar a este punto es necesario contar con guía transporte a Caballo. La estación está ubicada en el sitio conocido como Buenos Aires en la estación GPS104, donde se hizo uso del equipo K2.

El sitio se encuentra en la base de la serranía de Abibe sobre la formación pavo superior, tiene influencia de las fallas del Quimary y el Billete, y entre la estación Apartado y la estación San José de Apartado, hay varios cinturones de estructuras plegadas. Es de notar que cerca del sitio donde se realizó la prueba hay presencia de rocas andesíticas (ver figura A.3.32). Solamente el equipo captó la señal de prueba realizada para dar comienzo a la evaluación del sitio, por lo cual se recomienda para la instalación de una estación sísmológica, pero por el momento el sitio no será tenido en cuenta para el diseño inicial pues las condiciones de acceso para el material de la caseta para el sísmógrafo son un poco difíciles debido a que se accede por el río. También hay que tener en cuenta que la zona ha presentado alteración del orden público y presencia de minas antipersona.

4.26 Estación Acandí-Antena

A Acandí se llega desde Turbo en lancha, desde el puerto de Acandí, en lancha se toma el brazo norte del río Acandí hasta el punto GPS108 donde se encuentra una casa abandonada. Se camina hasta el punto GPS107 donde está el camino que se interna en la montaña, se sigue este camino hasta llegar a la Antena que se observa desde el puerto y un poco antes de ella, en el punto GPS106 se ubica la estación CME y hay un afloramiento de basaltos.

La estación Acandí se encuentra ubicada sobre la serranía de la iguana la borde el golfo de Urabá y está compuesta por roca basáltica con presencia de, limolitas y rocas calcáreas. También hace parte de un lineamiento estructural que se extiende hasta el sector conocido como Peñalosa vía hacia Balboa, y que el municipio de Acandí pierde continuidad debido a la influencia del río Tolo.

La evaluación del sitio se hizo utilizando uno de los equipos CME, en un registro que duró dos días y medio (ver figura A.3.31), se registraron varios eventos sísmicos, el primer día las condiciones climáticas fueron buenas y el registro fue suave, pero durante los posteriores días, hubo varias tormentas lo que se vio influenciado en los registros sísmicos. En sí el sitio es apto para la instalación de un sísmógrafo, pero es aconsejable un diseño de la caseta que proteja a la señal de la influencia del viento o la lluvia.

4.27 Estación Titumate

A Titumate se puede llegar desde Turbo o Acandí en Panga o desde Balboa en Moto por carretera, desde el centro del pueblo se toma la vía hacia Balboa y aproximadamente a un kilómetro desde Titumate se llega a los primeros cerros, por la corraleja adyacente a la vía esta el camino que se dirige hacia la estación GPS112 en uno de estos cerros, debajo del cual se encuentran, afloramientos de volcánicos intercalados con eventos sedimentarios marinos que se observan en la orilla del mar y que hacen parte de la formación complejo volcánico Santa Cecilia la esquí (ver figura 11), esto se evidencia debido a la forma de la bahía de Titumate como se muestra en la figura A.3.32.

Para evaluar este punto se usó la estación CME, su registro se observa en la figura A.3.32 el cual registra el momento en que se instala y desinstala el sísmógrafo, durante la evaluación el

registro es suave y no se presentan señales que produzcan ruido. Por lo anterior se recomienda la instalación de un sismógrafo en este sitio, pero por el momento la estación no se tendrá en cuenta en las preseleccionadas.

4.28 Estación Triganá-Camino Comunitario

Desde Turbo o Acandí se puede llegar en lancha a Triganá donde se pregunta por Fodelsa, sitio del cual se parte hacia la finca de Prudencio Miranda, Padre de Orlando Miranda quien es el encargado de Fodelsa. Se toma el camino paralelo a Fodelsa y se llega a la casa de Prudencio Miranda, donde hay un afloramiento de rocas sedimentarias. Se sigue hacia el camino comunitario y 200 metros hacia el sur se encuentra el punto GPS114 donde se instaló la estación CME con la cual se evalúa el punto.

Triganá al igual que Titumate se encuentra sobre la formación complejo volcánico Santa Cecilia la esquís, en el sitio evaluado se observan afloramientos de eventos sedimentarios, donde cerca a uno de ellos se realiza la evaluación del punto cuya señal se ve en la figura A.3.33. Este registro después de la instalación del equipo es suave y no presenta señales o ruido de gran amplitud, por lo cual el punto es apto para la instalación de un sismógrafo.

4.29 Estación Capurganá-Sapzurro

Ingeominas en la red nacional de sismógrafos tiene una estación Q330 en el camino a Sapzurro en Capurganá, desde Capurganá se toma el camino a Sapzurro se pasa por el río punto GPS119 Se sigue hasta llegar a la antena satelital de INGEOMINAS GPS120, mas adelante, se encuentra el afloramiento, punto GPS121 donde se encuentra instalado el sismógrafo y el digitalizador de Ingeominas, como se muestra en la figura A.3.34. Para llegar a este punto es necesario el acompañamiento por parte de un guía.

Capurganá también se encuentran formaciones volcánicas intercaladas con eventos sedimentarios y la estación se encuentra sobre el mismo lineamiento estructural que viene desde la serranía de la Iguana en Acandí.

Se colocaron los equipos K2 y C3, para evaluar y comparar ambos equipos, las señales se muestran en la figura A.3.35, y muestran que el equipo CME registra dos eventos que son más evidentes en su componente vertical, y que el equipo K2 también registra los dos eventos siendo más evidentes en las demás componentes. De resto se observa un registro suave lo cual indica que el afloramiento de Capurganá es apto para la instalación de un sismógrafo.

4.30 Estación Balboa-Amor y Balboa-Amor2

Desde Turbo se llega a Ungía y desde ahí por carretera se llega a Balboa, en donde se toma a caballo el camino que bordea el río Tanela, hasta llegar al afloramiento punto GPS197 conocido con el nombre de Amor. En este primer punto fue evaluado el sitio con el equipo CME (ver figura A.3.36), no se presentaron irregularidades en la señal de modo que el punto se considero como apto para la instalación de una estación sísmica. Ocurrió que la estación

presenta alto riesgo de derrumbe por lo cual se evaluó un nuevo sitio, cercano a esta, la cantera Balboa amor 2, en la cual se realizó la prueba y no se encontró ninguna señal o ruido presente.

Los afloramientos de Balboa están ubicados en los bordes de la serranía del Darién donde se presentan rocas tales como granodioritas y granitos, también el sitio está asociado con lineamientos estructurales que provienen que demarcan la parte superior del Darién.

4.31 Estación Unguía-Antena Comcel

Desde Turbo se llega en lancha a Unguía, y desde ahí se puede llegar a pie o a caballo hacia la torre de Comcel donde se presentan varios afloramientos de Granito. En Unguía se toma la vía que conduce al caserío indígena de los Katios y al cerro del limón y a Peye, sobre esta vía en el punto GPS208 se encuentra la entrada al camino que conduce a la torre de Comcel, ya en la torre se bajan unos quinientos metros hacia el sur donde se encuentra el afloramiento seleccionado para la estación, punto GPS207, la evaluación del punto se hizo con el equipo CME (ver figura A.3.37).

La estación Unguía se encuentra ubicada sobre la serranía del Darién al parecer, sobre un lineamiento estructural que viene desde los cerros del cuchillo, las lomas aisladas del cuarenta, influenciado por la falla de Murindó. En el área hay presentes granodioritas, que guardan gran semejanza con la litología presente en los cerros del cuchillo.

En la figura A.3.37.c, se muestra el registro de la estación Unguía, donde se registro un evento captado los tres canales del sensor. De resto se registra una señal suave con bajos niveles de ruido, por lo cual se cumplen las condiciones para la instalación de una estación sismológica.

4.32 Estación El Gilgal

Desde Ungía se llega al Gilgal tomando la carretera que se dirige hacia Balboa, en la salida del pueblo, de nuevo por la carretera que conduce a Balboa, se encuentra el punto GPS214, por el cual hay caminos por los cuales se pueden acceder hacia la zona montañosa. Al final del camino y más o menos a media hora a pie se llega hasta el punto GPS212, donde fue ubicada la estación.

La estación Gilgal se encuentra ubicada sobre una pequeña serranía (figura A.3.38) cuya litología de acuerdo con el mapa geológico hace parte de la formación complejo volcánico Santa Cecilia la esquís ver figura 11. El sitio al cual se pudo acceder es muy selvático. Esta estación debido al difícil acceso al área debe ser reubicada o descartada a la hora de realizar el diseño de transversas.

4.33 Estación Cerros del Cuchillo

Desde Chigorodó se toma la vía el tigre y Barranquillita, se cruza el río León y se toma el aparte para Blanquicero GPS129, y de ahí se sigue hasta los cerros del cuchillo, se bordean estos hasta llegar a la finca la siete que marca la entrada a donde se encuentran una secuencia de

afloramientos a unos doscientos metros desde la carretera y visibles desde ella (ver figura A.3.39.). La estación CME es colocada en el punto GPS130, donde hay un afloramiento de granodioritas.

La estación cerros del cuchillo se encuentra bastante influenciada por la falla de Murindó ya que esta se encuentra sobre esta. También es un sitio de alta sismicidad ya que hay influencia de la juntura de los bloques Panamá y Andino. Hace parte del mismo lineamiento estructural que une las estaciones de Unguía y de Tumará.

En la figura A.3.39.d, muestra el registro obtenido en la estación, no se presentaron eventos durante las pruebas. La estación se considera muy apropiada para la instalación de un sismógrafo.

4.34 Estación Jurado Alto

Se toma la vía a Medellín desde Chigorodó, y pasando el puente Jurado se encuentra el aparte hacia Jurado alto GPS134, se toma esta vía que llega hasta el río Jurado, en carro se puede transitar por el río hasta la Finca las Tecas GPS135, de ahí se toma el camino por detrás de la casa de la Finca las Tecas se cruza la quebrada y se sube hasta el punto GPS136, donde se encuentra el afloramiento, areniscas consolidadas. Para la evaluación de este sitio se usó la estación CME.

En la figura A.3.40, se muestran el afloramiento y el sitio donde se realizó la prueba, la señal se presenta un nivel de ruido alto en uno de sus canales por un lapso de tiempo, posiblemente debido a el paso de alguna de las personas de la comisión, pero en general no se presentan señales constantes que produzcan ruido en la señal, por lo cual se considera como un sitio apropiado para la instalación de un sismógrafo.

A los alrededores de la estación Jurado, que se encuentra en la parte sur del bloque y en la base de la serranía de Abibe, hay presencia de arenitas líticas, calizas y conglomerados. El sitio tiene influencia de las fallas de Uramita, de Murindó y del Billete. Jurado es el sitio sobre la serranía de Abibe más cercano a una vía principal, lo cual lo hace muy especial a la hora de la instalación de una estación sismológica.

4.35 Estación el Escuela el Congo

Desde Chigorodó en dirección a Carepa después de cruzar el río se toma la apartada hacia el Congo, se llega hasta el punto GPS095 antes del caserío indígena del Coco, en este lugar se ubica la finca Villa Nela, por la corraleja GPS093 parte el camino hacia la escuela del Congo, se deben cruzar varios ríos y se debe estar acompañado por un guía. Luego se llega a la escuela el Congo, de ahí se sube a una colina donde se encuentra el punto GPS145, en donde está el sitio donde se evaluó. Un punto alternativo se encuentra más adelante por la quebrada que pasa por el Congo donde hay un afloramiento en el punto GPS143.

La estación escuela el congó se encuentra ubicada en la parte baja de la serranía de Abibe, como se muestra en la figura A.3.41, la litología presente hace parte de terrazas aluviales, con presencia de afloramientos de litoarenitas.

De acuerdo con el registro obtenido, la estación es apta para la instalación de un sismógrafo, pero debido a la dificultad de acceso a la base de la serranía de Abibe, esta será descartada por el momento, en el diseño de transversas.

4.36 Estación El Embarcadero

Por la vía que conduce al aeropuerto de Urabá se llega al embarcadero de Banano, en el punto GPS219 se realiza una prueba simultanea con los equipos K2 y CME. El registro no revela irregularidades ni niveles de ruido altos (ver figura A.3.42).

La estación por encontrarse dentro del área de los depósitos aluviales, es decir material no consolidado, puede presentar problemas para la adquisición de la señal, pero esta constituye un buen lugar para tener un control de las ondas sísmicas que viajan en el área de material no consolidado y depósitos aluviales del Urabá. El diseño de la caseta deberá tener un mojón para el sensor bastante profundo, de tal manera que este sea firme.

4.37 Estación Alto Carepa

Desde Carepa se toma la vía hacia el corregimiento de Piedras Blancas GPS150 se continua por esta hasta llegar al alto Carepa, de donde se toma el camino que sale hacia el norte del corregimiento, se cruzan dos cercas GPS152 y después de la segunda es visible un afloramiento de rocas areniscas GPS154, con presencia de lodolitas y conglomerados arenosos, donde se ubica la estación CME y K2 (ver figura A.3.43).

Alto Carepa es el único sitio dentro del bloque que tiene acceso por vía terrestre a la serranía de Abibe, también es uno de los sitios donde es más delgada la serranía. Tiene influencia de las fallas del Quimba, el Billete y Uramita, esta ultima que al parecer ha quebrado la serranía de Abibe en Alto Carepa.

También hay que mencionar que hasta Alto Carepa, hay presencia del ejército y para desplazarse por el área hay que tener previa autorización por parte de esta entidad.

4.38 Estación Buchegallo

Después del alto Carepa, se sigue hacia el corregimiento del Llanito GPS156 de ahí se toma el camino por el rio hacia Buche Gallo, a cuatro kilómetros aproximadamente desde el Llanito. Quinientos metros antes de llegar al caserío de Buche Gallo se encuentra una llanura y en un

borde de este se presenta un afloramiento de areniscas (ver figura A.3.44), en el punto GPS164, a doscientos metros del caserío de Buche gallo, que también aparece varias veces en los bordes del río (GPS162 y GPS163). Este sitio fue evaluado con la estación CME.

El sitio se encuentran arenitas con capas y lentes de carbón, también lodolitas y conglomerados arenosos. Estructuralmente Buche Gallo se encuentra en la base oriental de la serranía de Abibe, influido por las fallas de fallas del Quimba, el Billete y Uramita. Buche Gallo es un corredor entre la región del Urabá y el Sinú, cruzando por Saisa y la represa de Urra.

4.39 Estación Batata-La Miel

Desde el municipio de Tierra alta, se toma la vía a puerto frasquillo, y en el punto GPS166 se toma el aparte hacia Batata por el río Sinú, se cruza el río Sinú en planchón y se continua el recorrido hacia Pueblo Nuevo, y se sigue en dirección de las montañas. En el punto GPS169 a unos cinco kilómetros antes de Batata, se encuentra un afloramiento de areniscas no consolidadas con fragmentos de rocas calcáreas en un borde de la carretera, en frente de la finca del asomadero, de donde parte un camino hacia el punto GPS171 donde se ubica la estación CME y se realiza la evaluación del sitio (ver figura A.3.45). En el punto GPS173, hay más presencia de rocas calcáreas y podría ser un sitio alternativo para la instalación del sismógrafo

El sitio escogido se encuentra en un borde del sinclinal de Tucurí, y hacía el sur del sinclinal de Jaraguai, con presencia de arenitas de grano fino, lodolitas y lodolitas calcáreas. Hay influencia de las fallas del Sinú y del billete.

4.40 Estación Puerto Frasquillo-Santa Ana

Desde tierra alta se toma el camino hacia puerto Frasquillo y la represa de Urra, sobre la carretera, cinco kilómetros antes de puerto frasquillo se encuentra el caserío de Santa Ana GPS177 de ahí se toma el camino hacia la montaña y se dirige uno hacia el punto GPS179 después de cruzar una quebrada, siguiendo el camino se llega al punto GPS180, donde se encuentra un afloramiento de lodolitas calcáreas en el cual se colocó el equipo CME (ver figura A.3.46).

En el área hay presencia calizas, arenitas y lodolitas calcáreas, con influencia de la falla del Sinú

4.41 Estación Tierra Alta-La Guajira

Por la vía hacia Puerto Frasquillo se toma la apartada hacia el caserío de San Rafael GPS183 unos cinco kilómetros después de Tierra Alta, de ahí se toma el camino hacia la finca la Guajira, donde hay un afloramiento de lodolitas calcáreas en el punto GPS186 (ver figura A.3.47), se colocó la estación CME para evaluar la calidad del sitio.

Al igual que en la estación de Puerto Frasquillo Santa Ana, hay presencia calizas, arenitas y lodolitas calcáreas, e influencia de la falla del Sinú y se encuentra en la base de la serranía de San Gerónimo.

4.42 Estación Cadillo-Holanda

Desde Canalete, Córdoba, se toma la vía hacia cadillo, se cruza el corregimiento de Cadillo y se llega hasta el caserío Garrapata, desde ahí se toma la vía al Tambito y hacia las haciendas Holandita y Candelaria, en el borde de la carretera se encuentra el punto GPS190 donde hay un afloramiento de roca sedimentaria no consolidada como se muestra en la figura A.3.48. En este sitio hay un camino que pasa por detrás del afloramiento y se llega hasta el punto GPS191 donde se colocan la estacione CME para evaluar el sitio.

La litología presente en el área son principalmente areniscas y lodo arenitas de grano fino y el área hace parte del sinclinal del Carmelo y hay influencia de las fallas de San Juan, el Guineo y de Santa Catalina.

De acuerdo con la señal registrada (ver figura A.3.48.d), el registro no presento niveles de ruido altos, después de la instalación de equipo, por lo tanto el sitio resulta adecuado para la instalación de los sismógrafos.

5. Estaciones a las cuales no se pudo acceder

A continuación se describen las estaciones a las cuales no se puede acceder en el momento por diferentes por diferentes motivos.

5.1 Estación Pueblo Bello-Puerto Rico

Por la vía Pueblo Bello Alto de Mulatos, dos kilómetros después de Pueblo Bello, hay una aparte con una carretera que llega hasta al río Mulatos, se cruza este a pie o en bestia y se toma el camino que se dirige hacia la Unión y la Ilusión, a la comisión solo le fue posible llegar hasta la escuela de la Ilusión, pero la estructura de interés se encuentra en el caserío de Puerto Rico, y su acceso al parecer es más fácil por San Pedro.

5.2 Estación San José de Mulatos-La Esperanza

Vía San José de Mulato Pueblo Nuevo, por el municipio de San José, se toma el camino hacia la vereda la esperanza donde se encuentra la estructura de interés. Debido al tiempo y al terreno no fue posible llegar a la esperanza, se llegó hasta el olleto donde se tiene una vista general de la estructura.

5.3 Estación Rancho Acandí-Rio Guati

Desde Acandí se toma el camino hacia el rancho Acandí, se cruza el rio Guati y se continua hacia los bordes de la serranía del Darién, por condiciones climáticas y fuertes lluvias que mantenían los ríos crecidos no se pudo acceder al área.

5.4 Estación Peñalosa-Rio Brazo seco

Desde Acandí se toma la vía hacia Balboa, en el caserío de Peñalosa se toma el camino en dirección de la serranía del Darién por el rio Brazo seco, hasta la primera elevación en dirección del Darién. No fue posible conseguir ayuda para acceder al sitio.

5.5 Estación Ungía-Antena Telecom-El Aguacate

Desde el municipio de Ungía se toma la carretera hacia el caserío indígena de Arquia de ahí se aparta hacia el camino de la torre de Telecom, ubicada sobre la serranía del Darién. Puesto que la zona es un área de orden público alterado y no se pudo realizar la respectiva socialización para acceder al área.

5.6 Estación Rio Sucio

Desde Turbo se toma una lancha que parte hacia Rio Sucio por el rio Sinú, debido a la dificultad en el transporte de los equipos no se pudo acceder a la zona, además se considero que las estaciones de Unguía y de Tumará, podrían cubrir esta estación.

5.7 Estación Urra-Rio Sinú, Estación Urra-Rio Verde

Desde Puerto Frasquillo se toma una lancha Johnson hacia el desemboque del rio Sinú o en el rio Verde, hay que pedir ayuda de la comunidad indígena Embera Katios para ubicar un punto, pues la zona es un área de orden público alterado y se recomendó no acceder.

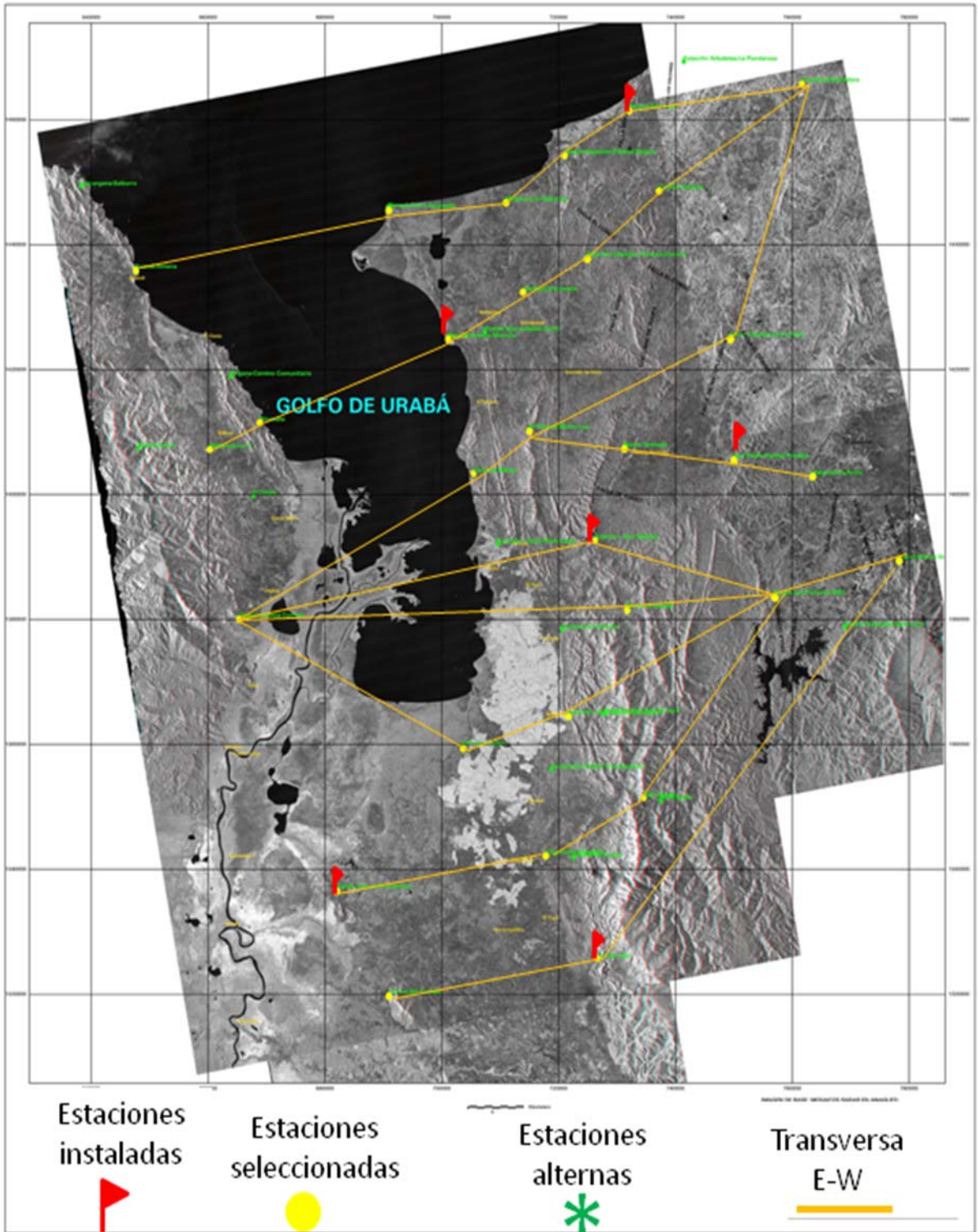


Figura 12. Diseño de la red de estaciones sismológicas, estaciones instaladas, seleccionadas y sitios alternos. Se muestra el diseño de transversas con dirección Occidente-Oriente.

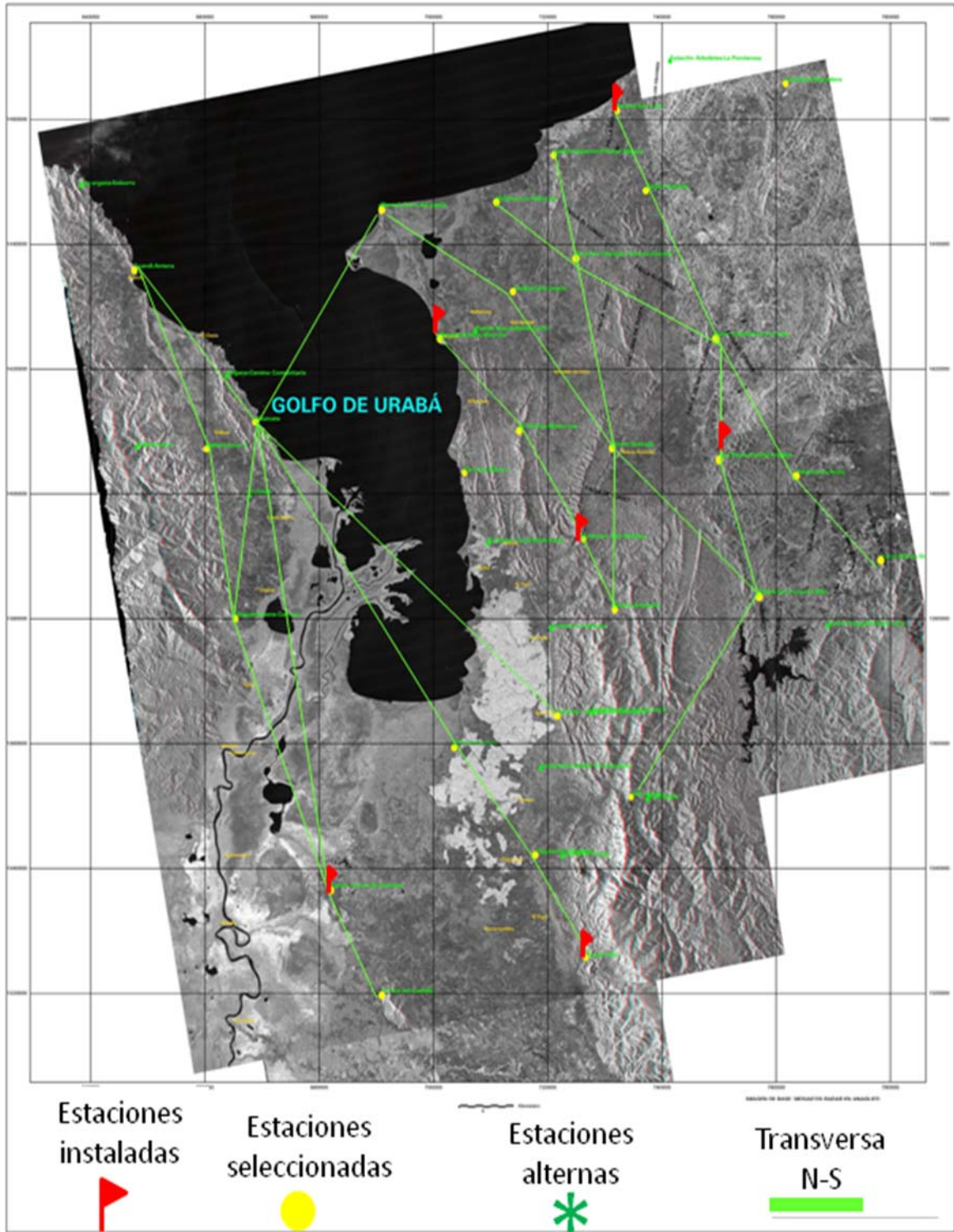


Figura 13. Diseño de la red de estaciones sísmológicas, estaciones instaladas, seleccionadas y sitios alternos. Se muestra el diseño de transversas con dirección Norte-Sur.

6. Estaciones seleccionadas y diseño de transversas

En la figura 11, se muestran las treinta estaciones seleccionadas (ver apéndice 1.) para la instalación de sismógrafos, estas fueron escogidas con el fin de que sea posible captar los primeros arribos de las ondas sísmicas de la mejor manera, y también para que se pudiesen modelar las cuencas que se presentan dentro del bloque.

Las estaciones fueron dispuestas de tal forma que se pudiesen realizar perfiles o transversas Occidente-Oriente, y Norte-Sur, con las cuales se realiza la tomografía sísmica, en las figuras 12, y 13, se muestra el diseño de transversas con las cuales se puede modelar el bloque, cada transversa atraviesa diferentes estructuras.

Las estructuras con lineamiento estructural, Occidente-Oriente son atravesadas por transversas, cuyos puntos de control, es decir los sismógrafos, se encuentran en los vértices de las estructuras. El trazado de transversas Norte-Sur, permitirá modelar mejor las estructuras presentes ya que en su mayoría está orientadas Occidente-Oriente.

De los cuarenta y cuatro sitios escogidos, se seleccionaron seis para instalar los equipos que posee la Universidad Nacional. Se escogieron las estaciones, San Juan-Antena Comcel, Necoclí-Antena Movistar, Alto de Mulatos, San Pedro-El Pueblito, Tunará Cerros del 40, y Jurado-Alto. Estas estaciones fueron escogidas ya que junto con la de Capurganá cubrían todo el bloque, y los datos iniciales, pueden ser fuente para elaborar un modelo de velocidades del subsuelo en el bloque.

7. Diseño de los bunkers para los sismógrafos

Para la instalación y adecuación de los sitios donde se instalan los sismógrafos se buscan afloramientos, o sitios libres de ruido ambiental o producido por ganadería, quebradas, o actividad humana. A continuación se describe el diseño cada uno de los pasos realizados para la adecuación de la estación sismológica en campo.

En primer lugar se cava un hueco en la tierra de 80x80cm y 60cm de profundidad, y dentro de este, un hueco para mojón de 25x25cm donde se coloca el sensor del instrumento. Se realiza una caseta con ladrillo en adobe, que es resistente a la humedad, y una tapa en concreto sella la caseta, la cual se deja a 20cm sobre el suelo para que sea visible. Dentro de la caseta hay un recubrimiento en hycopor que protege el instrumento, también es colocado un tubo para el desagüe (ver figura 14).

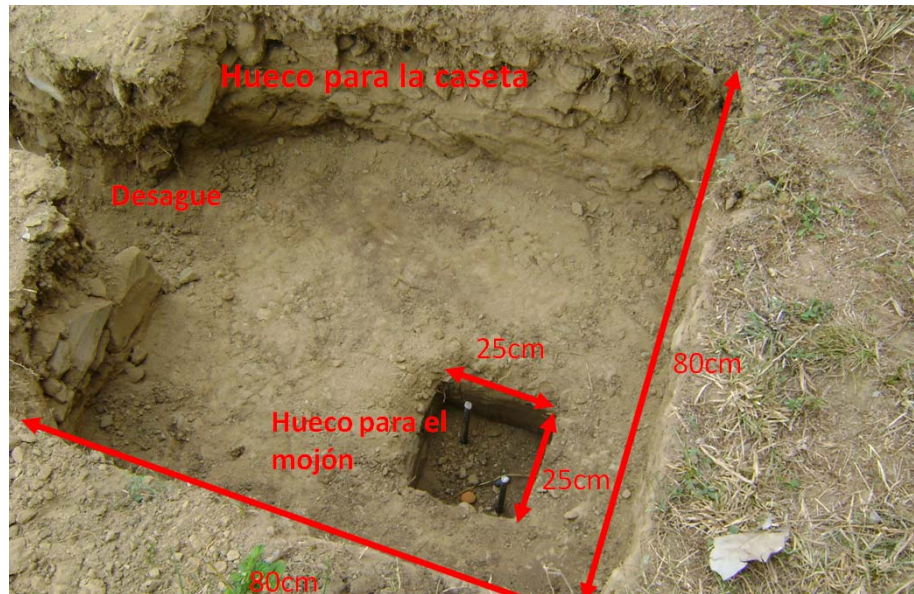


Figura 14. Hueco para la construcción de la caseta, y hueco para el mojón.

Los instrumentos a colocar dentro de las casetas son sismógrafos de banda ancha, dispositivos que envían una señal a un dispositivo dentro de la caseta, que no interfiere y no son afectados por ningún tipo de comunicación y no afectan de ninguna forma la salud de personas y animales que se puedan encontrar cerca del instrumento. La alimentación del instrumento se hace por medio de dos pilas secas de 55A y una de 33A ambas a 12V, que no presentan ningún tipo de emisión de gases, químicos u otro tipo de sustancia que pueda afectar la salud de personal, animales, ni tampoco de vegetación o cultivos cercanos a ella.



Figura 15. Caseta en adobe, tiene 80x80x60cm, tiene 40cm de profundidad y sobresale 20cm desde el suelo para que sea visible.



Figura 17. Estación sismológica dentro de la caseta.



Figura 18. Vista final de la caseta para las mini-estaciones sismológicas.

La instalación del instrumento se realiza con previo acuerdo con el propietario del predio donde va a operar, dejando copia de las llaves que abren la caseta, con el fin de cualquier autoridad que desee observar el dispositivo lo haga sin ningún tipo de restricción. Finalmente la Universidad Nacional de Colombia menciona que removerá las casetas una vez finalice la función de estas, de lo cual se informa al propietario o junta de acción comunal presente en el área.

8. Estaciones instaladas

8.1 Estación Jurado Alto

En la estación Jurado alto fue instalado el equipo Q330 (figura 19), su acceso es relativamente fácil, esta estación permitirá detectar la sismicidad proveniente de la serranía de Abibe, que como se menciona es una de las estructuras más importantes que atraviesa el bloque. Se usaron varillas en contacto con la roca para el cuerpo del mojón.

El GPS del equipo tiene buena recepción dentro de la caseta, y el equipo sincroniza su reloj en base a este.

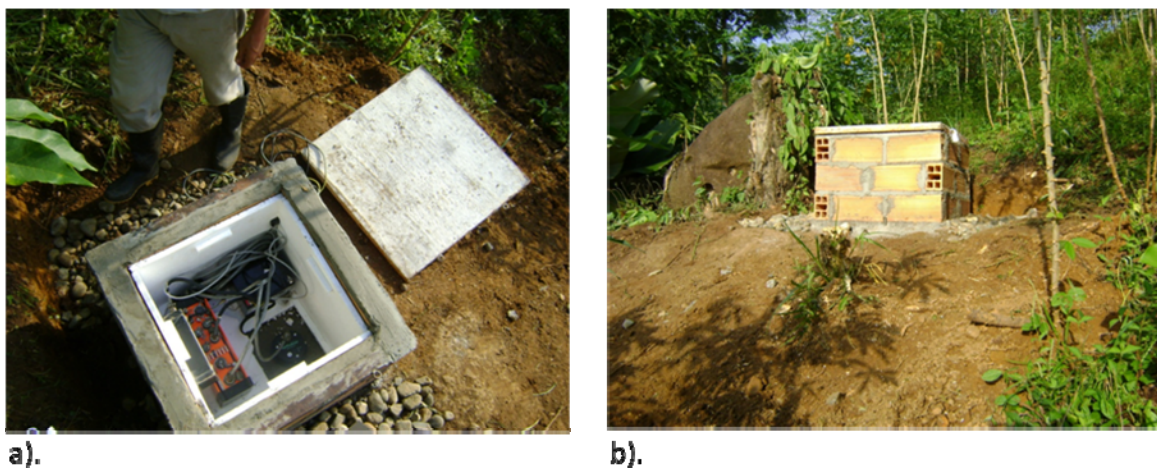


Figura 19. a). Disposición del equipo Q330, b). Afloramiento y caseta de Jurado-Alto

8.2 Estación Tumará- Cerros del cuarenta

La estación de Tumará, está sobre la falla de Murindó, se espera obtener muy buenos registros de ella, se instalo uno de los equipos CME, primero fue sincronizado gracias a su GPS accesorio, que da la marca inicial en el tiempo y después fue cerrada la loza, ya que al cerrar la tapa de la caseta, el GPS pierde su señal, pero el software del digitalizador lleva su propia cuenta (ver figura 20).



a).

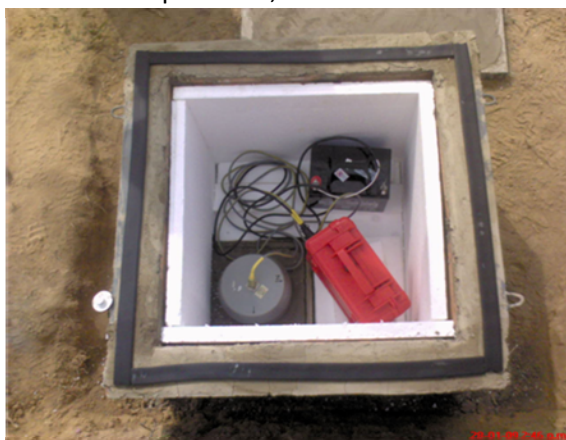


b).

Figura 20. Estación Tumará cerros del 40, a). Disposición del equipo CME y b). Caseta, se muestra el desagüe.

8.3 Estación Alto de Mulatos

En la estación fue adecuado el terreno de tal forma que fuera plano, no hubo inconvenientes en su instalación. La caseta fue hecha en ladrillo de barro cocido y el mojón fue puesto de forma rígida usando las varillas de un metro las cuales se enterraban para dar más firmeza (ver figura 21). Esta no se instaló bajo la tierra debido a inconvenientes con el terreno. De forma similar a lo anterior, se dejó la tapa destapada por un tiempo para que el equipo tomara su marca de tiempo con él, GPS.



a).



b).

Figura 21. Estación Alto de Mulatos, a). Disposición del equipo CME y b). Caseta.

8.4 Estación San Pedro

Se instaló el tercer equipo CME en la estación San Pedro, el diseño de la caseta se hizo un poco más bajo con el fin de probar si el GPS tendría mejor recepción pero no hubo cambio. Se dejó la caseta abierta por un momento, para que el equipo tomara su marca en el tiempo.



a).

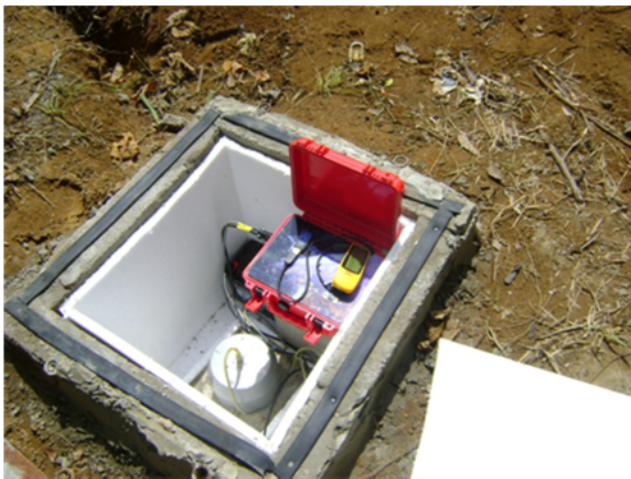


b).

Figura 22. Estación San Pedro-El Pueblito, a). Caseta en adobe y b). Recubrimiento en icopor

8.5 Estación Necoclí-Antena Movistar

La caseta de la estación de Necoclí se encuentra a diez metros del muro donde se encuentra la antena, no se observó influencia de la antena sobre la señal. Se instaló el equipo CME, por ser un sitio elevado, la señal de GPS del equipo tiene muy buena recepción, pero con la caseta cerrada se pierde en varias ocasiones.



a).



b).

Figura 23. Estación Necoclí-Antena Movistar, a). Disposición del equipo CME y b). Caseta.

8.6 Estación San Juan-Antena Comcel

En la estación San Juan fue instalado el equipo K2, este equipo no tiene GPS interno, de manera que su sincronización se realizaba por medio de un computador portátil al cual se le introducía la hora que registraba un GPS interno, la interface RS232 y el software del equipo permitían la sincronización de esta forma.



a).



b).

Figura 21. Estación San Juan de Urabá, a). Disposición del equipo K2 y b). Caseta.

Las seis estaciones instaladas, en conjunto permitirán establecer un modelo de velocidades para el bloque, detección de epicentros y la caracterización de algunas estructuras y cuencas.

La estación de Tumará-Cerros del 40, junto con la de Juradó-Alto permitirán estudiar en primera instancia la profundidad de la cuenca del Urabá. De forma similar lo hacen las estaciones Alto de Mulatos con San Pedro el Pueblito, y Necoclí con San Juan-Antena Comcel, que permitirán estudiar la profundidad de basamento sedimentario, basamento cristalino y zonas de cuenca presentes entre ellas.

Las estaciones Juradó-Alto y Alto de Mulatos permitirán estudiar cómo se transportan las ondas sísmicas a través de las serranías, y para los sismos que se generen bajo la serranía de Abibe, Jurado será referencia inicial, para ver como se transportan las ondas sísmicas hacia las demás estaciones.

De forma similar la estación Tumará-Cerros del 40, será referencia, para sismos que se generen en la falla de Murindó, las demás estaciones nos irán informando como se transportan las ondas sísmicas a través del basamento cristalino.

Con los eventos registrados por la estación Capurganá, de la red sismológica nacional, es posible empezar a estudiar cómo se transportan las ondas sísmicas a través del golfo de Urabá, estudiando las señales de las estaciones Necoclí-Antena Movistar, Alto de Mulatos y San Juan. De igual forma se pueden usar las estaciones de Tumará y Necoclí para mirar el comportamiento en el golfo.

9. Conclusiones y recomendaciones

- Se realizó una labor de reconocimiento del bloque Urabá, Sinú-San Jacinto que contempla la mayoría de estructuras geológicas a escala regional presentes en el área, ubicando y evaluando sitios para la futura instalación de sismógrafos.
- En cada sitio fue evaluada la actividad sísmica de manera satisfactoria se encontraron algunos problemas de ruido sísmico, pero se aprendió como solucionarlos, tales como ruido que producen caminos y carreteras cercanas.
- El diseño de la red sísmica permitió un trazado de transversas que caracterizan sísmicamente las estructuras más importantes de la región. Fueron registrados varios eventos, de magnitud no determinada, que nos corrobora la sismicidad del área que asociamos a eventos producidos por la falla de Murindó, sismicidad en la serranía de Abibe y el Darién.
- Estructuras donde hay posibilidad de encontrar hidrocarburos podrán ser modeladas con el diseño sismológico establecido, ya que estas estructuras poseen en sus vértices estaciones sismológicas que nos permitirán observar profundidad de basamento, respuesta en velocidad de la litología, extensión y espesor de las cuencas.
- La socialización del proyecto en el área del bloque fue exitosa, ya que se contó con la colaboración de CorpoUraba, la Policía, el Ejército y de muchas personas que nos ayudaron a encontrar afloramientos para la instalación de sismógrafos.
- Se instalaron los seis equipos que posee la Universidad Nacional y se encuentran registrando datos de forma satisfactoria, también la ubicación de ellos, junto con las estaciones de la red sismológica Nacional cercanas, serán muy útiles a la hora de desarrollar el primer modelo de velocidades del bloque y calibrar modelos en base a la detección de epicentros.
- Se recomienda seguir una metodología de trabajo, que comenzaría con una muy buena sincronización de equipos y para ello se recomiendan las estaciones Q330 pues la recepción de la señal GPS es muy buena, además se sugiere mantener un monitoreo constante de eventos registrados por la Red Sismológica Nacional, lo que permitirá una mejor clasificación y referencia a eventos registrados por la red instalada en el bloque.
- El siguiente paso recomendado es crear un modelo de velocidades hipotético 2D o 3D, en base a la cartografía geológica e información geológica y geofísica previa, lo que permitirá desarrollar o implementar desde ya, software de inversión para tomografías sísmica. Con las seis estaciones instaladas se ajustará desarrollar

modelos de velocidades del bloqué, que en principio se calibrarían localizando hipocentros de sismos en conjunto con la red sismológica Nacional.

- Ya instaladas las treinta estaciones sismológicas que contempla el proyecto, se podrá densificar el modelo de velocidades en cada punto, y así obtener y establecer la tomografía sísmica del bloque.

También se recomienda socializar en cada sitio lo que se está haciendo, ya que esto evitará sabotaje de las estaciones y una apropiación por parte de la comunidad de las estaciones, es decir la comunidad será parte de este proyecto y ayudará a la protección de los equipos. Hay que mencionar a la comunidad que la universidad se compromete a retirar las casetas una vez finalizado el proyecto.

Bibliografía

- Stein Seth, An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure, Blackwell Publishing, 2003.
- Mapa de amenazas sísmicas de Colombia, Red Sismológica Nacional, INGEOMINAS subdirección de información geocientífica. <http://tms.ingeominas.gov.co/web/2004/mapas/map2/index.html>
- Q330 Operations Guide: Q330HR/Q330 Operation Overview of Support Tools Baler, Operation Document, Revision B, Document Version 20070409, QUANTERRA, INC.
- PB14 Baler Design Overview Quanterra, QUANTERRA, INC.
- Rodolfo Barrera Olmos Geólogo, EVALUACIÓN TECTÓNICA Y SISMOLÓGICA Y DESPLIEGUE DE LA RED SISMOLÓGICA PORTÁTIL EN EL ÁREA DEL PROYECTO MULTIPROPÓSITO LOS BESOTES, INFORME FASE REGIONAL Interpretación de Imágenes de Satélite en los alrededores del Proyecto Multipropósito Los Besotes Departamento del Cesar Bogotá, INGEOMINAS, Septiembre de 2006.
- Altus Monitor Mode Communications, Documents 302219, Revision P, March 2008.
- Michel Hermelín y Hansjürgen Meyer, Desastres de origen natural en Colombia, 1979-2004 Universidad Eafit, 2005.
- BOLETÍN DE SISMOS Julio – Diciembre de 2006 Red Sismológica Nacional de Colombia - RSNC, Volumen 14, No. 2, INGEOMINAS, Bogotá, junio de 2007.
- Mapa de la sismicidad en Colombia 2000, Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC), INGEOMINAS, Bogotá, Diciembre de 2000.
- Sismograma digital en tiempo real de estaciones de banda ancha, Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC). <http://seisan.ingeominas.gov.co/sismograma-digital-seisan.html>