

**PROPUESTA DE SITIOS PARA LA PERFORACIÓN DE POZOS
DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL PROYECTO MINERO
LLUVIA-JOJOBA KM 5.5 CARR. MAGDALENA-TUBUTAMA
INT. 13 KM, MAGDALENA DE KINO, SONORA, MEXICO**



Preparado para: MINERA COLUMBIA DE MÉXICO S.A DE C.V

**Preparado por: FACULTAD DE INGENIERÍA, ÁREA CIENCIAS
DE LA TIERRA, UASLP.**

**INVESTIGADORES PARTICIPANTES: ANTONIO CARDONA BENAVIDES,
GUILLERMO JAVIER CASTRO LARRAGOITIA, JORGE ACEVES DE ALBA
ESTUDIANTES: CASTILLO GUERRERO MAYRA IVONE, SERNA BAFUN JOSE
HELIOS, PEÑA ORTEGA MAYRA IVETT*, JURADO HERNANDEZ SEBASTIAN*
(*estudiantes de intercambio de la UNISON)**

JUNIO 2015

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ESTUDIO DE LA GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL ÁREA BASADO EN INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE	2
2.1 Metodología	2
2.2 Interpretación estructural de la imagen de satélite	7
2.2.1 Estructuras regionales	7
2.2.2 Análisis estructural en la zona de estudio	10
3. RECORRIDOS DE CAMPO PARA VERIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y DEFINICIÓN DE SITIOS PARA REALIZACIÓN DE SONDEOS GEOFÍSICOS.....	13
3.1 Geología superficial.....	13
3.1.1 Metasedimentos (JiMS)	13
3.1.2 Esquisto-Gneiss (JiE-Gn).....	15
3.1.3 Formación Morita (Limolita-Arenisca) (KapLm-Ar)	16
3.1.4 Caliza (KapaCz)	17
3.1.5 Granito milonítico (ToGr).....	17
3.1.6 Conglomerado Polimictico-Arenisca (TplCgp-Ar).....	18
3.1.7 Depósitos sedimentarios recientes, Limo-Grava (Qptlm-gv).....	19
3.2 Hidrogeología.....	19
3.2.1 Estudios previos.....	19
3.3 Definición de sitios para la realización de exploraciones geofísicas	21
4. Analisis de laboratorio a muestras de agua subterránea.....	23
5. REALIZACIÓN DE 40 SONDEOS ELECTROMAGNÉTICOS TRANSITORIO EN DOMINIO DE TIEMPO (TEM) PARA SELECCIÓN DE SITIOS PARA LA PERFORACIÓN DE POZOS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA LA OPERACIÓN MINERA ..	30
5.1 Método geofísico utilizado.....	30
5.1.1 Equipo Utilizado	31
5.1.2 Ejecución de los sondeos geofísicos TEM.....	32
5.1.3 Procesamiento de los datos	32
5.1.4 Modelos geoelectricos	33
5.2 Resultados de la interpretación geoelectrica.....	37
5.2.1 Zonificación geoelectrica.....	37
5.2.2 Sección geoelectrica S-01	39
5.2.3 Sección geoelectrica S-02	41
5.2.4 Sección geoelectrica S-03	43
5.2.5 Sección geoelectrica S-04	45
5.2.6 Sección geoelectrica S-05	46
5.2.7 Sección geoelectrica S-06	47
5.2.8 Sección geoelectrica S-07	49
5.2.9 Sección geoelectrica S-08	50
5.2.10 Sección geoelectrica S-09	51
5.2.11 Sección geoelectrica S-10	55
5.2.12 Sección geoelectrica S-11	55
5.2.13 Sección geoelectrica S-12	56

5.2.14	Sección geolétrica S-13	60
6.	PROPUESTA DE SITIOS PARA PERFORACIÓN.....	62

ANEXO 1: FICHAS DE CAMPO DE LAS MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA COLECTADAS

ANEXO 2: INTERPRETACIÓN DE LOS SONDEOS TEM (MODELO CAPAS PLANAS)

ANEXO 3: INTERPRETACIÓN DE LOS SONDEOS TEM (MODELO MULTICAPAS)

ANEXO 4: FOTOGRAFÍAS DE LOS SITIOS DE INTERÉS DEFINIDOS PARA LAS PERFORACIONES EXPLORATORIAS

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1	INFORMACIÓN RECOPIADA PARA LA INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL	2
TABLA 2	DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS	10
TABLA 3	APROVECHAMIENTOS UBICADOS EN CADA UNA DE LAS ZONAS DEFINIDAS	20
TABLA 4	COORDENADAS DE LOS SITIOS EN DONDE SE REALIZARON LAS EXPLORACIONES GEOFÍSICAS (TEM)	23
TABLA 5	DATOS DE CAMPO REGISTRADOS EN SITIOS EN DONDE SE COLECTARON MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA	27
TABLA 6	RESULTADOS DE LABORATORIO DE LAS MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA	27
TABLA 7	FAMILIAS DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	27
TABLA 8	INFORMACIÓN LITOLÓGICA SITIO DE CALIBRACIÓN GEOLÓGICO-GEOFÍSICA.....	34
TABLA 9	ZONIFICACIÓN GEOELÉCTRICA.....	38
TABLA 10	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS Y PRIORIDAD DE LOS BLANCOS DE EXPLORACIÓN PROPUESTOS	63
TABLA 11	VÉRTICES DE LOS POLÍGONOS PROPUESTOS COMO BLANCOS PARA EXPLORACIÓN DIRECTA (DATUM: WGS 84, PROYECCIÓN UTM ZONA 12N.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	UBICACIÓN DE CARTAS 1:50,000 UTILIZADAS PARA EL ESTUDIO	4
FIGURA 2	UBICACIÓN DE TOMAS LANDSAT ETM+ UTILIZADAS PARA EL ESTUDIO.....	4
FIGURA 3	UBICACIÓN DE LOS MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN QUE COMPRENDEN LA ZONA DE ESTUDIO	5
FIGURA 4	UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO DENTRO DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN ESTATAL	5
FIGURA 5	COMPUESTO RGB 7, 4, 1 CON MDE DE FONDO UTILIZADO PARA LA INTERPRETACIÓN DE LA GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	6
FIGURA 6	INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL REALIZADA CON BASE EN LA IMAGEN DE SATÉLITE	8
FIGURA 7	INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL REGIONAL E IMAGEN DE SATÉLITE	9
FIGURA 8	INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL DE LA ZONA DE ESTUDIO	12
FIGURA 9	MAPA GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	14
FIGURA 10	AFLORAMIENTO DE LA SECUENCIA DE METASEDIMENTOS (JIMS).....	15
FIGURA 11	AFLORAMIENTO DEL ESQUISTO-GNEISS	16
FIGURA 12	AFLORAMIENTO DEL ESQUISTO-GNEISS AFECTADO POR ROCAS GRANÍTICAS	17
FIGURA 13	HIDRÓGRAFOS DE APROVECHAMIENTOS SUBTERRÁNEOS	21
FIGURA 14	LOCALIZACIÓN DE SITIOS DE SONDEOS TEM, PERFILES Y SECCIONES VERTICALES	22
FIGURA 15	EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA CONCENTRACIÓN DE LA ALCALINIDAD.....	24
FIGURA 16	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ELEMENTOS MAYORES EN DIVERSOS APROVECHAMIENTOS DE LA ZONA DE ESTUDIO	25
FIGURA 17	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ELEMENTOS MAYORES EN DIVERSOS APROVECHAMIENTOS DE LA ZONA DE ESTUDIO (CONTINUACIÓN).....	26
FIGURA 18	DIAGRAMA DE PIPER.....	28
FIGURA 19	DIAGRAMAS DE STIFF.....	29
FIGURA 20	PANORÁMICA DE CAMPO DEL EQUIPO TERRATEM UTILIZADO, SE OBSERVA LA FUENTE DE PODER Y EL TENDIDO DEL CABLE QUE CONSTITUYE LA BOBINA	32
FIGURA 21	UBICACIÓN DEL BARRENO CI-074T (TEM AE11) CON INFORMACIÓN DE CORTE LITOLÓGICO UTILIZADO PARA CALIBRACIÓN	35
FIGURA 22	UBICACIÓN DEL POZO (CASETA O GENERADOR) EN EL QUE SE REALIZÓ SONDEO DE CALIBRACIÓN TEM AE38.....	36
FIGURA 23	SECCIÓN GEOELÉCTRICA S-01 (MODELO MULTICAPAS)	40
FIGURA 24	SECCIÓN GEOELÉCTRICA S-02 (MODELO MULTICAPAS)	42
FIGURA 25	SECCIÓN GEOELÉCTRICA S-03 (MODELO MULTICAPAS)	44
FIGURA 26	SECCIÓN GEOELÉCTRICA S-04 (MODELO MULTICAPAS)	46
FIGURA 27	SECCIÓN GEOELÉCTRICA S-05 (MODELO MULTICAPAS)	48
FIGURA 28	SECCIÓN GEOELÉCTRICA S-05 (MODELO MULTICAPAS)	49
FIGURA 29	SECCIÓN GEOELÉCTRICA S-07 (MODELO MULTICAPAS)	52
FIGURA 30	SECCIÓN GEOELÉCTRICA S-08 (MODELO MULTICAPAS)	53
FIGURA 31	SECCIÓN GEOELÉCTRICA S-09 (MODELO MULTICAPAS)	54
FIGURA 32	SECCIÓN GEOELÉCTRICA S-10 (MODELO MULTICAPAS)	57
FIGURA 33	SECCIÓN GEOELÉCTRICA S-11 (MODELO MULTICAPAS)	58
FIGURA 34	SECCIÓN GEOELÉCTRICA S-12 (MODELO MULTICAPAS)	59
FIGURA 35	SECCIÓN GEOELÉCTRICA S-13 (MODELO MULTICAPAS)	61
FIGURA 36	POLÍGONOS CON SITIOS QUE SE PROPONEN COMO BLANCOS PARA LA EXPLORACIÓN DIRECTA	63
FIGURA 37	DISEÑO DE POZO PROPUESTO (TIPO 1)	66
FIGURA 38	DISEÑO DE POZO PROPUESTO (TIPO 2)	67
FIGURA 39	DISEÑO DE POZO PROPUESTO (TIPO 2)	68

REPORTE FINAL CON PROPUESTA PARA LOS BLANCOS PARA EXPLORACIÓN DIRECTA.

1. INTRODUCCIÓN

Como parte de los trabajos de explotación de un yacimiento de oro que Minera Columbia de México S.A de C.V. desarrolla en el estado de Sonora, solicitó el apoyo de la Facultad de Ingeniería, Área Ciencias de la Tierra, para realizar una serie de trabajos de exploración que permitan la propuesta de sitios para la perforación de pozos, que solo o en conjunto aporten al menos 50 l/s de agua subterránea. En este documento se presenta la descripción de los trabajos de campo y gabinete realizados con la finalidad de proponer los sitios más convenientes para la perforación de pozos que permitan captar el caudal requerido para las necesidades de la compañía Minera Columbia de México S.A de C.V.

Los trabajos realizados incluyeron:

- i) Estudio de la geología estructural del área basado en interpretación de imágenes de satélite.
- ii) Recorridos de campo para verificación hidrogeológica, toma de muestras de agua subterránea y definición de sitios para sondeos geofísicos.
- iii) Análisis de laboratorio a muestras de agua subterránea.
- iv) Realización de 40 sondeos electromagnéticos transitorios en dominio de tiempo (TEM) para selección de sitios para la perforación de pozos para abastecimiento de agua para la operación minera.
- v) Elaboración del reporte con los sitios propuestos para la perforación de pozos.

2. ESTUDIO DE LA GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL ÁREA BASADO EN INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE

2.1 METODOLOGÍA

La definición de las fallas y fracturas en la zona de estudio, se realizó con base en información recopilada a partir de la bibliografía y de las características observadas en imágenes de satélite. La identificación de las estructuras se facilitó después de haber desarrollado la combinación de bandas pertinente, además de esto, se mejoró la interpretación de la imagen generada al añadir el modelo digital de elevación. La información básica recopilada se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1 Información recopilada para la interpretación estructural

Nombre del archivo	Tipo	Escala/Resolución	Fuente de información
284_H12-A69_GM_Santa Ana.pdf	Geología	1:50,000	www.sgm.gob.mx
285_H12-A79_GM_Estacion Llano.pdf	Geología	1:50,000	www.sgm.gob.mx
308_H12-B61_GM_Magdalena de Kino.pdf	Geología	1:50,000	www.sgm.gob.mx
511_H12-B59_GM_Janos.pdf	Geología	1:50,000	www.sgm.gob.mx
612_H12-5_Ciudad de Cananea	Geología	1:250,000	www.sgm.gob.mx
CEM_V3_R15_E26.rar	Modelo digital de elevación	15 m	www.inegi.org.mx
ASTGTM2_N30W111.zip	Modelo digital de elevación	30 m	(http://earthexplorer.usgs.gov/)
ASTGTM2_N30W112.zip	Modelo digital de elevación	30 m	(http://earthexplorer.usgs.gov/)
702825639792_Vh12b61.zip	Datos vectoriales	1:50,000	www.inegi.org.mx
702825665531_Vh12a69.zip	Datos vectoriales	1:50,000	www.inegi.org.mx
702825695750_Vh12b51.zip	Datos vectoriales	1:50,000	www.inegi.org.mx
702825706456_Vh12a59.zip	Datos vectoriales	1:50,000	www.inegi.org.mx
L7G036039_03920051104_B10.TIF	Imagen de satélite LandSat ETM +	15 y 30 m	(http://earthexplorer.usgs.gov/)
L7G036039_03920051104_B20.TIF	Imagen de satélite LandSat ETM +	15 y 30 m	(http://earthexplorer.usgs.gov/)
L7G036039_03920051104_B30.TIF	Imagen de satélite LandSat ETM +	15 y 30 m	(http://earthexplorer.usgs.gov/)
L7G036039_03920051104_B40.TIF	Imagen de satélite LandSat ETM +	15 y 30 m	(http://earthexplorer.usgs.gov/)
L7G036039_03920051104_B50.TIF	Imagen de satélite LandSat ETM +	15 y 30 m	(http://earthexplorer.usgs.gov/)
L7G036039_03920051104_B61.TIF	Imagen de satélite LandSat ETM +	15 y 30 m	(http://earthexplorer.usgs.gov/)
L7G036039_03920051104_B62.TIF	Imagen de satélite LandSat ETM +	15 y 30 m	(http://earthexplorer.usgs.gov/)
L7G036039_03920051104_B70.TIF	Imagen de satélite LandSat ETM +	15 y 30 m	(http://earthexplorer.usgs.gov/)
L7G036039_03920051104_B80.TIF	Imagen de satélite LandSat ETM +	15 y 30 m	(http://earthexplorer.usgs.gov/)

El procedimiento realizado para lograr la interpretación de la imagen de satélite fue el siguiente:

- Se buscaron las fuentes de información geológica más recientes, en este caso la generada por la empresa Minera Columbia y el Servicio Geológico Mexicano.
- Se descargó la información correspondiente a la zona de estudio en lo que se refiere a modelos de elevación digital e imágenes de satélite.
- Se generó el compuesto RGB con base en la imagen de satélite y las bandas 7, 4, 1 respectivamente.
- Se hizo una fusión entre el compuesto RGB y la banda pancromática.
- Se generó una representación de sombreado con base en el modelo digital de elevación
- Se generó una combinación entre la fusión de la imagen de satélite y el sombreado del modelo digital de elevación
- Se identificaron las fallas y fracturas y se fueron trazando sobre la imagen de satélite.
- Se convirtieron los archivos de geología como imagen para su posterior georreferenciación
- Se digitalizaron las fallas y fracturas de las imágenes georreferenciadas para complementar la información.

En la Figura 1 se presentan las cartas 1:50,000 utilizadas. El cuadro rojo que se presenta en el centro de las Figuras 1 y 2 (y posteriormente en otras) constituye la zona de estudio de detalle, en donde se realizaron estudios geofísicos. En la Figura 2 se presenta la cobertura de las imágenes de satélite utilizadas. La Figura 3 representa la distribución de los modelos digitales que corresponden a la zona de estudio (resolución de 30 m). Un modelo de elevación estatal con resolución de 15 m que se utilizó se presenta en la Figura 4.

En la Figura 5 se presenta la imagen de satélite final en la que se realizó el análisis estructural. Para potenciar el análisis se integró el MDE como fondo del compuesto RGB, definiendo para este último una ligera transparencia del 40 % que permitió resaltar aún más los elementos topográficos, determinantes para un estudio de este tipo. La ubicación del proyecto minero se presenta con una estrella de color amarillo; con esta misma simbología se representa la ubicación en mapas subsiguientes.



Figura 1 Ubicación de cartas 1:50,000 utilizadas para el estudio

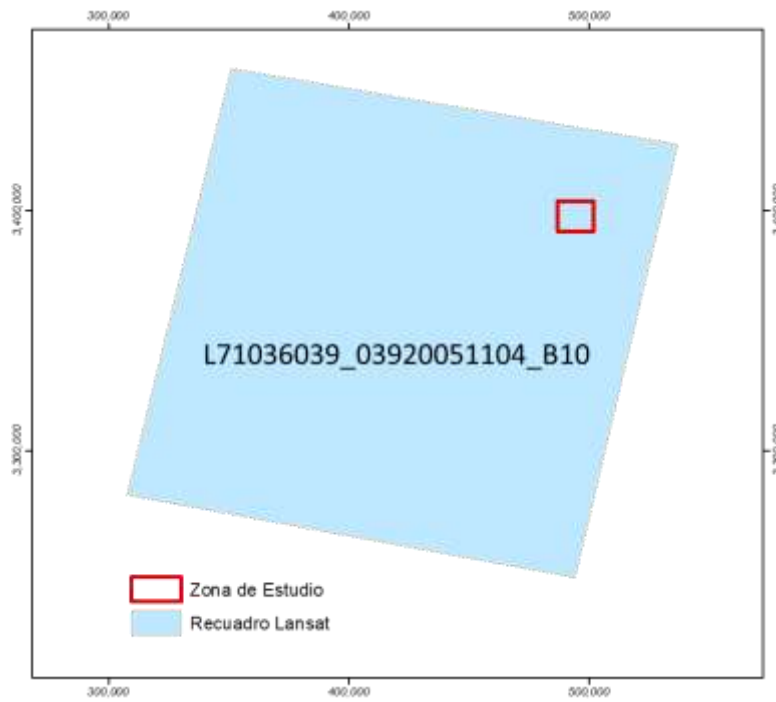


Figura 2 Ubicación de tomas Landsat ETM+ utilizadas para el estudio