

**EVALUACION DE LA PROBLEMÁTICA SOCIO-AMBIENTAL GENERADA POR
LA EXPLORACION Y EXPLOTACION DE HIDROCARBUROS EN EL NORTE
DEL ALTIPLANO CUNDIBOYACENCE.**

**STEPHANIE MARTINEZ JIMENEZ
JULIAN DAVID NOY ROBLES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA
2017**

**EVALUACION DE LA PROBLEMÁTICA SOCIO-AMBIENTAL GENERADA POR
LA EXPLORACION Y EXPLOTACION DE HIDROCARBUROS EN EL NORTE
DEL ALTIPLANO CUNDIBOYACENCE.**

**STEPHANIE MARTINEZ JIMENEZ
JULIAN DAVID NOY ROBLES**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO DE PETRÓLEOS**

**DIRECTOR
OSCAR VANEGAS ANGARITA
INGENIERO DE PETROLEOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA
2017**

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	16
1 LA EXPLORACIÓN SÍSMICA.....	18
1.1 ASPECTOS GENERALES	18
1.2 APLICACIÓN DEL MÉTODO SÍSMICO	18
1.2.1 La aplicación del método sísmico en Colombia.....	19
1.3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y POSICIONAMIENTO	20
1.3.1 Sistema de coordenadas usado en Colombia.....	20
1.4 FUENTES DE ENERGÍA.....	21
1.4.1 Fuentes impulsivas.....	22
1.4.2 Fuentes vibratorias.....	24
1.4.3 Cañones de aire	25
1.4.4 Fuentes de energía de percusión.....	27
1.4.5 Cargas superficiales.....	30
1.5 REGISTRO.....	31
1.5.1 Especificaciones y pruebas de equipos	31
1.5.2 Tipo, número y configuración de sensores.....	32
1.5.3 Número de geófonos por grupo.....	33
1.6 PROCESAMIENTO DE DATOS SÍSMICOS EN EL CAMPO	33
1.6.1 Equipo de procesamiento básico y software especializado	33
1.6.2 Secuencia básica	33
1.7 PROCESAMIENTO DE DATOS SÍSMICOS EN EL CENTRO DE PROCESADO.....	34
1.7.1 Equipo de procesamiento básico y software especializado	34

1.8	CONTROL DE CALIDAD.....	34
1.9	NORMATIVIDAD VIGENTE DE LA EXPLORACIÓN SÍSMICA.....	35
1.9.1	Antecedentes	35
1.9.2	Guía básica ambiental para programas de exploración sísmica terrestre – ministerio del medio ambiente.....	35
1.9.3	Desarrollo del programa sísmico.....	36
2	CORDILLERA ORIENTAL.....	41
2.1	CORDILLERA DE LOS ANDES	41
2.2	CORDILLERA ORIENTAL COLOMBIANA.....	43
2.3	GEOLOGÍA DE LA CORDILLERA ORIENTAL.....	44
2.4	HIDRODINAMISMO	45
2.5	ESTRATIGRAFIA CORDILLERA ORIENTAL	47
2.6	SISTEMA PETROLIFERO CORDILLERA ORIENTAL.....	50
2.6.1	Cuenca Cordillera Oriental	50
2.6.2	Cuenca Llanos Orientales	53
2.7	FRAGILIDAD DE LA CORDILLERA.....	59
2.8	PROVINCIA SUGAMUXI.....	62
2.9	MUNICIPIO DE CORRALES	64
3	IMPACTOS DE LA SISMICA EN LA CORDILLERA ORIENTAL.....	65
3.1	IMPACTO EN HUMEDALES	65
3.2	IMPACTO EN ALJIBES	67
3.3	IMPACTOS SUELOS DE LADERA	72
3.4	IMPACTOS EN ACUÍFEROS CONFINADOS	85
3.5	IMPACTOS EN CASAS.....	87

4 EVIDENCIAS DE IMPACTOS NEGATIVOS ASOCIADOS A LOS PROYECTOS DE EXPLORACION SISMICA EN LA PROVINCIA SUGAMUXI	97
4.1 RESULTADOS DE LAS ENTREVISTAS.....	99
4.1.1 Analisis de los resultados de las encuestas	100
5 ALTERNATIVAS A LA SISIMICA CON EXPLOSIVOS.....	107
5.1 EXPLORACION Y PROSPECCION SATELITAL	107
5.1.1 Etapas operacionales.....	108
5.1.2 Beneficios de la exploracion y prospeccion satelital.....	113
5.1.3 Estudios exitosos	114
5.2 RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR RMN	117
5.2.1 Aplicaciones	118
5.3 GEÓFONOS INALÁMBRICOS.....	121
CONCLUSIONES	124
RECOMENDACIONES	125
BIBLIOGRAFÍA.....	126
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1. Latitud y Longitud de los Orígenes.	21
Figura 1-2. Diagrama Esquemático de la Estructura de la Plancha y Masa de Reacción.....	25
Figura 1-3. Estructura y Operación de un Cañón de Aire.	26
Figura 1-4 Cañón de Aire BOLT.	27
Figura 1-5. Disparador P.....	28
Figura 1-6. AWD-1180.	29
Figura 1-7. Explorer 860.	29
Figura 1-8. Bolsa Poulter.	30
Figura 1-9. Cargas superficiales versus enterradas.....	31
Figura 1-10. Efecto de una Buena Limpieza.	32
Figura 1-11. Tipos de Geófonos.	33
Figura 1-12. Elementos básicos de la Gestión.....	36
Figura 2-1. Cordillera de los Andes Colombia.....	42
Figura 2-2. Cordilleras de Colombia.	43
Figura 2-3. Cordillera Oriental.....	44
Figura 2-4. Provincias geológicas de Colombia.	46
Figura 2-5. Sistema de falla cordillera Oriental.	47
Figura 2-6. Columna estratigráfica generalizada del Sinclinal Nuevo Mundo.	49
Figura 2-7. Columna estratigráfica generalizada.	52
Figura 2-8. Carta de eventos.	53
Figura 2-9. Columna estratigráfica generalizada.	55
Figura 2-10. Carta de eventos	56
Figura 2-11. Perfil estructural.....	56
Figura 2-12. Perfil estructural.....	58
Figura 2-13. Perfil estructural generalizado.	59
Figura 2-14. Variación de las precipitaciones.	60
Figura 2-15. Sensibilidad por pendiente.	61
Figura 2-16. Índice de sensibilidad ambiental.	62
Figura 2-17. Provincia de Sugamuxi.	63
Figura 2-18. Municipio de Corrales.	64
Figura 3-1. Chigüiros en Humedales.	66
Figura 3-2. Disminución notable de humedales.....	66
Figura 3-3. Muerte de animales por sequía de humedales.	67
Figura 3-4 Intervención de autoridades ambientales.	67
Figura 3-7. Expansión del agua.	68
Figura 3-9 Aljibes secos.....	69
Figura 3-10. Aljibes secos.....	69
Figura 3-11. Aljibes secos.....	70
Figura 3-12. Aljibes secos.....	70
Figura 3-13. Nacedero de Aljibe.	71
Figura 3-14. Aljibe inundado.	71
Figura 3-15 Impacto Terreno Sugamuxi.....	72

Figura 3-16. Impactos en suelo de ladera.....	73
Figura 3-17. Deterioro del suelo.....	73
Figura 3-18. Cambio en las características.....	74
Figura 3-19. Derrumbes finca la Primavera.....	74
Figura 3-20. Deslizamientos de tierra.....	75
Figura 3-21. Deslizamientos de tierra.....	75
Figura 3-22 Deslizamiento Casanare.....	76
Figura 3-23. Riesgo avalancha.....	77
Figura 3-24. Deslizamiento de tierra.....	78
Figura 3-25. Deslizamiento.....	78
Figura 3-26. Impactos sísmica.....	79
Figura 3-27. Derrumbes por la sísmica.....	79
Figura 3-28. Impactos vereda El Tulcán.....	80
Figura 3-29. Inundaciones.....	80
Figura 3-30. Grietas en el terreno.....	81
Figura 3-31. Derrumbes Villavicencio.....	82
Figura 3-32. Deslizamiento de tierra.....	82
Figura 3-33. Deslizamientos.....	83
Figura 3-34. Deslizamientos.....	83
Figura 3-35. Daños en viviendas.....	84
Figura 3-3-36. Agrietamiento del suelo.....	84
Figura 3-37. Derrumbes.....	85
Figura 3-38. Punto de Afloramiento de agua.....	86
Figura 3-39. Inundaciones en fincas.....	86
Figura 3-40. Restauración inapropiada con grava.....	87
Figura 3-41. Impactos en viviendas.....	88
Figura 3-42. Pérdida total de viviendas.....	89
Figura 3-43. Destrucción de viviendas.....	89
Figura 3-44. Grietas en fachadas.....	90
Figura 3-45. Grietas en techos.....	90
Figura 3-46. Hundimiento del piso.....	91
Figura 3-47. Grietas en paredes.....	91
Figura 3-48. Grietas en casa de adobe.....	92
Figura 3-49. Grietas en pisos.....	92
Figura 3-50. Grietas paredes.....	93
Figura 3-51. Impactos en viviendas.....	94
Figura 3-53. Abandono de viviendas.....	94
Figura 3-54. Aljibes secos.....	95
Figura 3-55. Grietas en viviendas urbanas.....	95
Figura 3-56. Daño en casas.....	96
Figura 4-1. Realizacion de reuniones.....	100
Figura 4-2. Beneficios.....	101
Figura 4-3. Afectacion de recursos.....	102
Figura 4-4. Generacion de impactos.....	103
Figura 4-5. Acuerdos.....	104

Figura 4-6. Grado de impactos.	105
Figura 4-7. Queja.	105
Figura 4-8. Entidades.....	106
Figura 4-9. Respuesta.	106
Figura 5-1. Imagen satelital.....	108
Figura 5-2. Espectro de luz visible.	109
Figura 5-3. Espectrografía Satelital.....	109
Figura 5-4. Establecimiento de campos electromagnéticos de corto impulso.	110
Figura 5-5. Superposición de anomalías encontradas en la zona de estudio.	111
Figura 5-6. Sondeo vertical por electroresonancia.....	112
Figura 5-7. Perfiles SVER.	112
Figura 5-8. Secciones verticales en puntos SVER.....	113
Figura 5-9. Depósito de oro en Colombia.	115
Figura 5-10. Depósito de plata en Colombia.....	116
Figura 5-11. Depósito de carbón en Colombia.....	116
Figura 5-12. Movimiento de los protones.	118
Figura 5-13. Registro convencional.	119
Figura 5-14. Registro RMN.	120
Figura 5-15. Configuración red inalámbrica.	122
Figura 5-16. Datos software.....	123
Figura 5-17. Señal de banda.....	123

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros Requeridos para los Orígenes de Referencia.....	20
Tabla 2. Explosivos usados en el país.....	22
Tabla 3. Información de detonadores.	22
Tabla 4. Lista de personas entrevistadas.....	97
Tabla 5. Rango de impactos generados.	98
Tabla 6. Periodo de generacion de impactos.	99
Tabla 7. Magnitud del impacto generado.	99
Tabla 8. Ventajas comparativas.....	114

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Carta	128
ANEXO B. Encuestas.....	129
ANEXO C. Evidencias fotográficas 1	136
ANEXO D. Evidencias fotográficas 2	137
ANEXO E. Evidencias fotográficas 3	138
ANEXO F. Evidencias fotográficas 4.....	139
ANEXO G. Evidencias fotográficas 5	140
ANEXO H. Evidencias fotográficas 6	141
ANEXO I. Evidencias fotográficas 7	142
ANEXO J. Evidencias fotográficas 8	143
ANEXO K. Matrix de resultados.....	144

RESUMEN

TITULO: EVALUACION DE LA PROBLEMÁTICA SOCIO-AMBIENTAL GENERADA POR LA EXPLORACION Y EXPLOTACION DE HIDROCARBUROS EN EL NORTE DEL ALTIPLANO CUNDIBOYACENCE.

AUTOR: STEPHANIE MARTINEZ JIMENEZ
JULIAN DAVID NOY ROBLES**

PALABRAS CLAVE: exploración sísmica, detonaciones, impactos, alternativas.

DESCRIPCIÓN:

Debido al incremento en la demanda de hidrocarburos en el país hace que se deban buscar cada día y con más ansias nuevos yacimientos con un nivel productivo e interesante para la economía de Colombia. Haciendo así que las actividades de exploración sísmica crezcan cada día más sin importar los graves impactos que ha generado en todo el país, a pesar de ser una técnica que ha logrado ciertos avances con el transcurrir de los años aun generan graves impactos dejando así secuelas imborrables, el desarrollo de esta actividad ha dejado una gran cantidad de animales muertos de diferentes especies una de las más conocida es la extinción de los chigüiros en la zona del meta, afectaciones graves en el medio ambiente en amplias zonas vegetales y en recursos hídricos, y un gran número de personas afectadas debido a derrumbes y avalanchas generadas por la utilización de explosivos como método de exploración además de esto las detonaciones generan un gran deterioro en las viviendas convirtiéndolas en zonas de alto riesgo dejando así gran cantidad de familias damnificadas.

Por tal razón se realizó una investigación en una de las zonas más afectadas por este flagelo en el territorio colombiano como lo es al Altiplano Cundiboyacence mas explícitamente en la provincia de Sugamuxi y el municipio de Corrales, los cuales se han visto gravemente afectados por el desarrollo de la exploración sísmicas con explosivos realizada hace unos años en esta zona y que hoy en día aun deja un gran número de impactos negativos. Con esto se pretende mostrar algunas alternativas a la sísmica con explosivos, la mayoría de estas alternativas se han implementado con un gran éxito en países como Canadá y Estados Unidos en los cuales ya no se realizan detonaciones con explosivos, se reemplazó por vibraciones y nuevas técnicas con tecnología de punta las cuales pueden ser implementadas y usadas en el país con gran éxito incluso uno mucho más grande que el brindado por la sísmica dejando así de lado los impactos generados por una técnica tan lesiva como lo es la exploración sísmica con explosivos.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos.
Director: VANEGAS ANGARITA OSCAR. INGENIERO DE PETROLEOS

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF THE SOCIO-ENVIRONMENTAL PROBLEM GENERATED BY THE EXPLORATION AND EXPLOITATION OF HYDROCARBONS IN THE NORTH OF ALTIPLANO CUNDIBOYACENCE.

AUTHOR: STEPHANIE MARTINEZ JIMENEZ
JULIAN DAVID NOY ROBLES**

KEYWORDS: Seismic exploration, detonations, impacts, alternatives.

DESCRIPTION:

Due to the increase in the demand for hydrocarbons in the country makes necessary to search every day and anxiously new deposits with a productive and interesting level for the Colombian economy. So, that the activities of seismic exploration increase every day regardless of the serious impacts it has generated throughout the country, despite being a technique that has made some progress over the years still generate serious impacts leaving indelible sequels, the development of this activity has left a large number of dead animals of different species one of the best known is the extinction of the chigüiros in the area of the goal, severe damage to the environment in large plant areas and water resources, and a large number of people affected due to landslides and avalanches generated by the use of explosives as a method of exploration. In addition, detonations generate a great deterioration in the houses, turning them into areas of high risk, leaving a large number of families affected.

For this reason, an investigation was carried out in one of the zones most affected by this scourge in Colombian territory, as it is to the Altiplano Cundiboyacence more explicitly in the province of Sugamuxi and the municipality of Corrales, which have been seriously affected by the development of the seismic exploration with explosives made a few years ago in this area and today, still leaves a large number of negative impacts. This is intended to show some alternatives to seismic with explosives, most of these alternatives have been implemented with great success in countries such as Canada and the United States in which detonations with explosives are no longer performed, replaced by vibrations and new techniques with state-of-the-art technology that can be implemented and used in the country with great success even one much larger than the one provided by the seismic leaving aside the impacts generated by a technique as harmful as the seismic exploration with explosives.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos.
Director: VANEGAS ANGARITA OSCAR. INGENIERO DE PETROLEOS

INTRODUCCION

Una de las zonas más llamativas para el sector petrolero del país es la cordillera Oriental debido a las características del subsuelo al contener grandes cantidades de crudo y gas, además de esto la cordillera tiene un amplio número de paramos siendo algunos de estos los más importantes del país, cuenta con ríos de gran importancia como es el río Magdalena, el río Guaviare y el río Suárez. Por las condiciones climáticas de la zona, alberga diferentes especies de fauna y flora, siendo así, una de las zonas con mayor aporte económico para el país. Lo que poco se sabe de la cordillera Oriental es que es una zona frágil debido a las características de su terreno por ser material sedimentario poco consolidado hace que sus suelos sean débiles y susceptibles a erosión, avalanchas, derrumbes entre otros problemas asociados a su fragilidad.

Al ser una zona de gran interés la sísmica como herramienta de exploración es la protagonista para esta zona. Existen 3 tipos de exploración sísmica, la usada en Colombia es la sísmica con explosivos por medio de detonaciones con sismigel en la zona de interés se analiza el subsuelo y así se conoce si hay presencia de hidrocarburos o no. Estas detonaciones generan gran cantidad de impactos negativos desde afectaciones en nacedores de recursos hídricos, impactos en aljibes, humedales, muerte de animales, impactos en vegetación, impactos en casa entre otros, dejando así graves secuelas en el medio ambiente y en las personas que se ven afectadas son en gran parte campesinos de la región. De las zonas más afectadas se encuentra el Altiplano Cundiboyacence y por esta razón se realizó la investigación en la Provincia Sugamuxi ya que esta zona ha sido gravemente afectada por dichas actividades.

Por tal razón y con estudios realizados se ha demostrado que la cordillera Oriental es una zona en la cual no se debe hacer sísmica con explosivos y aun así hoy día se concesionan zonas de esta cordillera para desarrollar estas técnicas lesivas para el terreno colombiano. Con este trabajo de grado se quiere mostrar la importancia de la preservación tanto de la flora y fauna de Colombia como de su valioso sub suelo y las graves consecuencias que se pueden tener si no se reemplaza la exploración sísmica con explosivos por otras técnicas como alternativas las cuales no crean ningún tipo de afectación ni daño, son técnicas con tecnología de punta y con un grado de certeza bastante alto en cuanto a los resultados entregados, se requiere menos tiempo para el desarrollo de estas, son más seguras y amigables con el medio ambiente y mucho más efectivas que la exploración sísmica con explosivos.

Para empezar, se expondrá a groso modo en que consiste la sísmica con explosivos como método de exploración en que consiste el desarrollo de esta técnica, los equipos a utilizar y los resultados obtenidos por medio de la misma. En el segundo capítulo se podrá evidenciar las características principales de la cordillera Oriental,

como ocurrió el levantamiento de esta y su posterior formación en los periodos comprendidos entre el Eoceno tardío y el Oligoceno temprano, se conocerá las formaciones presentes en esta cordillera y se expondrá las características principales de la Provincia Sugamuxi y el municipio de Corrales dos de las zonas más afectadas por esta técnica. En el tercer capítulo se conocerá la gran mayoría de impactos generados por el desarrollo de la sísmica en la cordillera Oriental todas las secuelas que esta práctica ha dejado en el medio ambiente y como afecta miles de personas de esta zona. Por último, se presentarán las mejores alternativas a esta práctica con técnicas nuevas, innovadoras y efectivas en cuanto a exploración y prospección de reservas de crudo y gas y lo más importante que no causan ningún tipo de impacto negativo al medio ambiente o al terreno de Colombia promoviendo así la preservación del mismo.

1 LA EXPLORACIÓN SÍSMICA

1.1 ASPECTOS GENERALES

La exploración sísmica es uno de los métodos más usados en la industria petrolera debido a su alta efectividad al proporcionar la más directa evidencia de la estructura geológica del subsuelo; la sísmica de reflexión se puede adquirir en tres tipos de ambientes: marino, terrestre y zonas de transición. El método se basa en producir temblores artificialmente, por medio de explosiones con cargas de dinamita que varía entre 50 grs y unos 300 kgs conocidas como “sismigel”, ubicados a distancias estratégicas que liberan energía en todas las direcciones, generando ondas sísmicas que viajan a través de las diversas capas o estratos sub-yacentes. Entre más profundo deba ir la investigación, más grande debe ser la cantidad de dinamita utilizada. Las ondas experimentan una partición de energía cada vez que encuentran a su paso una interfaz entre dos capas con velocidades y densidades diferentes; una parte de la energía se transmite y otra se refleja. La energía que se refleja forma el campo de ondas que contiene información de las amplitudes, longitudes de onda, fases y tiempos dobles de los reflectores del subsuelo. Cuando estos campos de onda llegan a la superficie son captados por instrumentos de escucha llamados en general geófonos y esta información se almacena en forma digital en cintas o discos duros en los equipos de registro del sismógrafo o “casablanca”.

La exploración sísmica se puede hacer en dos o tres dimensiones, la primera proporciona información en un plano vertical, mientras que la segunda lo hace como su nombre lo indica en 3D permitiendo determinar con una mayor exactitud el tamaño, forma y posición de las estructuras geológicas.

1.2 APLICACIÓN DEL MÉTODO SÍSMICO

La aplicación del método sísmico cubre varias fases que se conectan para optimizar los resultados de la exploración petrolera.

El proceso comienza con un grupo de geólogos y/o geofísicos que hacen un estudio del subsuelo y definen un área en donde según la geología podrían estar almacenados hidrocarburos.

Luego se determinan los parámetros principales para una proyección apropiada y suficientemente clara de la zona de interés creando un balance entre presupuestos, calidad de la imagen y preservación del medio ambiente. Después se procede a obtener los permisos de los propietarios de los terrenos donde se desea hacer el procedimiento para tener acceso a la superficie durante todas las etapas siguientes. Simultáneamente se desarrollan estudios y planes de manejo tanto social como

ambiental. Realizado esto se lleva a cabo el levantamiento topográfico del proyecto, el corte y preparación de las líneas sísmicas.

Si se usan explosivos como fuente de energía, entonces se inicia la perforación de pozos, si se usan vibradores como fuente de energía, hay que esperar hasta que el registro comience.

Al comienzo de las actividades de registro, los obreros de campo (linieros) se encargan de ubicar las cargas en cada una de las designaciones siguiendo las especificaciones del cliente. Cuando se tienen líneas suficientes en el tendido se comienza a registrar ya sea disparando los explosivos o vibrando. A ciertas distancias y ubicadas en línea recta, se ponen tres estaciones sísmicas en las cuales se observa la llegada de las ondas de elasticidad que toman diferentes caminos por las distintas capas del subsuelo.

Durante el registro, la información procedente de los geófonos se almacena en cintas o discos duros dependiendo del sistema de registro y de los instrumentos disponibles. Estos datos son suministrados al procesador quien al final crea una sección sísmica (2D) o un volumen de datos (3D) para que el intérprete analice los resultados y determine si es viable la perforación de pozos de producción.

1.2.1 La aplicación del método sísmico en Colombia

Las diferencias principales entre la sísmica en Colombia y el resto del mundo radican en el tipo de topografía (desiertos, pantanos, llanos, pie de monte, zonas montañosas, etc.) en donde se trabaja, los instrumentos disponibles para la preparación de las líneas, las fuentes de energía empleada (explosivos versus vibrosismo), los sistemas de registros (tradicionales o sin cable), el control de calidad (con o sin interventores) y el procesamiento de los datos (flujo de proceso utilizado). El análisis de las variables superficiales que involucran al método sísmico es similar en todos los países. Para determinar si el levantamiento sísmico es viable o no, se estudia la topografía, la geología superficial, los aspectos climáticos, comunidades, líneas de flujo, etc.

Desde el punto de vista del aspecto climático, Colombia como país tropical cuenta con dos períodos: seco y lluvioso, no bien definidos., En los países del Norte, el invierno es la mejor época para adquirir sísmica pues todas las zonas pantanosas se congelan y se logra un mejor acoplamiento tanto de las fuentes como de las receptoras; durante la primavera se presentan inundaciones y es la época de menor actividad sísmica. En países desérticos, se hace sísmica todo el año independientemente de la temperatura exterior.

Es necesario saber cuándo ocurren las épocas de sequía y de lluvias. En Colombia, la época de sequía es generalmente de noviembre a marzo y éste es el tiempo ideal

para la adquisición sísmica en todo el país. En el caso particular de los Llanos Colombianos, éstos se ven afectados durante la época de lluvia Sufriendo inundaciones y esto hace que la sísmica sea más costosa desde el punto de vista operacional pues hay que utilizar avionetas y helicópteros para el transporte de los equipos y del personal.

La topografía es uno de los aspectos que define la fuente de energía a emplear: El vibrador debería emplearse solamente en los llanos y la dinamita en cualquier zona. En zonas montañosas y/o rugosas se afecta la implementación de patrones de receptoras. La identificación previa de las vías de acceso, zonas pobladas, restricciones culturales, pozos, líneas de flujo, nacimientos de agua, etc. tienen una gran influencia en las operaciones. Hoy en día se usan fotos aéreas rectificadas u orto fotografías al igual que imágenes de satélite y LiDAR Estas imágenes representan una ventaja muy grande para la planificación del levantamiento con respecto a la topografía y la vegetación de la zona. Se pueden conocer de antemano los desvíos a usar, vegetación, accesos, poblaciones, cuerpos de agua; inclusive hacer los desplazamientos de fuentes y receptoras en estado preplot, minimizando el trabajo en el campo; además se puede determinar cómo se afectan las propiedades estadísticas de offsets, azimut y fold de las zonas de interés en un estado inicial.

1.3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y POSICIONAMIENTO

1.3.1 Sistema de coordenadas usado en Colombia

Según estipulaciones del EPIS (2008a) todo dato georreferenciado se debe expresar en el único Datum oficial de Colombia, el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia: Magna-Sirgas, teniendo en cuenta los orígenes correspondientes al sistema establecidos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. En la Tabla 1 se muestran los parámetros requeridos para cada uno de los Orígenes de referencia establecidos y en la Figura 3 se puede observar la latitud y las longitudes de los Orígenes.

Tabla 1. Parámetros Requeridos para los Orígenes de Referencia.

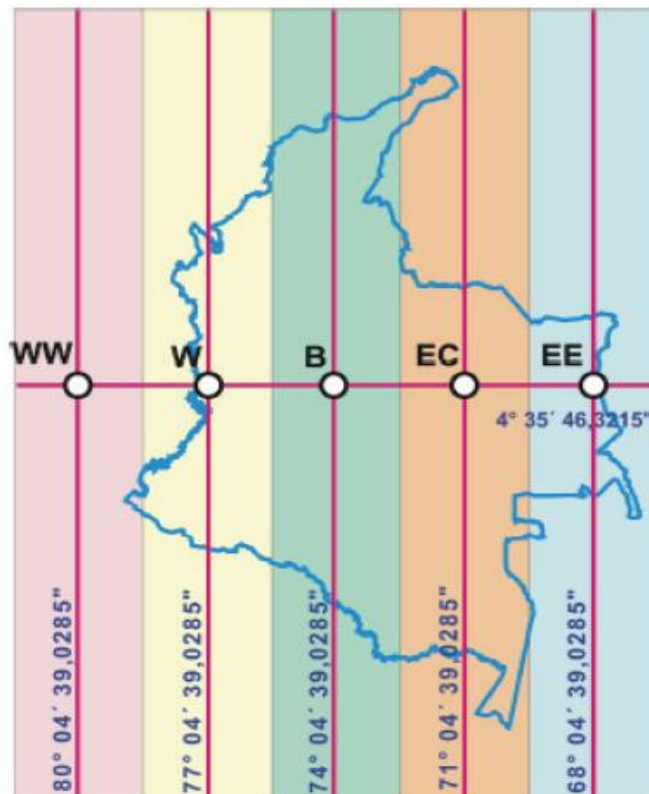
PARÁMETROS	ORIGEN BOGOTÁ	3 GRADOS ESTE	6 GRADOS ESTE	3 GRADOS OESTE	6 GRADOS OESTE
Nombre de la Proyección	Transversa de Mercator				
Falso Este	1.000.000				
Falso Norte	1.000.000				
Longitud del Meridiano Central	- 74°04'39,0285"	- 71°04'39,0285"	- 68°04'39,0285"	- 77°04'39,0285"	- 80°04'39,0285"
Latitud de Origen	04°35'46,3215"				

Tabla 2. Parámetros Requeridos para los Orígenes de Referencia. (cont.)

Factor de Escala	1
Elipsoide (1)	GRS80 ó WGS84
Unidades Lineales de la Proyección	Metros
Dátum Horizontal (1):	MAGNA-SIRGAS (Marco Geocéntrico Nacional-Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas)

Fuente: Manual de suministro de información Técnica y geológica, Agencia Nacional de Hidrocarburos, ANH. 2013.

Figura 1-1. Latitud y Longitud de los Orígenes.



Fuente : Manual de suministro de información Técnica y geológica, Agencia Nacional de Hidrocarburos, ANH. 2013.

1.4 FUENTES DE ENERGÍA

En Colombia se usan dos tipos de fuente de energía: impulsiva y vibratoria. A nivel mundial se utilizan varios tipos de fuentes de energía como impulsivas, vibratorias, cañones de aire, percusión, etc. De las cuales se hablará en esta sección.

1.4.1 Fuentes impulsivas

Existe una gran variedad de productos explosivos en el mercado mundial diseñados exclusivamente para la industria sísmica (Dyno Nobel, 2008). Cada carga posee propiedades diferentes que las hacen más atractivas que otras, entre ellas se tienen la presión de detonación, la fase gaseosa, tiempo de degradación, etc.

En Colombia solo se usa sismigel, el cual se vende en cartuchos de 900 ó 1800 grs. Tanto el sismigel como los detonadores o fulminantes son suministrados por Indumil. En la Tabla 2 se pueden observar las propiedades del sismigel y en la Tabla 3 las propiedades de los detonadores.

Tabla 3. Explosivos usados en el país.

DESCRIPCIÓN	SISMIGEL
Explosivo	Sismigel
Peso unitario aprox. (g)	450
Diámetro (cm)	5.1
Longitud (cm) 450 (g)	27
Densidad (g/cm ³) ± 0.03	1.2
Resistencia al agua	Excelente
Velocidad de detonación (m/s)	5600
Resistencia a la presión hidrostática (2 Kgf / cm ²)	140

Fuente: Tipos de explosivos disponibles. Dyno Nobel, 2008.

Tabla 4. Información de detonadores.

TIEMPO DE INICIACIÓN PROMEDIO AL APLICAR UNACORRIENTE DE 2 AMPERIOS	MENOR A 1 M
Resistencia a la presión hidrostática (Kg/cm ²)	6.8
Diámetro Casquillo (mm)	6.3
Prueba de Esopo	10
Resistencia al impacto 2 kg/1m	No Detona
Volumen Trazul (cm ³)	28
Resistencia Eléctrica del cable (Ohm/m)	0.053
Sensibilidad de la gota eléctrica	Amperaje Normal (A.N.)
Resistencia del puente (Ohm/m)	1.5
Impulso al encendido	1.5
Seguridad contra corrientes erráticas (A)	0.25

Fuente: Tipos de explosivos disponibles. Dyno Nobel, 2008.

Para evitar la duplicación de las trayectorias de rayos en las señales sísmicas en 2D, las fuentes se deben colocar a la mitad de la distancia entre dos grupos de receptoras adyacentes como se muestra en la Figura 1 y Figura 2.

Se propone que todas las cargas usen detonadores dobles. En cada pozo se debe medir la continuidad eléctrica, tanto en la superficie como después de haber sido tacado y tapado, con un galvanómetro aprobado. Cuando la continuidad falla después de haber sido tacado y tapado, se selecciona otro sitio para perforar a una distancia segura, y se vuelve a cargar el pozo. La carga muerta debe ser debidamente anotada según las regulaciones locales y se debe alertar al interventor.

Se deben registrar en trazas auxiliares los time break del radio y de confirmación para todos los puntos fuentes. En configuraciones de un solo pozo por estaca, también se debe registrar en las trazas auxiliares el tiempo de pozo utilizando un geófono que se coloca aproximadamente a un metro de la boca del pozo.

Para evitar la formación no homogénea de la onda compresional se deben comprimir los patrones de fuentes cuando los cambios de elevaciones del terreno sean significativos. El máximo cambio de elevación entre pozos de un mismo punto fuente es 3 m.

Cada vez que un punto fuente tenga un offset con respecto a la posición levantada, el observador deberá hacer las anotaciones correspondientes en su registro. Sólo el personal debidamente capacitado y certificado debe manejar los explosivos.

1.4.1.1 Diseño de pruebas para la profundidad de los pozos

Si se trabaja en un área nueva en donde no existe información sísmica anterior, entonces se procede a realizar pruebas para la profundidad de los pozos y el tamaño de la carga, las cuales se realizan al inicio de la sísmica.

Por lo general se seleccionan 2-3 áreas diferentes a lo largo de la línea 2D o del levantamiento 3D. En cada área se diseña una agrupación de cargas en donde se van a estudiar los tamaños de la carga, las profundidades del pozo y tipo de explosivo o número de pozos para el patrón de fuentes, formando configuraciones de X gr por Y m por Z tipo/patrón. Cada una de estas configuraciones se repite 3 veces y han de estar separadas entre sí unos 5 m, de modo que cuando se active una carga no se genere una detonación simpatética de las otras que la rodean, pero lo suficientemente cerca como para que todas estén en un área con las mismas propiedades del terreno. Finalmente, se comparan los resultados sólo después del procesado.

Es imperativo repetir cada configuración de pozo (tamaño de la carga, profundidad del pozo, tipo de explosivo) dentro de la agrupación por lo menos tres veces para poder comparar los resultados. Si no se hacen repeticiones no se sabrá con certeza

si las diferencias que se observan se deben a la configuración del pozo o al acoplamiento de la carga con el medio que la rodea. El propósito de hacer repeticiones es el de tener varias muestras y obtener una respuesta más estable desde el punto de vista estadístico. Luego se compara el mejor resultado de la configuración A con el mejor resultado de la configuración B y así sucesivamente.

1.4.2 Fuentes vibratorias

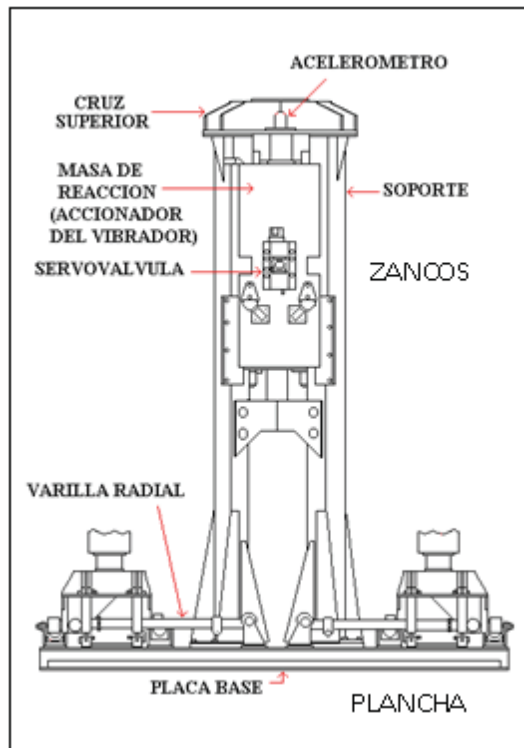
Un vibrador crea una señal acústica en la tierra al aplicar y variar una presión sobre la superficie llamada “barrido”. El barrido se genera al mover una masa de reacción relativa a la estructura de los zancos y plancha (Figura 27). Este es un sistema mecánico e hidráulico. La estructura de la plancha cubre al pistón que atraviesa la masa de reacción. El pistón divide la cámara interna de la masa de reacción en una sección superior y otra inferior. Un servo-válvula bombea un fluido hidráulico de alta presión de manera alterna entre las cámaras superior y la inferior (Figura 4 Corte Transversal).

La fuerza total que se puede introducir a la tierra es igual al área del pistón multiplicado por la presión hidráulica sobre el pistón. Sin embargo, la fuerza efectiva que se aplica es el peso de soporte de la unidad completa sobre la plancha para mantenerla acoplada.

La suma vectorial de la señal del acelerómetro de la plancha multiplicado por la masa de la plancha y la señal del acelerómetro de la masa de reacción multiplicado por la masa de la masa de reacción genera una fuerza aplicada sobre la tierra por el sistema vibrador y se le llama la señal de Fuerza de la Tierra.

Esta es la señal principal usada para la retroalimentación y control de calidad de los vibradores.

Figura 1-2. Diagrama Esquemático de la Estructura de la Plancha y Masa de Reacción.



Fuente: COOPER, Norman. "Adquisición sísmica terrestre, teoría y técnicas". La fuente de energía. Capítulo 7. 2008b.

1.4.3 Cañones de aire

Los cañones de aire son fuentes de energía que se usan tanto en el agua como en la tierra. En esta sección se cubrirá el medio de agua pues los cañones de tierra se estudiarán en las fuentes de percusión.

Los cañones de aire son la fuente de energía usada en sísmica marina, zonas de transición, en lagos y ríos.

Dado que este manual sólo incluye el ambiente terrestre, no se cubrirán los cañones para sísmica marina, pero sí los de zonas de transición, lagos y ríos.

En la Figura 1-3 se observa un diagrama esquemático de un cañón de aire. A la izquierda, la válvula de vaivén es presionada hacia abajo por el aire comprimido que ha sido bombeado dentro de la recámara superior. Hay un pasaje adentro de la válvula de vaivén la cual le permite al aire comprimido entrar también a la recámara inferior. Puesto que la brida es más grande arriba que en la parte de abajo, el aire comprimido en la recámara de arriba ejerce más fuerza sobre la válvula de vaivén y la mantiene ajustada sobre la recámara inferior. Cuando el solenoide es activado (en la parte de arriba de la pistola, lado izquierdo), permite que el aire pase a través

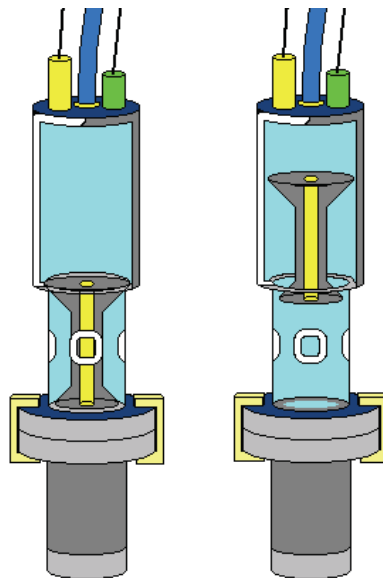
de orificios en la pared de la recámara de arriba a la parte de abajo de la brida superior. Esto iguala la presión en la brida superior. Ahora la presión en la brida inferior excede a la de la brida superior y la válvula de vaivén es desplazada hacia arriba (diagrama derecho).

Todo el aire comprimido en la recámara inferior es liberado y éste escapa a través de los orificios en la recámara del medio.

La potencia y nitidez de esta fuente impulsiva se determina por la rapidez con la que el volumen de aire comprimido de la recámara inferior se escapa a través de los orificios. Para generar una onda compresional con suficiente penetración, se usan varios cañones de aire simultáneamente formando un patrón y se deben sincronizar los tiempos de inicio (time break) de los cañones.

Para crear una onda compresional, la burbuja se tiene que formar completa y rápidamente antes de que llegue a la superficie. Por lo tanto, es necesario saber a qué profundidad se colocarán los cañones. El diámetro de la burbuja varía en función del tamaño del cañón de aire y de la profundidad a la que se coloque. En la Figura 1-3 se puede ver que mientras más grande sea el cañón, más grande será el diámetro; mientras más profundo esté el cañón, más pequeño será el diámetro debido a la presión de la columna de agua sobre éste.

Figura 1-3. Estructura y Operación de un Cañón de Aire.



Fuente: COOPER, Norman. "Adquisición sísmica terrestre, teoría y técnicas". La fuente de energía. Capítulo 7. 2008b.

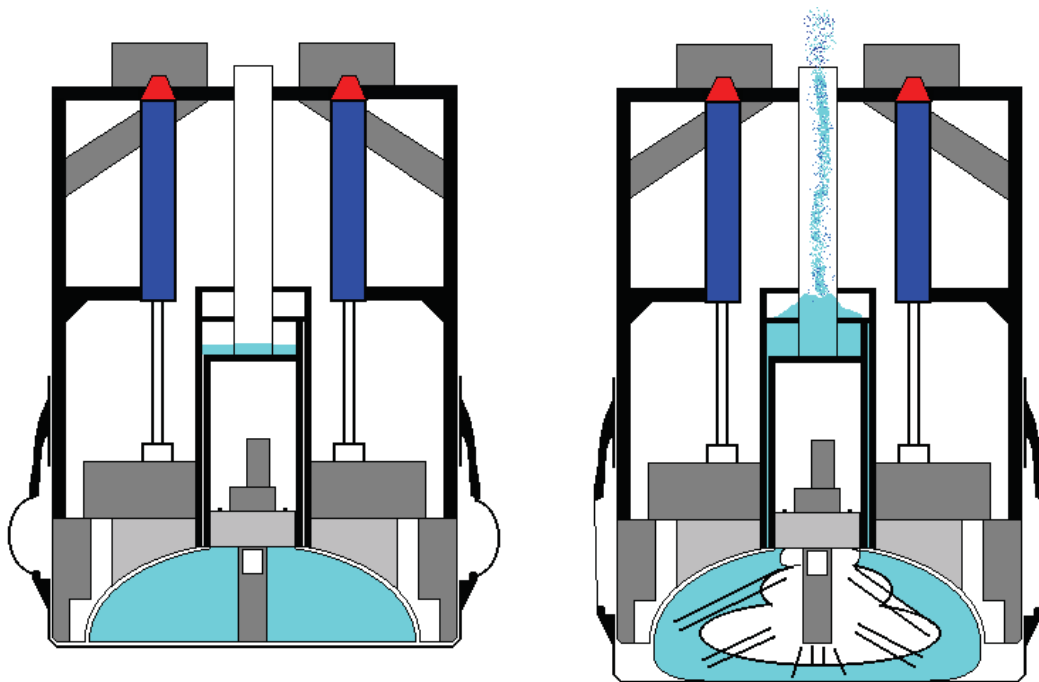
1.4.4 Fuentes de energía de percusión

Existen diferentes máquinas que entran dentro de esta categoría. Se estudiará el cañón de aire BOLT, disparador P, AWD-1180 y el Explorer 860.

El cañón de aire BOLT es un aparato grande en forma de campana que se presiona contra la tierra usando el peso del camión aplicado a través de brazos hidráulicos (Figura 1-4). La campana descansa sobre un platón de acero y el peso del camión acopla la unidad contra el suelo.

Un diafragma de teflón se estira en el fondo de la campana y el interior se llena con una salmuera (agua salada). Un cañón de aire normal con válvula de vaivén se monta dentro de la campana. Cuando el cañón se dispara, la burbuja de aire en expansión causa que el diafragma de teflón se expanda y golpee el platón. Esto crea una ondícula, estable y fuente de alta frecuencia. Desafortunadamente, la señal es muy débil y requiere de una atención constante para sincronizar múltiples máquinas.

Figura 1-4 Cañón de Aire BOLT.



Fuente: COOPER, Norman. "Adquisición sísmica terrestre, teoría y técnicas". La fuente de energía. Capítulo 7. 2008b.

El disparador es una variación de una fuente de percusión. Se eleva un peso contenido dentro de un cilindro y se deja caer sobre un "yunque" el cual está

presionado contra el suelo hidráulicamente. La caída del peso es acelerada por resortes que son estirados a medida que un gúinche presiona al resorte hasta el tope del cilindro. Esta fuente de energía es muy débil e imposible de sincronizar cuando se usan varias al mismo tiempo.

Figura 1-5. Disparador P.



Fuente: COOPER, Norman. "Adquisición sísmica terrestre, teoría y técnicas". La fuente de energía. Capítulo 7. 2008b.

El AWD-1180 es otra fuente de energía de percusión en donde un acumulador de nitrógeno dispara un pistón de acero el cual golpea a una plancha que está en contacto con el suelo (Figura 1-6). Es una fuente de energía débil que no tiene mucha penetración y se recomienda sólo para reflectores someros en donde no se necesiten offsets largos. Esta fuente la promocionan por la gran densidad de puntos fuentes que puede alcanzar por día.

Figura 1-6. AWD-1180.



Fuente: COOPER, Norman. "Adquisición sísmica terrestre, teoría y técnicas". La fuente de energía. Capítulo 7. 2008b.

El Explorer 860 fue diseñado por Polaris y Apache. Es una versión mucho más grande, fuerte, confiable y poderosa del AWD-1180. Usa igualmente nitrógeno comprimido para activar un peso de 2600 libras el cual golpea a una plancha que está en contacto con el suelo (Figura 1-7). Esta fuente puede disparar de 1500 a 2800 puntos por día lo que proporciona una relación fuente/receptora grande.

Figura 1-7. Explorer 860.



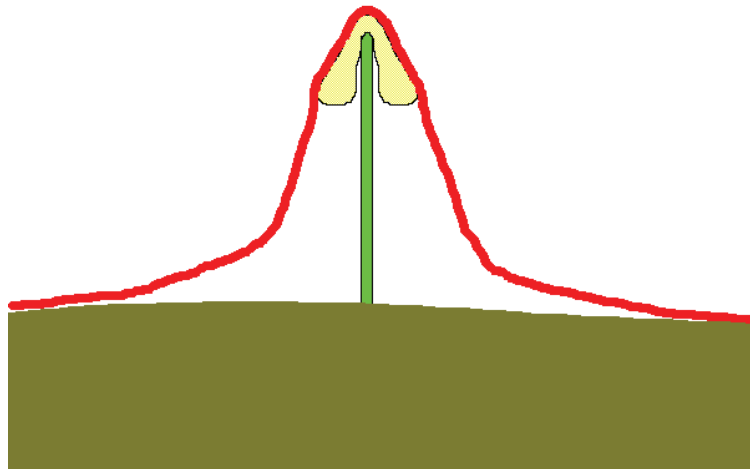
Fuente: COOPER, Norman. "Adquisición sísmica terrestre, teoría y técnicas". La fuente de energía. Capítulo 7. 2008b.

1.4.5 Cargas superficiales

Dadas las condiciones de la superficie, hay casos en los que no es posible perforar pozos para cargar explosivos. En estos casos se puede considerar usar bolsas Poulter (Figura 1-8). Estas son bolsas de dinamita de encendido bajo, las cuales pueden recubrir palos o listones enterrados en la tierra. Las bolsas deben estar elevadas alrededor de 4 pies sobre la superficie de la tierra para permitir que se desarrolle el frente de onda (onda de impacto).

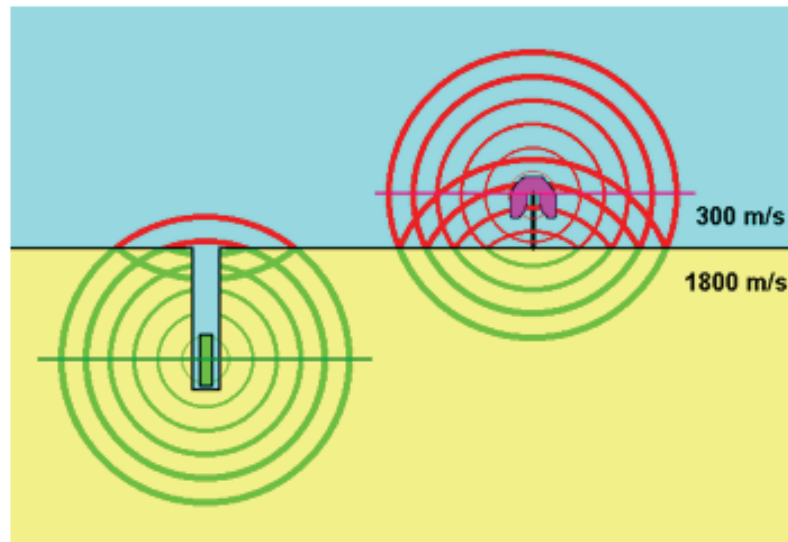
Cuando se entierran cargas, alrededor de un 85% de la energía penetra a la tierra. Cuando se colocan cargas en la superficie, puesto que el frente de onda debe penetrar la superficie de la tierra y dado que por lo menos la mitad de la energía se expande hacia arriba al aire libre, sólo un 15% de la energía penetra. Por lo tanto, se necesita usar de siete a diez veces más energía que la que se necesita en el subsuelo (Figura 1-9).

Figura 1-8. Bolsa Poulter.



Fuente: COOPER, Norman. "Adquisición sísmica terrestre, teoría y técnicas". La fuente de energía. Capítulo 7. 2008b.

Figura 1-9. Cargas superficiales versus enterradas.



Fuente: COOPER, Norman. "Adquisición sísmica terrestre, teoría y técnicas". La fuente de energía. Capítulo 7. 2008b.

1.5 REGISTRO

Métodos de registro favorables a la topografía colombiana siendo tan variable, desde el punto de vista del registro de los datos y del rieque de los equipos, las zonas montañosas, rugosas, quebradas, al igual que los llanos presentan sus retos. Siempre que haya cambios en la topografía se va a necesitar equipos de registro de telemetría distribuida, los cuales permiten mantener la producción cuando se pasa de un tipo de terreno a otro (Sercel, 2008a). Afortunadamente, esto es un estándar hoy en día en los equipos que se usan en el país.

Al conectarse a una red con tecnología de multitelemetría, los datos fluyen a través de muchas rutas definidas por el operador. Los diferentes medios de comunicación telemétrica (cable, frecuencia radial, láser, fibra óptica) pueden mezclarse a lo largo de la red para proporcionar una óptima solución en el cruce de los obstáculos.

1.5.1 Especificaciones y pruebas de equipos

Las pruebas a realizar a los equipos se pueden categorizar en:

- Pruebas de arranque: son pruebas que se le realizan a los canales, apilador, editor, memoria y unidades de cintas al comienzo de las operaciones.

- Polaridad del sistema: debe ser tal que un desplazamiento de la carcasa del geófono hacia abajo resulta en un número positivo en la cinta.
- Pruebas de instrumentos diarias: pruebas básicas que se realizan una vez al día.
- Pruebas de instrumentos mensuales: se realizan al comienzo del programa una vez al mes durante su duración.

1.5.2 Tipo, número y configuración de sensores

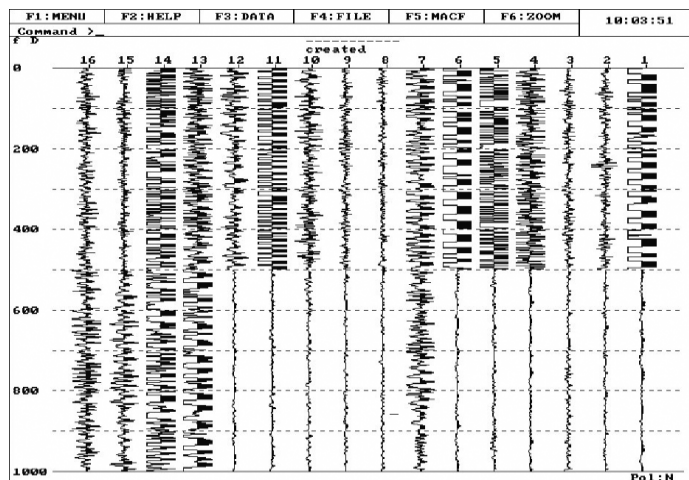
En esta sección se estudiará algunas de las consideraciones relacionadas con el plantado de los geófonos, número y disposición dentro del grupo

1.5.2.1 Plantado de geófonos

El patrón de geófonos debe ser plantado centrado en la estaca. Cuando las elevaciones de la topografía son superiores a los 3 m, se debe acortar la longitud efectiva o se cambia la dirección del patrón (perpendicular a la línea).

Es muy importante remover pastos, ramas, raíces, etc., del área que rodea al geófono y que los cables no queden colgando de vegetación. En la (Figura 1-10) se observan varias trazas de un “noise strip” realizado un día con mucho viento en una planicie. Los primeros 500 ms corresponden al ruido observado antes de la inspección de la línea y los últimos 500 ms pertenecen a un segundo “noise strip” realizado después de haber caminado por la línea y haber limpiado las áreas que rodeaban a los geófonos de pastos, ramas, etc. En las trazas 13 y 14 no se realizó ninguna limpieza a los geófonos para calibrar los resultados. La mejoría de la relación señal/ruido fue de 40 dB.

Figura 1-10. Efecto de una Buena Limpieza.

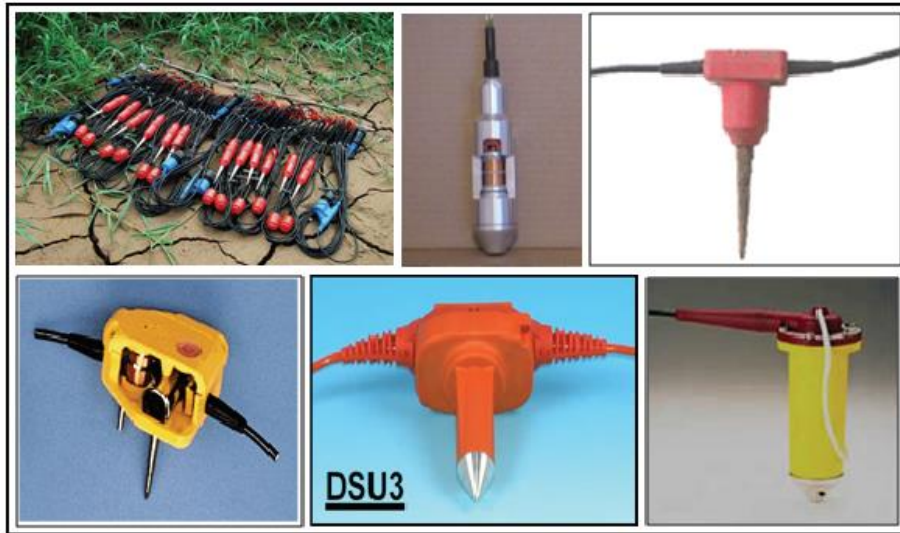


Fuente: COOPER, Norman. “Adquisición sísmica terrestre, teoría y técnicas”. La fuente de energía. Capítulo 8. 2008c.

1.5.3 Número de geófonos por grupo

El número de geófonos por grupo varía de país a país, según las costumbres y las geografías. En el desierto, en el Medio Oriente, es común usar patrones complejos de 72 geófonos por grupo. En Norte América se usa 6 y en Sur América varían desde 6 hasta 12 por grupo.

Figura 1-11. Tipos de Geófonos.



Fuente: COOPER, Norman. "Adquisición sísmica terrestre, teoría y técnicas". La fuente de energía. Capítulo 8. 2008c.

1.6 PROCESAMIENTO DE DATOS SÍSMICOS EN EL CAMPO

1.6.1 Equipo de procesamiento básico y software especializado

Para el procesamiento de los datos en el campo se necesitan unidades de lectura de datos, computadoras, unidades de disco duro y software de procesamiento, además del personal capacitado para operar tanto los equipos como el software. ProMAX es el software usado comúnmente en el campo para el procesamiento de los datos, pero existen otros en el mercado colombiano tal como Seisup.

1.6.2 Secuencia básica

El procedimiento a seguir varía de contratista a contratista. En general se realizan los siguientes pasos:

- Lectura de cintas de campo y revisión del reporte del observador.

- Revisión y edición de los datos (Encabezados (Headers) de las cintas, calidad de la información, trazas muertas e invertidas).
- Lectura de coordenadas (archivos SPS) y asignación a los datos sísmicos.
- Definición de la geometría.
- Recuperación de amplitudes verdaderas.
- Picado de primeros arribos (si lo pide el cliente).
- Deconvolución.
- Estáticas.
- Análisis de velocidades.
- Estáticas residuales.
- NMO y Stretch Mute.
- Apilado Bruto.
- Filtro pasa banda.
- FX Decon.
- Migración FK si hay tiempo y si la pide el cliente.

Durante la secuencia de procesamiento en campo se realizan pruebas de filtro de frecuencias pasa banda, análisis espectrales, análisis de velocidad, análisis de deconvolución y se aplican los mejores resultados. El procesamiento de los datos en el campo se usa para las actividades diarias de control de calidad.

1.7 PROCESAMIENTO DE DATOS SÍSMICOS EN EL CENTRO DE PROCESADO

1.7.1 Equipo de procesamiento básico y software especializado

Varias compañías de procesamiento de datos sísmico escriben los algoritmos y usan internamente su propio software; tal es el caso de Kelman y CGG Veritas. Otras compran los diferentes algoritmos disponibles en el mercado. Por lo general se usa un paquete básico para el flujo central. Los paquetes básicos más usados son: Focus, Echos, Geotomo, Vista, Promax, y SeisUP.

1.8 CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad se debe aplicar a todas las actividades que conforman un levantamiento sísmico. Las operadoras escogen contratar a un interventor para que sea su representación en el campo. El interventor soluciona los problemas que surjan en el campo y se asegura de que las operaciones se realicen de una manera segura, eficaz y productiva, manteniendo la calidad de los datos. En otros casos, las operadoras trabajan directamente con la contratista sin la necesidad de tener un interventor.

1.9 NORMATIVIDAD VIGENTE DE LA EXPLORACIÓN SÍSMICA

1.9.1 Antecedentes

El Marco legal de la Gestión Ambiental en Colombia empieza con la constitución política de 1991 que establece los derechos y deberes del estado y los ciudadanos frente a los recursos naturales y culturales de la nación.

Al crear la Ley 99 de 1993, reglamentada en el decreto 1753 de 1994, se determina para todas aquellas obras y actividades que causen modificaciones notorias al paisaje o susceptibles de causar deterioro grave a los recursos naturales y el medio ambiente, se estableció como requisito la licencia ambiental, en la cual se contemplan medidas de prevención, mitigación, corrección y compensación, esta sería otorgada por el Ministerio de Medio ambiente mediante la planificación y decisión de un estudio de impacto ambiental (EIA). Posteriormente el Decreto 883 de 1997 estableció que los proyectos por no causar un deterioro grave a los recursos naturales renovables o al medio ambiente, ni modificaciones notorias al paisaje no necesitan de pronunciamiento previo de la autoridad ambiental y bastará con la presentación de un Documento de Evaluación y Manejo Ambiental “DEMA” ante el Ministerio de Medio Ambiente y ante la Corporación Autónoma Regional, para iniciar actividades; basados en este decreto los proyectos de exploración sísmica terrestre que se acojan a dichos planteamientos no requerirán de Licencia Ambiental, estos son los programas sísmicos que no requieren de licencia ambiental previa:

- Los que no impliquen la construcción de vías que permitan el tránsito de vehículos.
- Los que no se pretendan adelantar en zonas de ordenamiento jurídico especial. tales como el Sistema de Parques Nacionales Naturales, las zonas de reserva forestal, de páramos o manglares, entre otros.

1.9.2 Guía básica ambiental para programas de exploración sísmica terrestre – ministerio del medio ambiente

El objetivo principal de esta guía es dar orientación a las distintas empresas interesadas en los programas de exploración sísmica terrestre para agilizar y unificar criterios de los 4 elementos básicos de la gestión (Figura 1-12) que se integran a la planificación ambiental; las empresas encargadas de la ejecución de los proyectos debe presentar ante el ministerio de medio ambiente cada una de las actividades desarrolladas en su planeación con las acciones de prevención y mitigación, las estrategias y mecanismos de control, y el desarrollo de mecanismos de seguimiento y monitoreo durante la realización del proyecto.

Figura 1-12. Elementos básicos de la Gestión.



Fuente: Guía básica ambiental para programas de exploración sísmica terrestre. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. 1era edición. Bogotá. 1997.

La participación ciudadana es de obligatorio cumplimiento en las decisiones ambientales de los proyectos, esta política nace en la constitución donde se estipula que todos los ciudadanos tienen derecho a gozar de un ambiente sano; esta se debe dar previo y durante la realización de los estudios donde se le informe y de conocimiento a las autoridades autónomas regionales y locales, a los ciudadanos y comunidades organizadas y a los grupos étnicos existentes la naturaleza y alcance del proyecto a realizar. Para verificar este proceso, al radicar el DEMA se deberá incluir en él las respectivas constancias y certificaciones que acrediten esta participación, donde se incluirán documentos fílmicos o fotográficos, actas de consulta previa y documentos firmados por los ciudadanos dando prueba de la realización de la socialización con la comunidad en general.

1.9.3 Desarrollo del programa sísmico

1.9.3.1 Actividades previas a la ejecución del proyecto

El proyecto de exploración sísmica requiere desarrollar un conjunto de actividades preparatorias entre las cuales tenemos reconocimiento del área, presentación del programa a la comunidad y a las autoridades regionales y contratación de personal.

Restricciones

- La operación no debe iniciarse sin haber acordado previamente con los propietarios de los predios, los permisos de paso y la utilización de servidumbres.

1.9.3.2 Manejo ambiental para la instalación y operación de campamentos

Para la instalación y operación de campamentos es necesaria la implementación de cuatro etapas principales que son la definición de la localización, la adecuación del sitio de trabajo, la instalación del campamento y la dotación de la infraestructura, cada una de ellas tendrá sus impactos a prevenir y mitigar y sus actividades a desarrollar.

Criterios ambientales:

- Es requerida la utilización de áreas planas, alejado de áreas inestables y se evitará ubicar campamentos en áreas de exclusión definidas por el EIA.
- La distancia mínima a un cuerpo de agua debe ser de 30 m.
- En zonas de bosque primario la distancia mínima entre campamentos será de 3 Kms incluyendo los helipuertos.

1.9.3.3 Gestión ambiental de residuos solidos

Es necesario un óptimo manejo y disposición de los residuos sólidos generados por el proyecto en los campamentos, trochas y demás áreas ocupadas por la actividad, que conlleve la ocurrencia de posibles impactos sobre el ambiente o la comunidad.

Criterios ambientales:

- Se implementará un relleno sanitario el cual deberá cumplir con las siguientes estipulaciones: deberá ubicarse a una distancia no inferior a 30 metros de los cuerpos de agua y aguas abajo de pozos o aljibes
- Durante su operación se deberá hacer cubrimiento diario de la basura dispuesta en la fosa, para evitar la generación de olores.

1.9.3.4 Gestión ambiental de residuos líquidos

El desarrollo de un programa sísmico genera también residuos líquidos que deben ser manejados en forma segregada, tratados y dispuestos convenientemente, dentro de los parámetros establecidos por la Ley colombiana.

Criterios ambientales:

- Los campamentos deberán ubicarse de tal manera que no obstruyan la red natural de drenaje del área.
- Las aguas lluvias limpias que caen sobre el campamento tendrán un sistema de manejo independiente que evite su contaminación.
- Cuando el campamento no pueda conectarse a una red de alcantarillado por estar fuera del área de influencia de la misma, tendrá su propio sistema de manejo y tratamiento, adecuado a las necesidades.

1.9.3.5 Manejo ambiental para la construcción y operación de helipuertos

Si es necesaria la construcción de helipuertos debido a inconveniencia o imposibilidad de acceder por otros medios, se debe reducir al máximo la cantidad de ellos, seleccionando la mejor ubicación para las zonas de descarga.

Criterios ambientales:

- Se aprovechará la topografía del terreno más favorable con el fin de evitar el descapote y trabajos de nivelación, usando las áreas que se encuentran desmontadas o las que estén ocupadas por vegetación herbácea o rastrojos.
- Además, las zonas de descarga con cuerda larga previstas para áreas de difícil acceso tendrán dimensiones hasta de 15 x 15 m.

1.9.3.6 Gestión ambiental para actividades de trocha (pica) y topografía

La apertura de trochas es una práctica común en los lugares de difícil acceso, sin embargo, existen algunas recomendaciones ambientales que se deben tener en cuenta al realizar el manejo y disposición de los residuos o cortes de vegetación.

Criterios Ambientales

Existen cuatro actividades a tener en cuenta al hacer actividades de trocha y cada una tiene sus restricciones ambientales:

Para la pica:

- Bajo ninguna circunstancia se permitirá el corte de vegetación en áreas diferentes a las señaladas y al realizar el corte de vegetación se hará únicamente con herramientas manuales
- El ancho máximo de la trocha o pica será de 1.5 m en las áreas desprovistas de vegetación arbórea o arbustiva y de 1.2 m en los bosques primarios y de galería, con una altura máxima de 2 metros.

- El diámetro máximo (DAP) del árbol que puede ser talado es de 10 cm, cuando se encuentren árboles que sobrepasen esta especificación, la línea topográfica los evitará. Se procederá de igual manera cuando se encuentren especies raras o en peligro de extinción.
- Disposición del material de corte:
- El material de corte se utilizará para fabricar las estacas y demás elementos de madera requeridos en el trabajo
- La selección del sitio y del método de disposición del material de corte sobrante se hará considerando el riesgo de incendio y la contaminación de cuerpos de agua depositándolos a una distancia superior los 50 m.
- Cruce de cuerpos de agua:
- No se construirá más de un cruce en la intersección de la línea con cualquier cuerpo de agua, excepto en situaciones especiales.
- El cruce se hará en ángulo recto con la corriente para evitar la desestabilización de las orillas para no inducir procesos erosivos, la contaminación con sólidos y la sedimentación del cauce, en caso de llegar a producirlos el contratista procederá de inmediato a efectuar las reparaciones del caso.
- La distancia mínima a la ribera del cuerpo de agua superficial a la cual puede detonarse una carga explosiva será de 30 m y de 100 m para nacederos. Aún a esta distancia se tratará de utilizar la carga mínima recomendable. En caso de ser necesario detonar cargas a una distancia menor, el dueño del proyecto deberá sustentar técnicamente la no afectación del recurso hídrico.

Preservación de valores culturales:

- El patrimonio cultural de la nación está especialmente protegido por la legislación colombiana. En consecuencia, se debe evitar la intervención en territorios pertenecientes a áreas sagradas o ceremoniales para las minorías étnicas, así como otros sitios de interés cultural.

1.9.3.7 Manejo ambiental de la perforación

Se debe prevenir la ocurrencia de impactos ambientales asociados a la perforación de los pozos para la colocación de cargas, tales como la generación de inestabilidades o la contaminación del agua o del suelo

Criterios ambientales:

- Evaluar la estabilidad del terreno antes de iniciar los trabajos, con el fin de reubicar puntos de disparo y/o decidir el tipo de equipo a emplear.
- No localizar ni perforar pozos en pendientes mayores a 45 grados
- Se debe evitar derrames de aceite o combustible durante el mantenimiento de los equipos

- El uso de agua para la perforación debe ser la estrictamente necesaria y la descarga de fluidos generados como lodos de perforación se orientará e forma que no impacte los cuerpos de agua cercanos.
- Una vez completo el proceso los huecos se taponarán de tal manera que no representen un riesgo futuro para el tránsito de personas o animales.

1.9.3.8 Detonación de cargas y registro

Al detonar las cargas de sismigel y tomar el registro sísmico es de primordial importancia prevenir la ocurrencia de daños o efectos ambientales.

Criterios ambientales:

A continuación, se establecerán algunas de las distancias mínimas recomendadas para puntos de disparo que no se han mencionado en criterios ambientales anteriormente.

- Carreteras o acueductos municipales superficiales: 10 m
- Oleoductos, gasoductos, pozos de agua, residencias, viviendas y estructuras de concreto para 2 kg: 30 m, 2-4 kg: 45m, 4-6 kg: 50 m, 6-8 kg: 75 m
- Estanques Piscícolas, vivienda en adobe, torres de alta tensión, tanques de almacenamiento de hidrocarburos: 100 m
- Cárcavas, reptación, barrancos, líneas de flujo, bocatomas sin estructura de concreto, acueductos municipales enterrados, carretera pavimentada: 25 m
- Cuerdas de alta tensión, carretera destapada en corte: 50 m
- Tanques de agua, Viviendas en material, bocatomas con estructuras en concreto: 70 m
- Viviendas en madera: 20 m
- Acueductos veredales superficiales o enterrados: 5 m

La utilización de cargas en ríos, lagos y lagunas está prohibida. Se permite la exploración utilizando otras tecnologías, tales como pistola de aire o equivalente las cuales tienen su debida normatividad y restricciones establecidas por el ministerio de medio ambiente.

2 CORDILLERA ORIENTAL

2.1 CORDILLERA DE LOS ANDES

Debido al choque hace millones de años entre la placa tectónica de Nazca y la placa Sudamericana surgió la formación de la cordillera de los Andes, convirtiéndose así en una de las cordilleras más importantes del mundo.

La cordillera de los Andes tiene un área aproximada de 3370794 Km¹, en los cuales se encuentran comprendidos siete países de América del Sur como: Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú, Bolivia, Argentina y Chile. Debido a su amplia superficie se ha clasificado en diferentes grupos, el más conocido y hoy día utilizado es el propuesto por el geólogo Augusto Gansser² quien clasificó la cordillera en tres grupos de acuerdo a su morfología los cuales son: Andes Septentrionales, Andes Centrales y Andes Australes.

En los Andes Septentrionales se encuentran Colombia, Ecuador y Venezuela, siendo este grupo el que tiene una gran actividad volcánica de toda la cordillera. La cordillera de los Andes Colombiana se subdivide inicialmente en dos ramales o cordilleras más pequeñas como son la Cordillera Occidental y la Cordillera Oriental, donde esta última se subdivide en dos cadenas como son la Cordillera Central y la Cordillera Oriental. De esta forma Colombia tiene tres cordilleras ricas en fauna y flora que conforman la cordillera de los Andes. (Figura 2-1).

1 Enciclopedia de Características. (2017). 10 Características de la Cordillera de los Andes. Recuperado de: <http://www.caracteristicas.co/cordillera-de-los-andes/>

2 Enciclopedia de Características. (2017). 10 Características de la Cordillera de los Andes. Recuperado de: <http://www.caracteristicas.co/cordillera-de-los-andes/>

Figura 2-2. Cordilleras de Colombia.



Fuente: Viajes de actualidad [en línea]. <<https://www.absolutviajes.com/las-cordilleras-de-colombia/>> [citado el 18 de Marzo de 2017].

2.2 CORDILLERA ORIENTAL COLOMBIANA

La cordillera Oriental cuenta con una superficie³ aproximada de 144.252 Km² convirtiéndola así en la cordillera más extensa del país y en la cual se encuentran inmersos departamentos como: Cundinamarca, Boyacá, Santander, Norte de Santander, Huila, Tolima, Cesar, La Guajira, Caquetá, Meta, Casanare y Arauca. (Figura 2-3). La formación de esta cordillera se dio debido al choque convergente entre la placa del Caribe y el Escudo de la Guayana lo que genero a su vez la cuenca de los Llanos Orientales la cual es considerada como una de las cuencas de mayor interés en la industria del petróleo.

La Cordillera Oriental es una zona rica en paramos y recursos hidrológicos, dentro de los páramos más importantes que se encuentran en esta zona podemos nombrar algunos como: Paramos de Sumapaz, Paramo de Pisba, Sabana de Bogotá, Cerro de Monserrate, Serranía de Perijá entre otros. En cuanto a recursos hídricos⁴ cuenta con: el Rio Magdalena del cual se crea la cuenca más importante de Colombia, Rio

³ SALAZAR, Irene. Documentos de trabajo sobre la ECONOMIA REGIONAL. Banco de la Republica. Enero del 2010. 1 p.

⁴ SALAZAR, Irene. Documentos de trabajo sobre la ECONOMIA REGIONAL. Banco de la Republica. Enero del 2010.

Guaviare, Rio Suarez, Rio Meta entre otros. Siendo así esta una de las zonas con mayor aporte económico al país gracias a las riquezas naturales que posee.

Figura 2-3. Cordillera Oriental.



Fuente: Orografía Colombiana [en línea]; <<http://socialesjaiensec.blogspot.com.co/2013/07/orografia-de-colombia.html>> [citado el 18 de Marzo del 2017]

2.3 GEOLOGÍA DE LA CORDILLERA ORIENTAL

Hace más de 60 millones de años la cordillera Oriental no existía solo después de la reactivación e inversión tectónica de las placas se formó está, en el periodo del Eoceno tardío y el Oligoceno temprano,⁵ dicho levantamiento ocurrió en forma de pliegues iniciando en el Magdalena Medio donde el primer vestigio de la cordillera se conoció como la Cordillera de los Cobardes perteneciente al periodo del Oligoceno Tardío, posteriormente debido al empuje de las placas estas fallaron nuevamente hacia el oriente de la cordillera ocurriendo el siguiente levantamiento y así sucesivamente debido al movimiento continuo de las placas, hace algunos años

⁵ CABALLERO, Víctor. MORA, Andrés. Levantamiento de la cordillera oriental de Colombia durante el eoceno tardío – oligoceno temprano: proveniencia sedimentaria en el sinclinal de nuevo mundo, cuenca valle medio del magdalena-Boletín de Geología, vol. 32. 2010.

ciudades como Bogotá y Bucaramanga hacían parte del Piedemonte Llanero pero debido al movimiento continuo de las placas la cordillera crece de 1 a 4 cm por año lo cual hace que cada vez su extensión sea mayor, hoy día el Piedemonte Llanero lo conforma Villavicencio. Otro de los episodios importantes del desarrollo de la cordillera tiene que ver con las formaciones Jordán y Girón las cuales se originaron gracias a la reactivación e inversión tectónica presente, en donde las fallas normales presentes se reactivaron como fallas inversas dando así origen a dichas formaciones las cuales pertenecen a los periodos del Triásico Tardío al Jurásico Medio,⁶ poseen material sedimentario como arenitas, limolitas, rocas piroclásticas, riolitas y tobas, gran cantidad de este material se puede evidenciar al oeste de Bucaramanga. Debido al choque de las placas tectónicas que dieron origen a la cordillera Oriental y los diferentes episodios de levantamiento de esta dieron lugar para la creación de depósitos de material aluvial desde la formación de ríos meándricos hasta los abanicos aluviales.

2.4 HIDRODINAMISMO

La cordillera Oriental es un conjunto de esfuerzos divergentes entre la zona de África y Sur América y convergentes al otro lado de la misma. Cuando ocurrió el levantamiento de los Andes se generó un crecimiento en Sur América generándose un distanciamiento del mar, lo que ocasiono la creación de mares interiores más pequeños de los cuales sobresale el Golfo Coquivacoa, allí se depositó materia orgánica hace más de 95 millones de años. Debido a la caída de un meteorito en el Océano Indico se generó una onda de roca fundida por debajo de la litosfera y por encima del manto inferior, dicha onda produjo el rompimiento de la litosfera creando a su vez súper penachos que generaron gran cantidad de ceniza tapando así el sol, debido a la falta de luz solar las especies presentes para esa época se extinguieron y posteriormente se depositaron como materia orgánica en el golfo Coquivacoa y es hoy día lo que se conoce como Formación la Luna, siendo esta la segunda roca generadora más grande del mundo y ya se entiende por qué.

Las rocas presentes en la cordillera Oriental hacen parte de dicha inmersión de materia orgánica asociadas a los periodos entre el Precámbrico siendo esta la etapa más larga de la tierra, hasta el periodo del Paleozoico⁷ al cual hace parte el Escudo de la Guayana ubicado hacia la Amazonia Colombiana. (Figura 2-4). Posterior a la deposición de materia orgánica ocurre la generación de crudo el cual migra por medio de fallas existentes, al levantarse la cordillera las rocas que se encuentran en el piedemonte Llanero y llano adentro, contienen petróleo atrapado debido a la

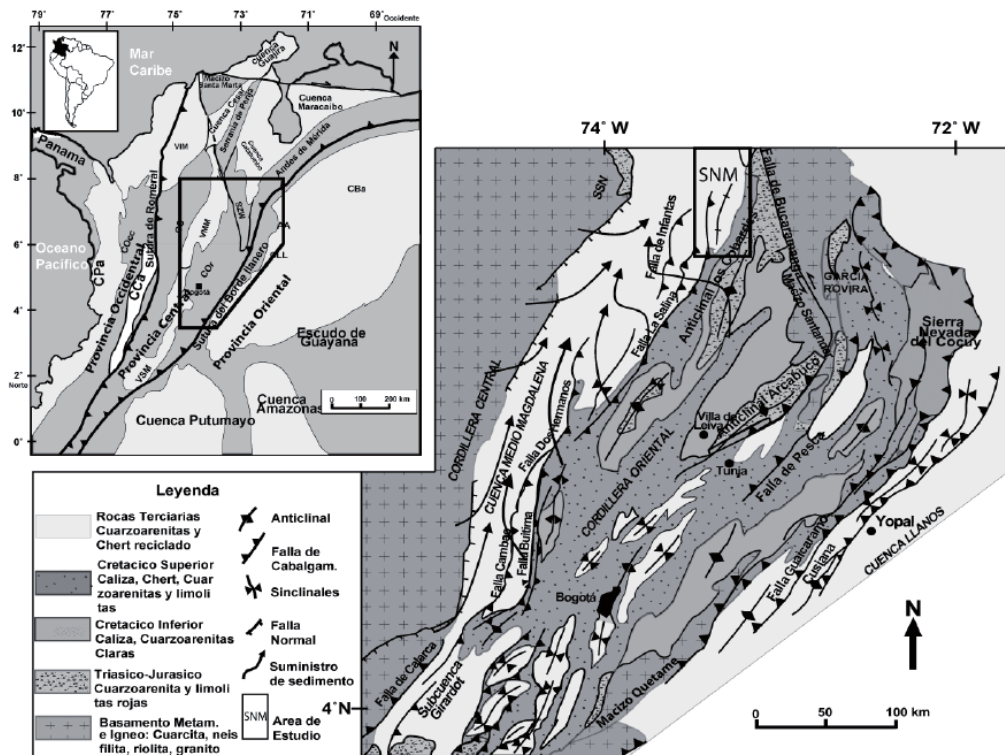
⁶ CABALLERO, Víctor. MORA, Andrés. Levantamiento de la cordillera oriental de Colombia durante el eoceno tardío – oligoceno temprano: proveniencia sedimentaria en el sinclinal de nuevo mundo, cuenca valle medio del magdalena-Boletín de Geología, vol. 32. 2010.

⁷ CABALLERO, Víctor. MORA, Andrés. Levantamiento de la cordillera oriental de Colombia durante el eoceno tardío – oligoceno temprano: proveniencia sedimentaria en el sinclinal de nuevo mundo, cuenca valle medio del magdalena-Boletín de Geología, vol. 32. 2010.

discordancia producida por el movimiento del techo y la base de estas rocas, por su continuidad lateral llegan a la cordillera haciendo parte de esta.

Las rocas que se encuentran en el fondo de la cordillera como por ejemplo la Formación Carbonera al momento de ocurrir el levantamiento en esta zona y aflorar en superficie se convierten en zonas de recargas de yacimientos, por esta razón los yacimientos que se encuentran en los Llanos tienen hidrodinamismo, el cual es un fenómeno presente en el 90%,⁸ de la cordillera y consiste principalmente en yacimientos con recargas de agua natural y en la mayoría de casos agua dulce y potable. Estos yacimientos tienen sistemas de energía extra debido al acuífero activo asociado actuando como mecanismo de empuje del crudo por medio del agua y manteniendo la presión constante del mismo, estos yacimientos se conocen también como yacimientos infinitos debido a su continuidad lateral. Estas recargas de agua para los yacimientos pueden estar en los ríos, lagos, lagunas o demás cuerpos de agua que se encuentran en la zona, es por eso que estas fuentes de agua son las más afectadas por el desarrollo de la industria petrolera.

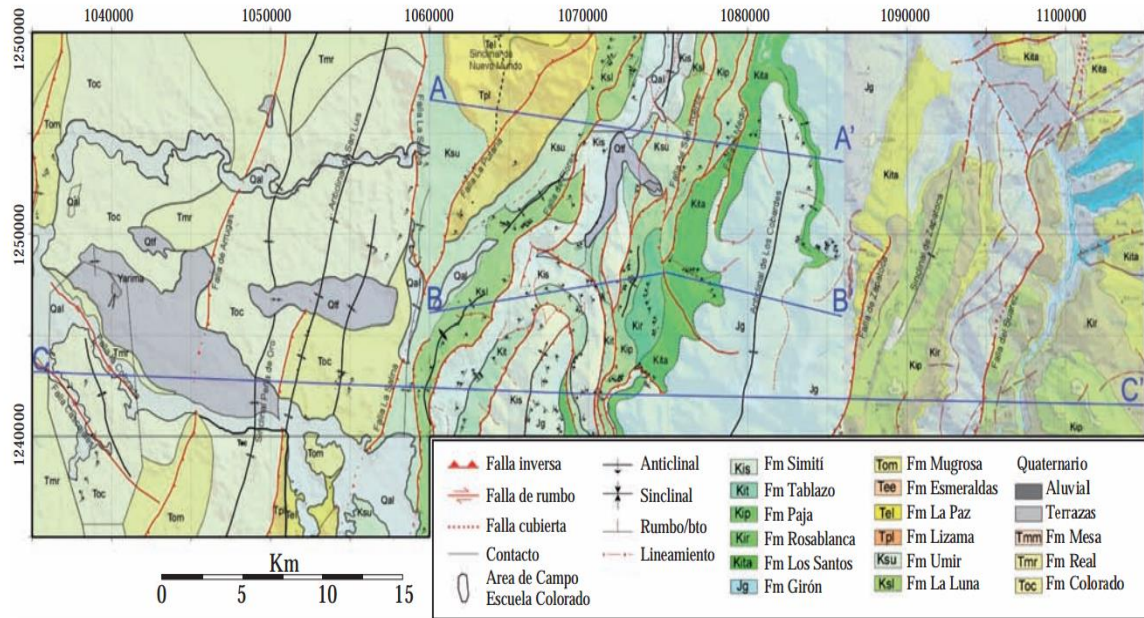
Figura 2-4. Provincias geológicas de Colombia.



Fuente: CABALLERO, Víctor. MORA, Andrés. Levantamiento de la cordillera oriental de Colombia durante el eoceno tardío – oligoceno temprano: proveniencia sedimentaria en el sinclinal de nuevo mundo, cuenca valle medio del magdalena-Boletín de Geología, vol. 32. 2010.

⁸ Fuente: Vanguardia [en línea]: <http://www.vanguardia.com/opinion/columnistas/movimiento-civico-conciencia-ciudadana/276969-acuiferos-e-hidrodinamismo> [citado el 18 de Marzo del 2017]

Figura 2-5. Sistema de falla cordillera Oriental.



Fuente: JIMENEZ, Giovanny. LÓPEZ Oscar. JAIMES, Leonardo. UMAÑA, Ricardo. Variaciones en el estilo estructural relacionado con anisotropías de basamento en el Valle Medio del Magdalena. Ciencias de la tierra. 2016.

2.5 ESTRATIGRAFIA CORDILLERA ORIENTAL

En la siguiente tabla se explica de una mejor manera los materiales presentes en la cordillera asociados a los periodos comprendidos entre el Paleoceno y Post-Paleoceno.⁹

Tabla 4. Litologías indicadoras de proveniencia y unidades principales presentes en la Cordillera Oriental.

<i>Clastos Indicadores Proveniencia</i>	<i>Nomenclatura fuente</i>
	Cordillera Oriental
Cuarzo	Eoceno Form. La Paz
Chert	Cretácico Superior Luna Eoceno Form. La Paz
Arenita y limolita clara	Triásico Bocas Eoceno Form. La Paz

⁹ CABALLERO, Víctor. MORA, Andrés. Levantamiento de la cordillera oriental de Colombia durante el eoceno tardío – oligoceno temprano: proveniencia sedimentaria en el sinclinal de nuevo mundo, cuenca valle medio del magdalena-Boletín de Geología, vol. 32. 2010.

Tabla 4. Litologías indicadoras de proveniencia y unidades principales presentes en la Cordillera Oriental. (Cont.)

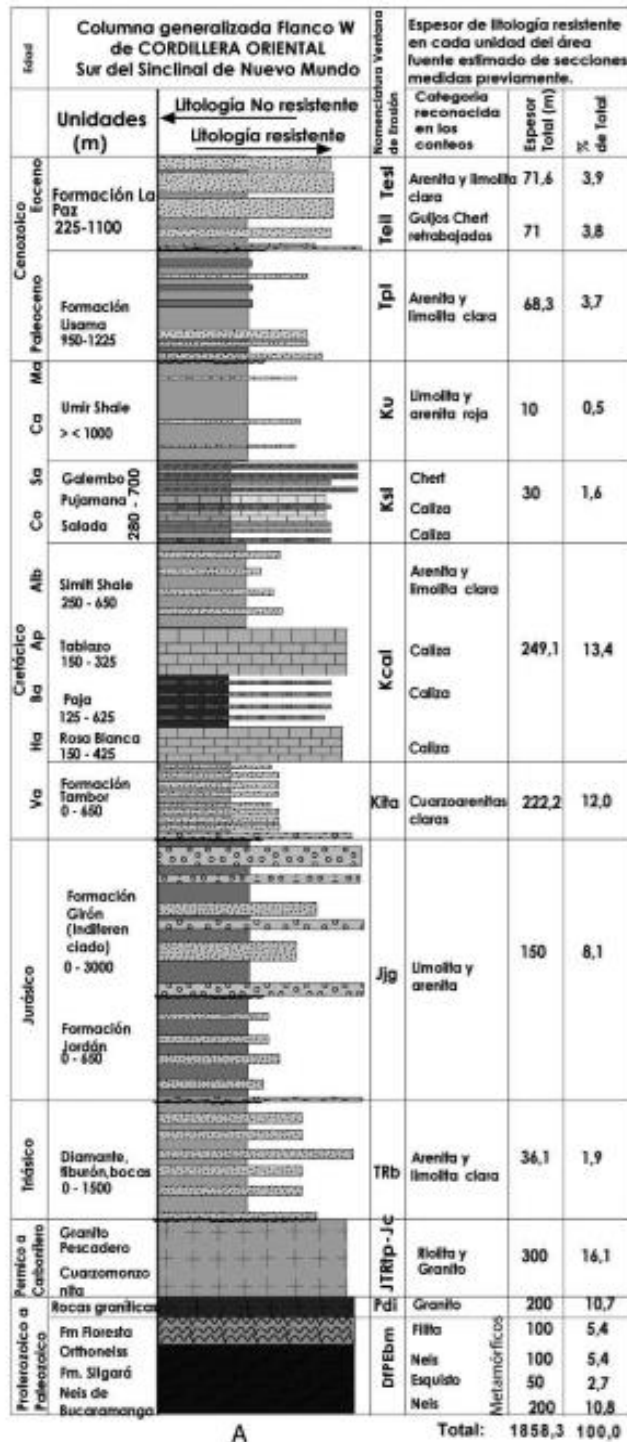
Limolita y arenita roja	Jurásico Jordán Girón Cretácico Umir
Caliza	Cretácico Calcáreo
Riolita y granito	Jura Triásico Ígneo
Metamórfico	Devónico Precámbrico metamórfico

Fuente: CABALLERO, Víctor. MORA, Andrés. Levantamiento de la cordillera oriental de Colombia durante el eoceno tardío – oligoceno temprano: proveniencia sedimentaria en el sinclinal de nuevo mundo, cuenca valle medio del magdalena-Boletín de Geología, vol. 32. 2010.

De acuerdo a las características únicas y fenómenos presentes en la zona se evidencian tipologías propias y únicas en la cordillera Oriental tales como los diques de cuarzo y cuarcita pertenecientes a la formación Neis de Bucaramanga y la formación Silgara, en la tabla se puede evidenciar la tipología general en las formaciones principales de la cordillera como: Formación la Paz, Esmeraldas, Colorado y Grupo Real, donde se encontró material como: Cuarzo, Chert, Arenita Roja y Limolita, Arenita Clara y Limolita, Caliza, Riolita y Granito y clastos de tipo Metamórfico de Neis, Filita y Esquisto.¹⁰ (Tabla).

¹⁰ CABALLERO, Víctor. MORA, Andrés. Levantamiento de la cordillera oriental de Colombia durante el eoceno tardío – oligoceno temprano: proveniencia sedimentaria en el sinclinal de nuevo mundo, cuenca valle medio del magdalena-Boletín de Geología, vol. 32. 2010.

Figura 2-6. Columna estratigráfica generalizada del Sinclinal Nuevo Mundo.



Fuente: CABALLERO, Víctor. MORA, Andrés. Levantamiento de la cordillera oriental de Colombia durante el eoceno tardío – oligoceno temprano: proveniencia sedimentaria en el sinclinal de nuevo mundo, cuenca valle medio del magdalena-Boletín de Geología, vol. 32. 2010.

2.6 SISTEMA PETROLIFERO CORDILLERA ORIENTAL

2.6.1 Cuenca Cordillera Oriental

A lo largo del tiempo debido a la exploración en esta cordillera por más de cinco décadas se ha logrado descubrir cerca de 1700 MBP, 2.0 TCFG y 10 campos en total de los cuales hacen parte Cusiana, Cupiagua y Gibraltar.¹¹ Además, cuenta con una de las formaciones más productoras del país como lo es la Cuenca del Valle Medio del Magdalena siendo así esta una de las zonas más exploradas y prolíficas del país. Esta cuenca tiene un área aproximada de 71 766 Km² y produce petróleo y gas.

2.6.1.1 Roca generadora

Las principales fuentes generadoras de petróleo y gas en esta cordillera provienen de rocas como shales, limolitas y calizas. Además, la formación de lutitas provenientes de unidades como La Luna, Conejo, Guaduas y Une, son fuente principal de generación de gas en la región axial de esta cordillera y en la zona occidental de la cordillera predomina la formación de petróleo y gas conjuntamente.

Las fuentes potenciales de generación de hidrocarburos en esta cordillera se atribuyen a los shales marinos que se encuentran en formaciones como Guadalupe, Chipaque, Une y Tibasosa. Estas principales rocas cuentan con valores de TOC entre 1.0 y 3.0% y con una clasificación de kerógeno tipo I y II.¹²

2.6.1.2 Generación y Migración

Uno de los primeros eventos de generación en esta zona ocurrió durante el periodo del Cretácico tardío, pero gran parte de esta generación se perdió debido a la falta de trampas para esa época que pudieran atrapar el hidrocarburo.

Para un segundo evento de generación ocurrió en la época del Mioceno a la época reciente. En esta ocasión el hidrocarburo migro quedando atrapado en reservorios clásticos y de carbonatos de la era del Cretácico.

Existen dos tipos de fallas encontradas en la cordillera Oriental unas son de tipo estructural y las otras son estratigráficas. Las trampas estratigráficas se atribuyen a cambios en canales aluviales y facies presentes en formaciones de la época del Cenozoico.

2.6.1.3 Roca Reservorio

Las principales rocas reservorios son las areniscas de ambientes deltaicos a costeros pertenecientes a las formaciones Une, Guadalupe y Chipaque las cuales se depositaron aproximadamente en los periodos del Albiano, Cenomaniano y Campaniano. Estas rocas presentan propiedades petrofísicas muy buenas como:

¹¹ Información Geológica y Geofísica. Estudios Integrados y Modelamientos. Open round Colombia, ANH. 9 p. 2010.

¹² Información Geológica y Geofísica. Estudios Integrados y Modelamientos. Open round Colombia, ANH. 10 p. 2010.

Porosidad promedio entre 5 y 10% y Permeabilidades de 4 a 100 mD.¹³ También son de interés formaciones como Dura y Labor que presentan propiedades similares a las anteriores con la diferencia que estas unidades están expuestas en la mayoría de las estructuras.

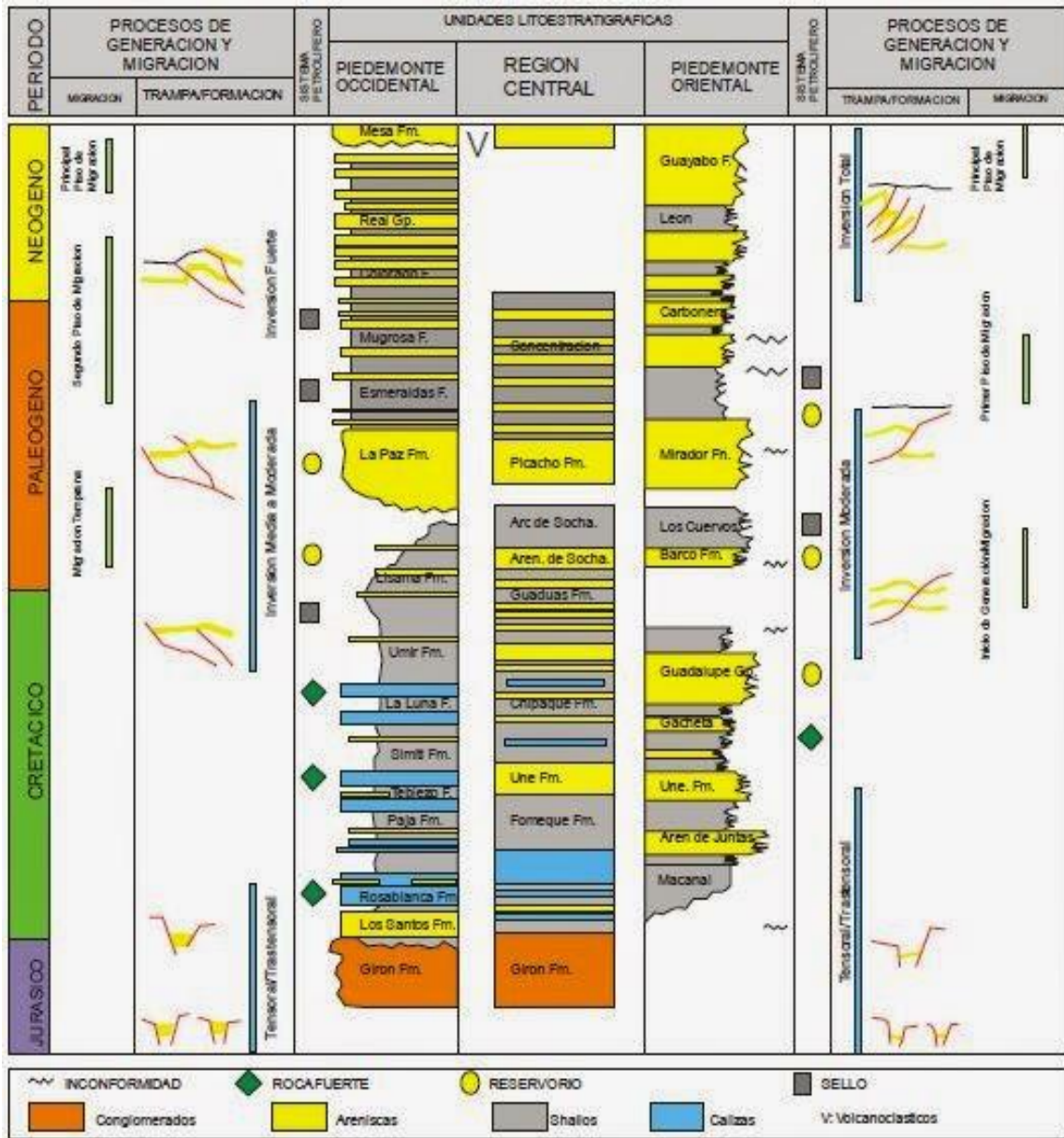
2.6.1.4 Roca Sello

Los sellos encontrados en esta zona son shales que están intercalados con las areniscas de los niveles de la roca reservorio y los cuales se originaron en ambientes marinos y costeros pertenecientes a formaciones como Guaduas, Guadalupe, Chipaque y Une.¹⁴ Para el Paleógeno los sellos de las areniscas se basan principalmente en shales interestratificadas y en arcillolitas de las formaciones Concentración y Soacha Superior. (Figura 2-7)

¹³ Información Geológica y Geofísica. Estudios Integrados y Modelamientos. Open round Colombia, ANH. 10 p. 2010.

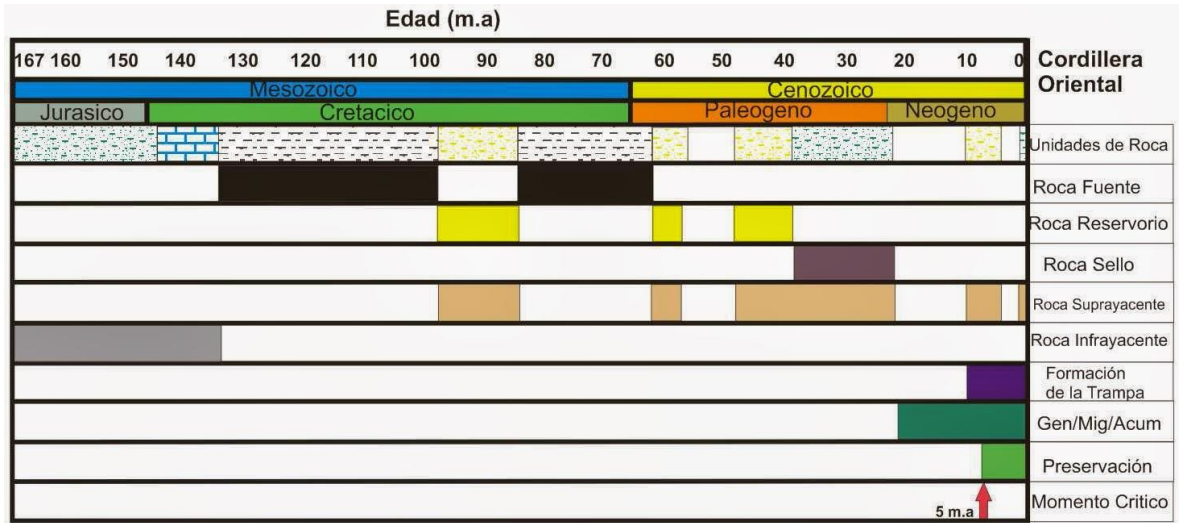
¹⁴ Información Geológica y Geofísica. Estudios Integrados y Modelamientos. Open round Colombia, ANH. 11 p. 2010.

Figura 2-7. Columna estratigráfica generalizada.



Fuente: Información Geológica y Geofísica. Estudios Integrados y Modelamientos, ANH.

Figura 2-8. Carta de eventos.



Fuente: BARRERO D, Pedro. VARGAS C, MARTINEZ J. Colombian Sedimentary Basins Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal. Agencia Nacional de Hidrocarburos. 2009.

2.6.2 Cuenca Llanos Orientales

Es una de las cuencas más apetecidas por el mercado petrolífero debido a su alta producción de hidrocarburos convirtiéndola así en una de las cuencas más productoras e importantes para la economía del país. Se considera que el volumen de petróleo por descubrir en esta cuenca es de aproximadamente unos 124000 MBP. Cuenta con campos grandes y muy importantes los cuales son Caño Limón, Rubiales, Apiay y Castilla, además tiene más de ochenta campos menores que han sido descubiertos en esta zona.

2.6.2.1 Roca Generadora

La principal fuente de la roca generadora para esta zona pertenece a las lutitas marino continentales pertenecientes a formaciones como Gacheta, Barco, Los Cuervos y Une. La más importante es la formación Gacheta que se encuentra ubicada por debajo del flanco oriental de la cordillera Oriental. Hacia el Sur Oeste de la zona se encuentra la mayor madurez termal de esta cuenca asociada a la falla Guaicaramo. La formación Carbonera se considera como roca fuente secundaria de tipo continental y en la cual se ha generado petróleo y gas. Estas rocas poseen kerógeno tipo II y III con rangos de TOC entre 1 y 3% y un espesor de 50 a 100 metros.¹⁵

¹⁵ Información Geológica y Geofísica. Estudios Integrados y Modelamientos. Open round Colombia, ANH. 13 p. 2010.

2.6.2.2 Migración

Se encuentran registrados dos eventos de migración en esta cuenca de los cuales el primero ocurrió durante el periodo del Eoceno Tardío al Oligoceno. Y el segundo tuvo inicio en el periodo del Mioceno y continúa hasta la actualidad.

Para esta zona se han encontrado diferentes tipos estructurales de trampas. En el Piedemonte se encuentran cabalgamiento y pliegues proporcionando así el mayor número de trampas para esta zona. En la provincia del Casanare se encontraron fallas antiéticas reactivadas en el periodo del Mioceno con pequeños movimientos de rumbo debido a la compresión Andina, además tienen trampas estratigráficas tipo barras y canales. En la provincia de Arauca durante el periodo del Oligoceno de evidencian plegamientos suaves y fallas de rumbo. En la provincia del Meta se encuentran fallas similares a la provincia anterior las cuales son trampas con plegamiento suave, trampas estratigráficas y fallas de rumbo. Siendo así los más importantes en temas de exploración los anticlinales asociados con fallas inversas, estructuras de bajo relieve y trampas estratigráficas.

2.6.2.3 Roca Reservorio

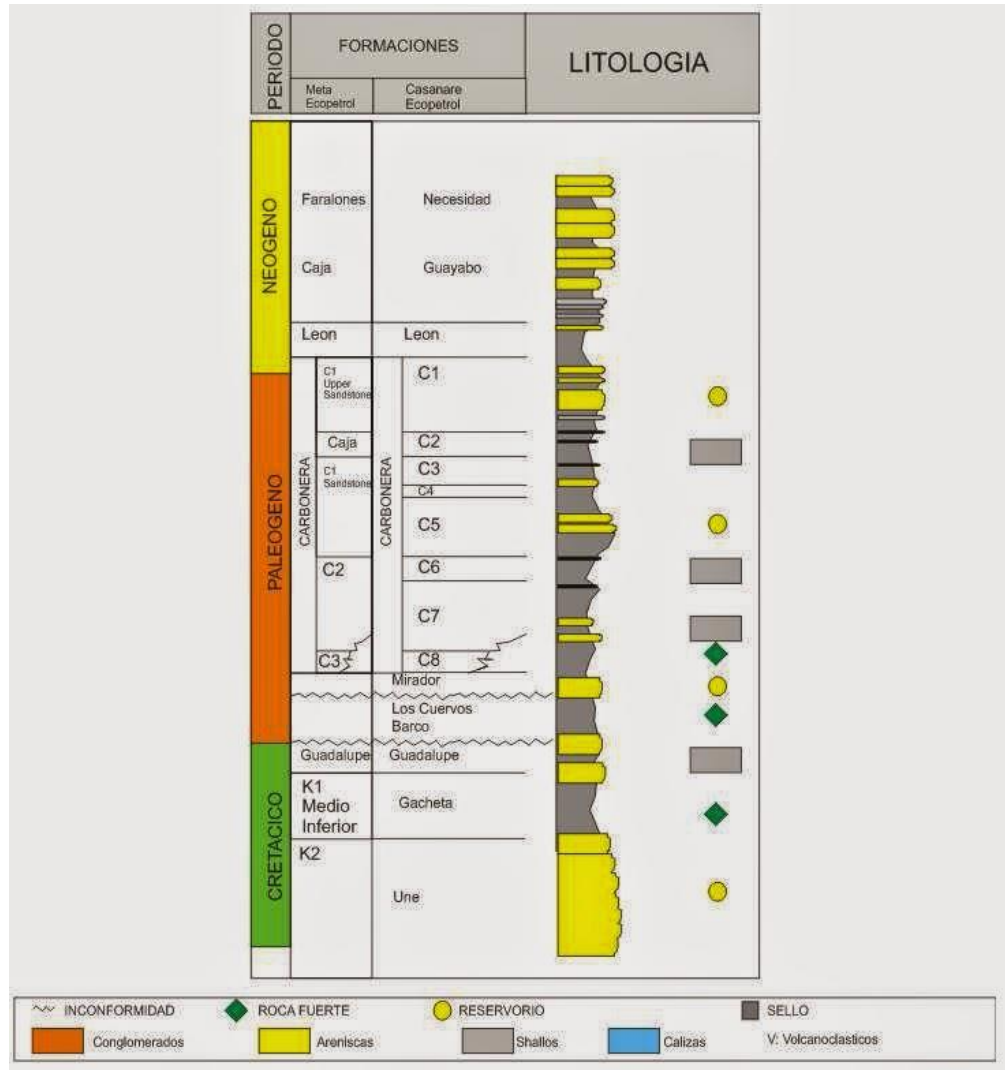
Las areniscas continentales asociadas al Cretácico son los principales reservorios de esta cuenca encontrados en la formación Mirador. También son excelentes almacenadoras las areniscas de las formaciones Carbonera y Barco las cuales tienen porosidades hasta de un 20%.

2.6.2.4 Roca Sello

El sello más importante de esta cuenca pertenece a la formación León. De la formación Carbonera las unidades C2, C4, C6 y C8¹⁶ constituyen los sellos para esta zona. Además, se tienen en cuenta las lutitas de la formación Gachetá y de la formación Guadalupe que también son lutitas, pero de tipo interestratificadas.

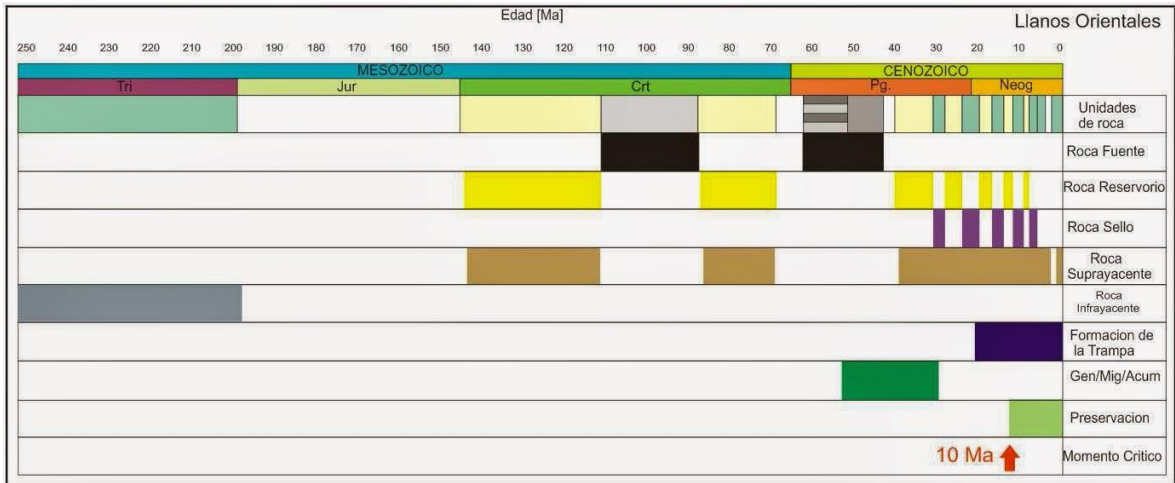
¹⁶ Información Geológica y Geofísica. Estudios Integrados y Modelamientos. Open round Colombia, ANH. 14 p. 2010.

Figura 2-9. Columna estratigráfica generalizada.



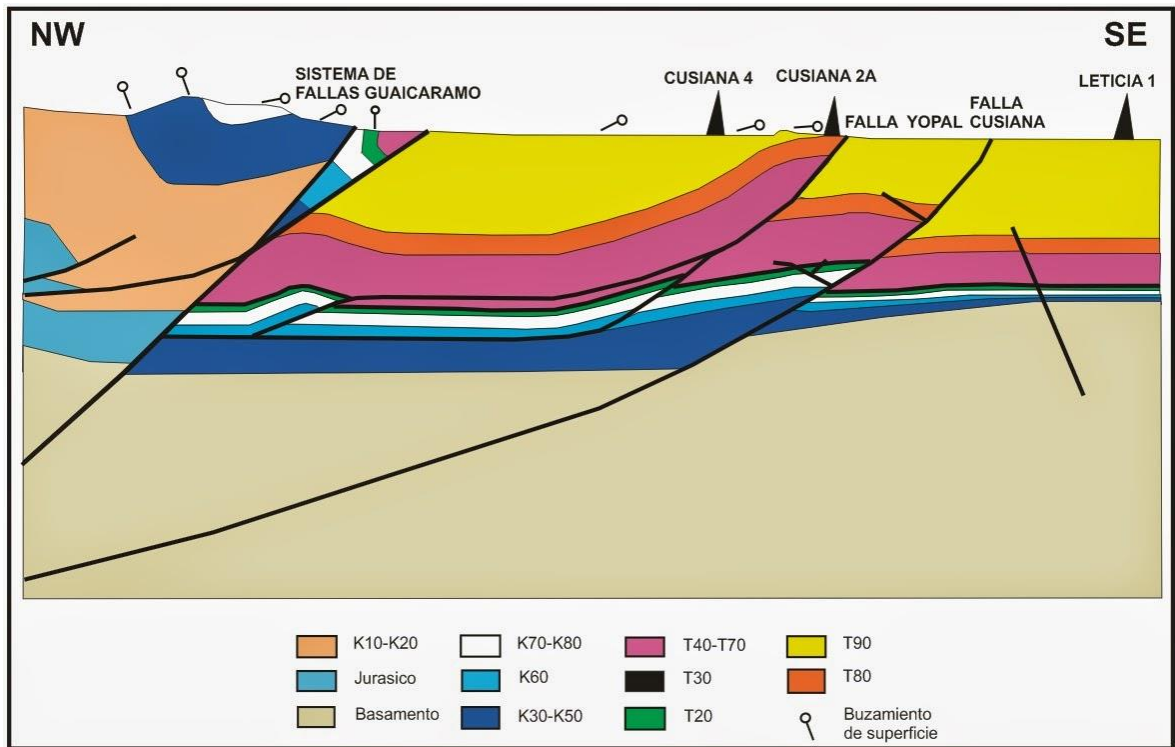
Fuente: B&M Exploration Ltda. 2008.

Figura 2-10. Carta de eventos



Fuente: BARRERO D, Pedro. VARGAS C, MARTINEZ J. Colombian Sedimentary Basins Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal. Agencia Nacional de Hidrocarburos. 2009

Figura 2-11. Perfil estructural



Fuente: BARRERO D, Pedro. VARGAS C, MARTINEZ J. Colombian Sedimentary Basins Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal. Agencia Nacional de Hidrocarburos. 2009

Cuenca Valle Medio del Magdalena

La cuenca del Valle Medio del Magdalena es una de las zonas con mayor potencial de hidrocarburos del país siendo así en una de las más exploradas la cual se encuentra ubicada entre la cordillera Oriental y Central de los Andes. Se han descubierto cerca de 2.412 MBP y 2.5 TPCG ubicados en más de 50 campos¹⁷, entre los cuales se encuentra uno de los más importantes y el primero descubierto en Colombia conocido como La Cira Infantas.

2.6.2.5 Roca Generadora

Como principal roca fuente en esta cuenca corresponden a calizas y lutitas de formaciones como: La Luna, Tablazo y Paja correspondientes al periodo del Cretácico. Presentan kerógeno tipo II y con valores de TOC entre 1 a 6%. La Luna produce generalmente aceite en cambio la formación Tablazo produce aceite y condesados.

2.6.2.6 Migración

En esta cuenca se evidencian discordancias que generaron a su vez rutas de migración favoreciendo así el transporte de hidrocarburos de dicha cuenca, dichas discordancias se asocian al periodo del Eoceno.¹⁸ En la formación La Luna existe migración vertical del material generado, migración lateral para areniscas.

En cuanto a trampas en esta cuenca se han podido identificar 4 tipos de trampas las cuales son: trampas en la zona baja de fallas tipo sello, cabalgamiento con cierre independiente en estructuras dúplex y pliegues contraccionales asociados a fallas por cabalgamiento.

2.6.2.7 Roca Reservorio

Formaciones como Lisama, La Paz, Esmeralda, Colorado y Mugrosa conforman la parte más importante en cuanto a la roca reservorio de esta cuenca en la cual se encuentran areniscas continentales del periodo del Cenozoico. Tienen características petrofísicas interesantes como porosidad promedio entre 15 a 20% y permeabilidades de 20 a 600 mD.¹⁹

2.6.2.8 Roca Sello

Como fuente potencial de roca sello son las lutitas marinas pertenecientes a formaciones Simití y Unir asociadas al periodo del Cretácico.²⁰ Para el periodo del

¹⁷ Información Geológica y Geofísica. Estudios Integrados y Modelamientos. Open round Colombia, ANH. 17 p. 2010.

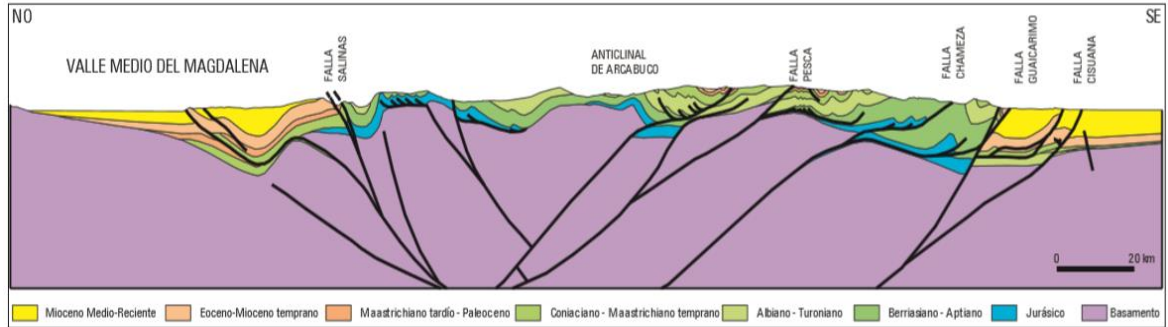
¹⁸ Información Geológica y Geofísica. Estudios Integrados y Modelamientos. Open round Colombia, ANH. 17 p. 2010.

¹⁹ Información Geológica y Geofísica. Estudios Integrados y Modelamientos. Open round Colombia, ANH. 17 p. 2010.

²⁰ Información Geológica y Geofísica. Estudios Integrados y Modelamientos. Open round Colombia, ANH. 17 p. 2010.

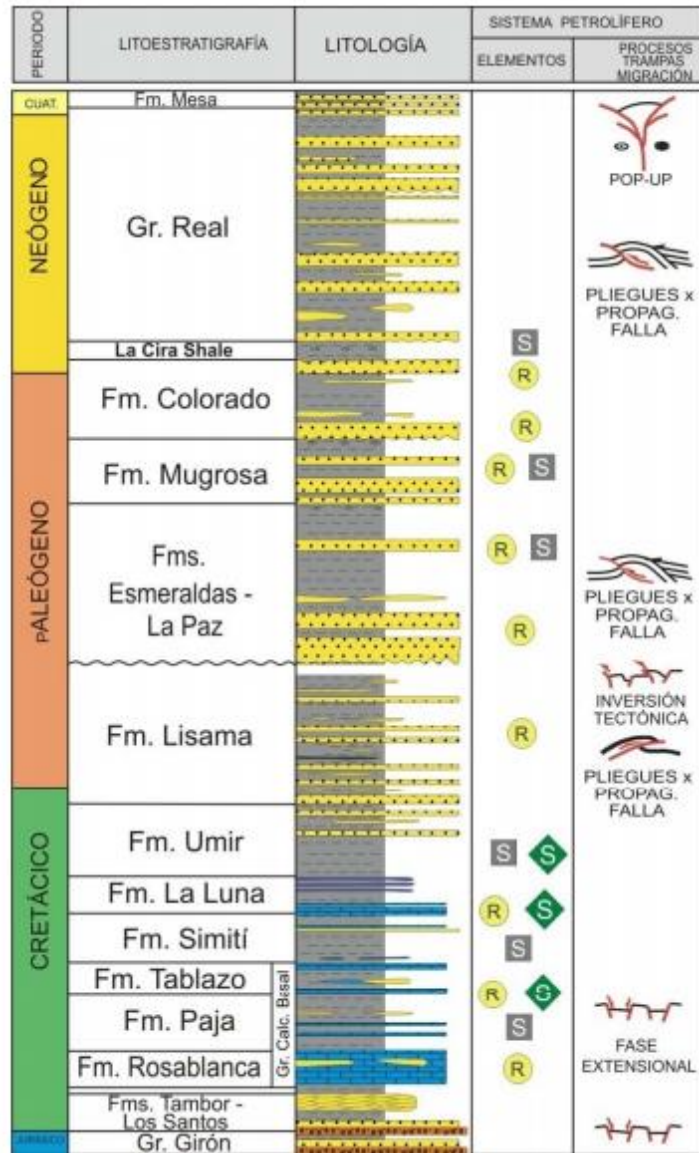
Cenozoico la roca sello son arcillolitas plásticas continentales provenientes de formaciones como Esmeralda y Colorado. (Figura 2-13)

Figura 2-12. Perfil estructural.



Fuente: Información Geológica y Geofísica. Estudios Integrados y Modelamientos, ANH.

Figura 2-13. Perfil estructural generalizado.



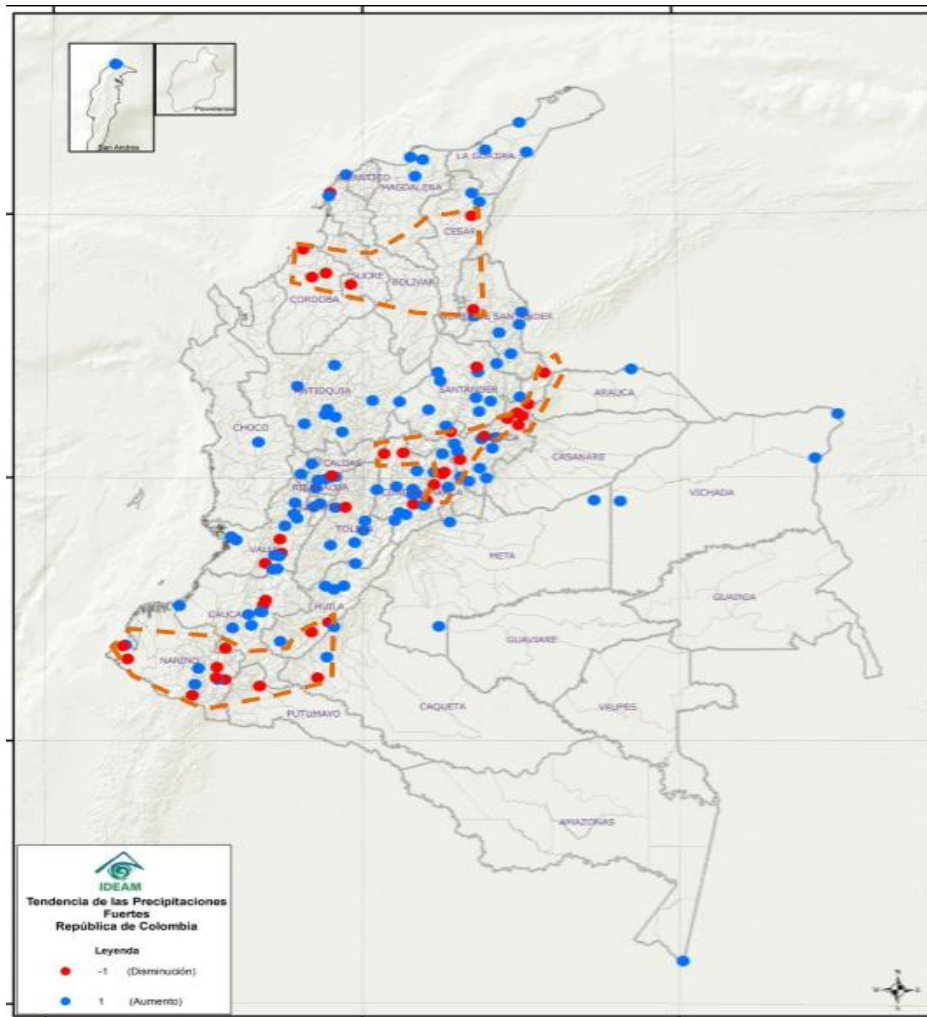
Fuente: B&M Exploration Ltda. 2008.

2.7 FRAGILIDAD DE LA CORDILLERA

Debido a las características geológicas que conforman la cordillera hacen de esta una zona de alta fragilidad ya que posee muchos problemas asociados a la erosión, todos los ríos que se desprenden de la cordillera presentan sedimentación lo que genera que arrastren mucho material debido a que la cordillera es blanda, además es necesario tener en cuenta que el invierno es el clima presente en la zona el cual ayuda a que se genere más cantidad de material de arrastre y fenómenos como derrumbes.

Como se puede ver en la Figura 2-14 la mayor parte del año se presentan altas precipitaciones en las zonas marcadas con azul²¹ por lo tanto hace que estas regiones presenten en su mayoría material frágil y erosivo.

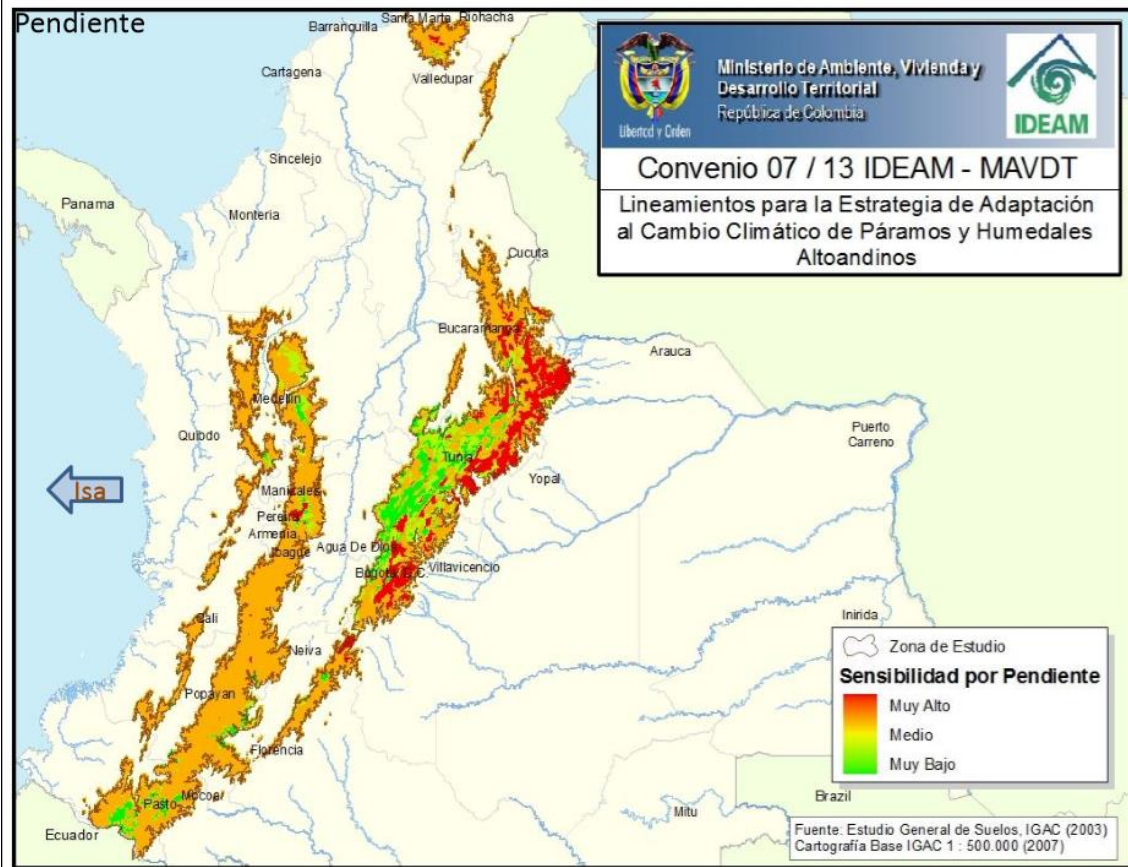
Figura 2-14. Variación de las precipitaciones.



Fuente: Lineamientos técnicos para la estrategia de adaptación al cambio climático de los páramos y humedales altoandinos, IDEAN.2013.

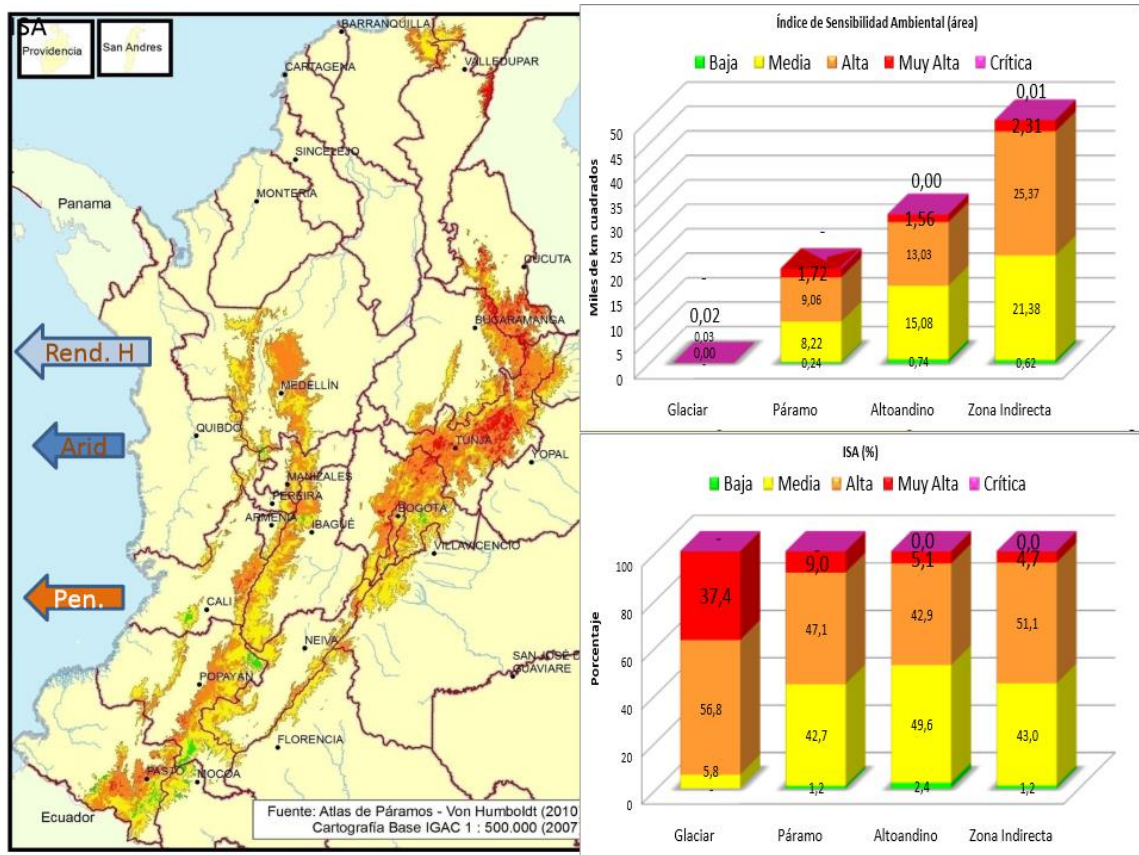
²¹ Lineamientos técnicos para la estrategia de adaptación al cambio climático de los páramos y humedales altoandinos, IDEAN.2013.

Figura 2-15. Sensibilidad por pendiente.



Fuente: Lineamientos técnicos para la estrategia de adaptación al cambio climático de los páramos y humedales altoandinos, IDEAN.2013.

Figura 2-16. Índice de sensibilidad ambiental.



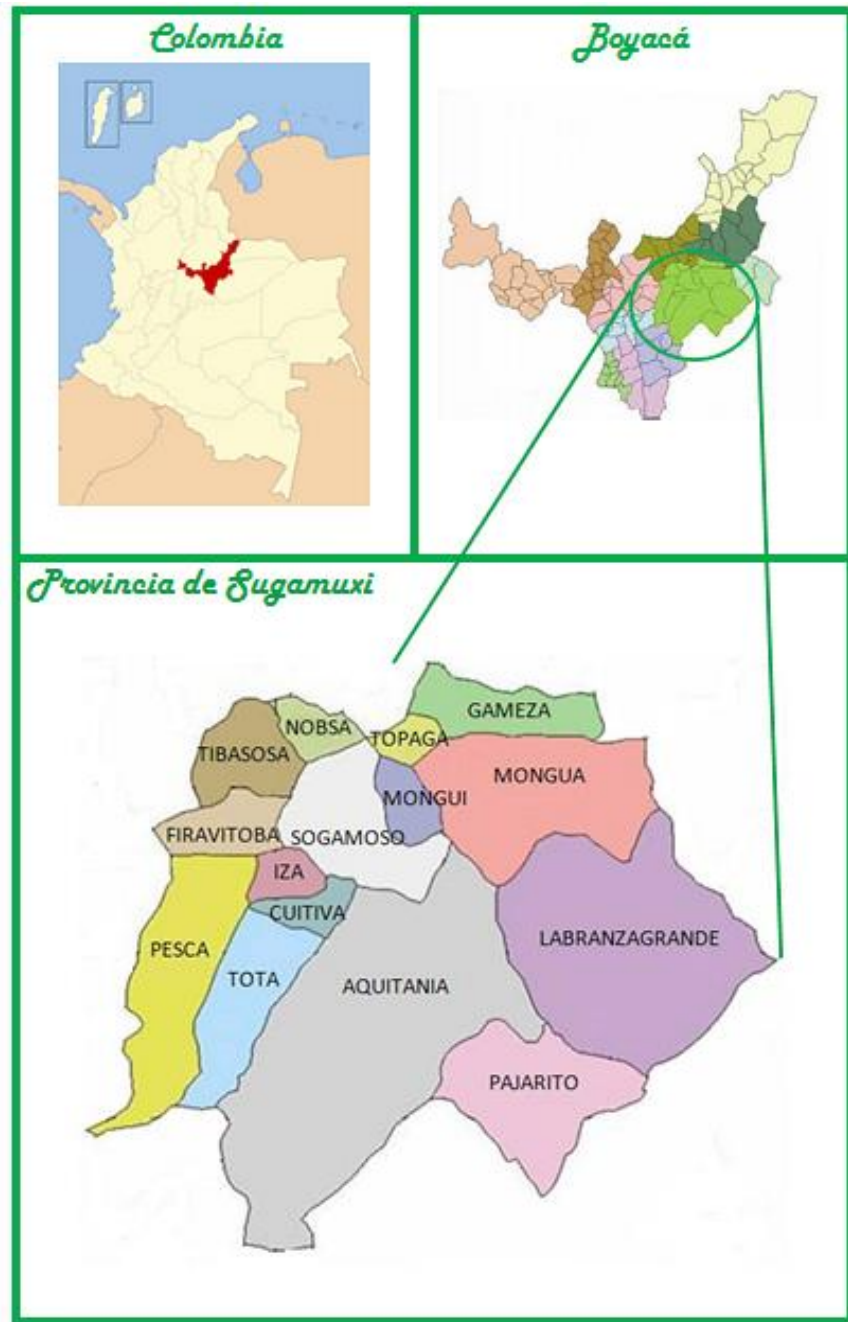
Fuente: Lineamientos técnicos para la estrategia de adaptación al cambio climático de los páramos y humedales altoandinos, IDEAN.2013.

2.8 PROVINCIA SUGAMUXI

El departamento de Boyacá está conformado por 15 provincias donde Sugamuxi es una de ellas, la provincia está dividida en 13 municipios dentro de los más importantes están: Sogamoso, Nobsa, Iza, Tota entre otros. Posee una de las lagunas más hermosas de Colombia como es la laguna de Tota y los hermosos paisajes del altiplano Cundiboyacence. Sugamuxi tiene 200.041²² habitantes, se encuentra ubicada hacia el oriente del departamento y es una región donde se presentan altas precipitaciones a lo largo del año, por tal razón es una zona frágil y poco consolidada.

²² Fuente: Boyacá Cultural [en línea]: <http://www.boyacacultural.com/index.php?option=com_content&view=article&id=107&Itemid=104> [citado el 24 de Marzo del 2017]

Figura 2-17. Provincia de Sugamuxi.

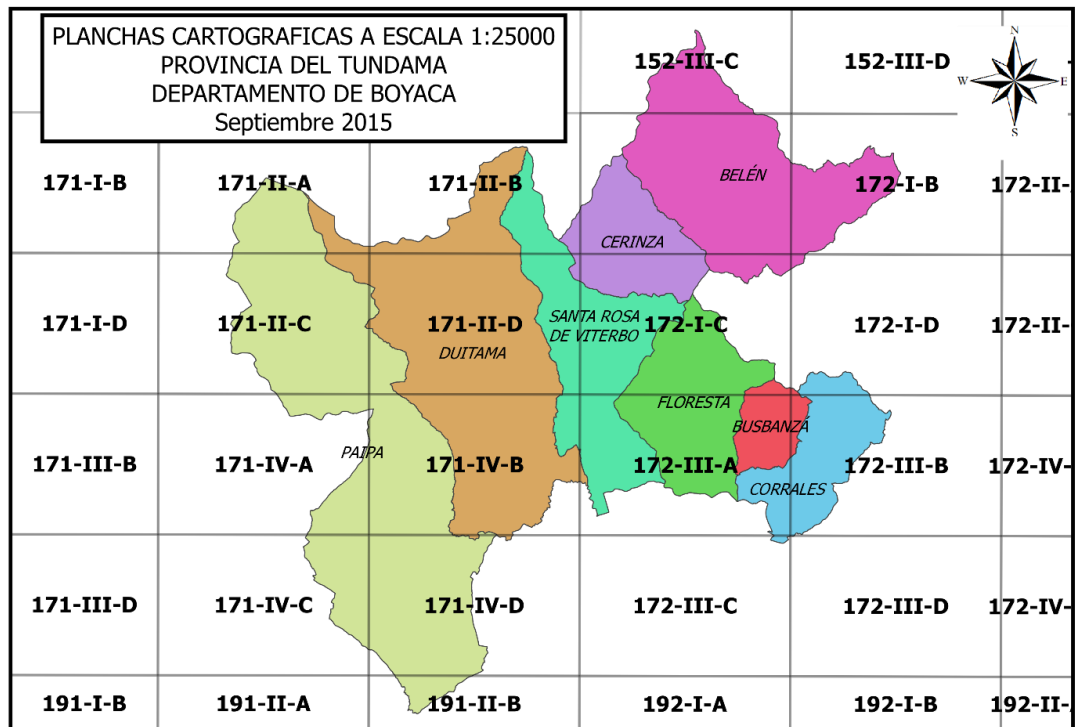


Fuente: Geografía cultural de Boyacá [en línea]: <http://www.boyacacultural.com/index.php?option=com_content&view=article&id=107&Itemid=104> [18 de Marzo del 2017]

2.9 MUNICIPIO DE CORRALES

Corrales pertenece al departamento de Boyacá y más exactamente a la provincia de Tundama, cuenta con una población de 2273²³ habitantes. Al igual que en la mayoría de la cordillera Oriental esta zona presenta altas precipitaciones entre los meses de mayo a junio, es una zona susceptible por la erosión que presenta debido a las bajas temperaturas de la región.

Figura 2-18. Municipio de Corrales.



Fuente: Gobernación de Boyacá [en línea]: <http://www.dapboyaca.gov.co/?page_id=2426> [18 de Marzo del 2017]

²³ Alcaldía de Corrales Boyacá [en línea]: <http://www.corrales-boyaca.gov.co/informacion_general.shtml> [citado 18 de Marzo del 2017]

3 IMPACTOS DE LA SISMICA EN LA CORDILLERA ORIENTAL

Al conocer las características principales de la cordillera, como ocurrió su levantamiento, formación y el tipo de material que la conforman se puede inferir que la sismica no es la mejor opción para esta, no es lo mismo hacer sismica en la cordillera Occidental que está conformada por material metamórfico o en la Central que es roca ígnea impermeable al realizarla en la cordillera Oriental porque a diferencia de las dos anteriores la Oriental está conformada por material sedimentario poco consolidado.

La cordillera Oriental es una cuenca sedimentaria que la mayoría de su terreno son manaderos de crudo por tal razón es una zona de mucho interés para las petroleras no solo del país sino también extranjeras. Al concesionar esta zona la someterán a sismica con explosivos en pendientes grandes lo cual afectaría gravemente los páramos, ríos, lagunas y demás nacedores de agua que hacen parte de la cordillera, hoy por hoy se encuentra concesionada más del 60% de la cordillera en la cual ya se ha realizado sismica con explosivos 2D y 3D afectado aún más la fragilidad de la cordillera. El piedemonte Llanero en la mayoría de su extensión es material de arrastre debido a que es sedimentario poco consolidado es terreno inestable, presenta estructuras como abanicos aluviales en la parte superior del piedemonte y en la dirección hacia el llano se formaron escarpes abruptos, todo esto muestra que las estructuras que conforman el piedemonte son frágiles y susceptibles a erosión, al realizar sismica con explosivos en esta zona lo único que ocasiona es que se generen cráteres en la llanura y se hundan las formaciones debido a que como se ha mencionado anteriormente esta zona es roca poco consolidada o sea es terreno frágil por naturaleza.

Para el IDEAM la zona en donde se encuentra el bloque Sugamuxi el cual tiene entre 2500 a 3000 metros de altura, la cual es muy frágil y cada vez presenta más problemas en cuanto a cambios climáticos en su mayoría incremento en cuanto a pluviosidades será una zona desértica para el 2100 y si se tiene en cuenta el desarrollo de actividades petroleras en la zona ese tiempo será mucho menor. No solo se encuentra adjudicado este bloque sino además adjudicaron bloques en paramos como Tota, Miraflores y Sumapaz.

3.1 IMPACTO EN HUMEDALES

En el municipio de Paz de Aripuro en Casanare, desde hace algunos años en los diversos medios de comunicación se habla de los impactos que tuvo la sismica en los humedales, se vio reflejado como la realización de esta práctica tuvo un efecto negativo sobre la flora y fauna de la zona. La detonación de explosivos cerca a los humedales, llega a crear fracturas en las capas que sirven de sello y mantienen a los humedales superficiales, facilitando la movilización de la fuente hídrica por estas fracturas a una posterior roca sello en el subsuelo. Entre los efectos negativos encontrados en los humedales esta su profundización, la disminución de su cauce y en algunos casos la perdida por filtración del cuerpo de agua.

Según los habitantes de la zona, no fue sino hasta la llegada de las petroleras, que se presentaron estos cambios en los cuerpos de agua, causando la muerte de más de 20.000 animales²⁴ de diversas especies como chigüiros, venados, zorros, peces, tortugas y reptiles, los cuales vivían o se refugiaban en los humedales protegiéndose del intenso calor. Para el año 2014 en temporada de verano el agua desapareció, convirtiéndose estas zonas en lugares áridos donde se hizo imposible la supervivencia de estas especies, el refugio que proporcionaba la flora de la zona no era suficiente para satisfacer sus necesidades que por naturaleza requieren mantenerse húmedos, llevándolos a una muerte que provocó la conmoción y alerta de las distintas autoridades ambientales.

Figura 3-1. Chigüiros en Humedales.



Figura 3-2. Disminución notable de humedales.



²⁴ Fuente: Semana [en línea]: < <http://www.semana.com/nacion/articulo/sequia-en-casanare-en-paz-de-ariporo/381885-3> > [18 de Marzo del 2017]

Figura 3-3. Muerte de animales por sequía de humedales.



Figura 3-4 Intervención de autoridades ambientales.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

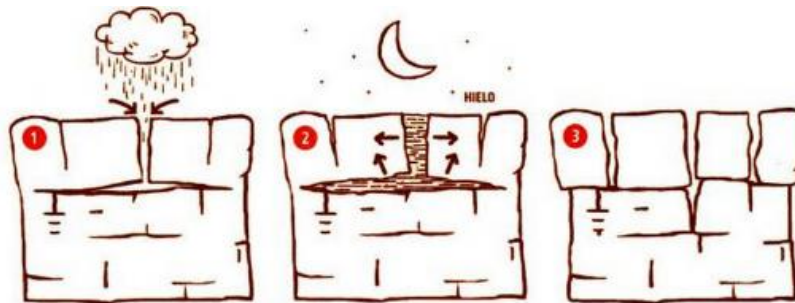
3.2 IMPACTO EN ALJIBES

Debido a los fenómenos de ladera que se presentan en la cordillera se genera un cambio de dirección de las aguas meteóricas, este tipo de aguas son las generadas por las precipitaciones²⁵ y se encuentran en el sub suelo son aguas poco profundas, estas aguas al transportarse por el sub suelo en muchas ocasiones llegan a zonas

²⁵ Fuente: Iridra [en línea]:< <http://www.iridra.eu/es/humedales-construidos/las-aplicaciones/aguas-meteoricas.html>> [consultado el 22 de Marzo del 2017]

de fallas o afloramientos de la capa superficial generando así el nacedero de un manantial lo cual es un fenómeno positivo para el mundo, pero al hacer sismica con explosivos en una zona como esta se pueden generar dos patrones, el primero debido a los explosivos utilizados en estas actividades se puede generar que esa falla que se encontraba inicialmente aumente su tamaño extendiéndose cada vez más a medida que pasa el tiempo llegando a tener longitudes de hasta 12 metros, el agua al penetrar las fracturas al caer la noche la temperatura de esta baja por tal razón el agua se expande de cierto modo lo que genera que la fractura de expanda aún más, en la Figura 3-5 se explica un poco mejor, esta expansión de la fractura es continua aproximadamente de 1cm por noche esto depende en gran medida del grado de consolidación del terreno y el nivel freático presente. Con el pasar del tiempo llega un momento en el cual estas fracturas se encuentran con fracturas de otros pozos y se interconectan entre si generando que el agua que venía inicialmente en dicha dirección cambie su curso creando así que la dirección inicial pierda el cauce de agua que traía y como consecuencia de esto se seca ese nacedero de agua. Este fenómeno es uno de los que más se presentan en el altiplano Cundiboyacence como consecuencia de la sismica, en la visita realizada los ciudadanos de la provincia Sugamuxi, principalmente en los municipios de Pesca, Iza y Firavitoba, se evidencia la desaparición de los aljibes que normalmente abundaban en la zona, siendo esta una población en su mayoría de campesinos los cuales basan su economía en la agricultura y la ganadería, muestran un gran inconformismo con la industria petrolera más explícitamente con la compañía Maurel & Prom, quienes después de realizar la exploración en 2012 no se hicieron responsable de estos hechos y como consecuencia no se recuperaron estas fuentes hídricas que son de vital importancia ya que servían como bebedero de los animales y para riego de cultivos. En contraparte, están los campesinos que les nacen nuevos aljibes debido a que el agua cambia su cauce original tomando una nueva dirección y aflora como lo haría naturalmente, en muchas ocasiones estos aljibes inundan las fincas creando graves consecuencias y muchas son nefastas.

Figura 3-5. Expansión del agua.



Fuente: CARCAVILLA, Luis. RUIZ, Rafael. RODRÍGUEZ, Esaú. Guía geológica del parque natural del Alto Tajo. Instituto Geológico y Minero de España, ed. 2011.

Figura 3-6 Aljibes secos.



Figura 3-7. Aljibes secos.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-8. Aljibes secos.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-9. Aljibes secos.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-10. Nacedero de Aljibe.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-11. Aljibe inundado.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

3.3 IMPACTOS SUELOS DE LADERA

Los impactos en laderas se generan debido a los mismos fenómenos vistos en los impactos de aljibes, se originan gracias a la migración del agua por medio de una fractura al interconectarse con la fractura de otro pozo y si el terreno tiene una pendiente de más de 15 grados lo que ocasiona es deslizamientos del terreno dando paso así a los derrumbes debido a que la zona es material no consolidado y la fragilidad de este aumenta si hay presencia de fracturas las cuales pueden originarse de forma natural o por la sísmica con explosivos, si dichas fracturas se han formado de manera natural la sísmica con explosivos ocasiona que estas aumenten cada vez mas de tamaño y debilitando más el terreno.

La provincia Sugamuxi en Boyacá presenta gran cantidad de impactos en cuanto a los suelos de las fincas, con la llegada en 2012 de actividades sísmicas liderada por la compañía petrolera Maurel & Prom se realizaron dichas prácticas en zonas geológicamente inestables, violando así la reglamentación existente que prohíbe el desarrollo de estas prácticas en pendientes de ladera superiores a los 45 grados. Como consecuencia los suelos de las fincas se erosionaron, deslizaron y cambiaron sus propiedades fisicoquímicas, generando daños en las infraestructuras cercanas, pérdidas de productividad del suelo, perdidas de cultivos entre otros. Convirtiendo así la zona en un riesgo para los habitantes los cuales tristemente observan como al pasar de los días el terreno se va deslizando alterando el paisaje y su tranquilidad.

Figura 3-12 Impacto Terreno Sugamuxi



Figura 3-13. Impactos en suelo de ladera.



Figura 3-14. Deterioro del suelo.



Figura 3-15. Cambio en las características.



Entre las zonas más afectadas se encuentran el bajo Simacota donde la mayoría de campesinos de la región se vieron afectados debido a las actividades de sísmica allí desarrolladas, uno de los casos más reales ocurrió el 9 de julio del 2016 en la finca La Primavera donde se realizó sísmica con explosivos hace 5 años atrás donde se instalaron 96 bombas y la finca tenía 180 hectáreas, después de la sísmica la finca perdió los nacimientos de agua que tenía y el total de la finca son derrumbes quedo con pérdida total del terreno, siendo esto un desastre causado gracias a la sísmica con explosivos.

Figura 3-16. Derrumbes finca la Primavera.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-17. Deslizamientos de tierra.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-18. Deslizamientos de tierra.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Otro de los casos más impactantes ocurrió el 8 de mayo del 2016 en el departamento del Casanare cuando quedó en riesgo de una posible avalancha debido al desprendimiento de un cerro que interrumpió el cauce del río Upia como consecuencia de la sismica desarrollada en la zona poniendo en riesgo la vida de muchas familias las cuales debieron evacuar sus viviendas.

Figura 3-19 Deslizamiento Casanare.



Fuente: Noticias Caracol [en línea]: <<http://noticias.caracoltv.com/colombia/inminente-riesgo-de-avalancha-en-casanare>> [citado el 21 de Marzo del 2017]

Figura 3-20. Riesgo avalancha.



Fuente: Llanera.Com [en línea]: < <https://llanera.com/unidad-nacional-de-riesgo-emite-recomendaciones-por-el-represamiento-del-rio-upia-/21711> > [citado el 22 de Marzo del 2017]

Otro caso importante ocurrió en el municipio de Cumaral en la vereda Chepero Alto donde la empresa SISMOPETROL desarrollo actividades de sísmica con explosivos en el bloque Llano 59 en búsqueda de petróleo lo cual ha traído problemas graves para los habitantes de la zona debido a la erosión que ha sufrido el terreno posterior a dichas actividades, para los habitantes de la zona la empresa se aprovechó del poco conocimiento que tenían ellos en cuanto a la sísmica para que les firmaran contratos en los cuales les daban autorización para hacer sísmica con explosivos en esta región. El 23 de diciembre del 2016 se presentaron los primeros derrumbes afectado más del 50% de las fincas de la zona, hubieron deslizamientos de tierra y perdida del recurso hídrico afectando así familias enteras.

Figura 3-21. Deslizamiento de tierra.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-22. Deslizamiento.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-23. Impactos sísmica.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-24. Derrumbes por la sísmica.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

En San Vicente de Chucuri sucedió algo similar a los casos anteriores, el proyecto en esta zona lo contrato ECOPETROL y lo ejecuto la COMPAÑIA GEOFISICA LATINOAMERICANA CGL SA la cual desarrollo actividades de sísmica con explosivos en la vereda El Tulcán sector de Llana Caliente dejando como resultado 487 hectáreas afectadas, 14 viviendas destruidas, 16 viviendas afectadas y 136 personas damnificadas debido a las inundaciones, derrumbes y grietas en el suelo

que se generaron por los explosivos empleados en busca de petróleo en dicha región.

Figura 3-25. Impactos vereda El Tulcán.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-26. Inundaciones.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-27. Grietas en el terreno.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

En el departamento del Meta se reportaron daños ocasionados por actividades de sísmica con explosivos desarrolladas en Acacias y en Villavicencio dejando consecuencias similares a los casos anteriormente reportados en otras zonas de la cordillera Oriental. En esta región las empresas que llevaron a cabo dichas actividades fueron GEEKO, TELLUS y GLOBAL. En las siguientes imágenes se puede evidenciar mejor los daños causados por dichas empresas en diferentes zonas del departamento.

Figura 3-28. Derrumbes Villavicencio.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-29. Deslizamiento de tierra.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-30. Deslizamientos.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-31. Deslizamientos.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-32. Daños en viviendas.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-3-33. Agrietamiento del suelo.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-34. Derrumbes.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

3.4 IMPACTOS EN ACUÍFEROS CONFINADOS

Los impactos ocasionados por la sísmica exploratoria en acuíferos confinados se deben a la detonación de altas cargas de explosivos en las proximidades de estos cuerpos de agua, el movimiento que generan las ondas sísmicas hace que se rompa el sello geológico natural que mantiene el agua atrapada a una presión determinada y por consiguiente se produzca un desplazamiento desde su posición de origen hacia superficie en un afloramiento o se filtre hasta una profundidad mayor.

En diversas partes del país se ha evidenciado el efecto de los impactos en acuíferos confinados produciendo inundaciones en las fincas y creación de lodazales, esto genera efectos negativos para sus propietarios y gran desperdicio de agua siendo este un recurso primordial para la vida. También se puede evidenciar algunos puntos de afloramiento de agua en los cuales se hizo una inapropiada restauración de este impacto, llenando las perforaciones con grava en un intento por disminuir el flujo hacia superficie.

Figura 3-35. Punto de Afloramiento de agua.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-36. Inundaciones en fincas.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-37. Restauración inapropiada con grava.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

3.5 IMPACTOS EN CASAS

Este es otro tipo de impacto que genera la sísmica con explosivos, los impactos en casas han perjudicado cientos de familias las cuales deben evacuar en muchos casos sus viviendas, debido al riesgo inminente que se presenta en las estructuras las cuales se comienzan agrietando en los pisos, paredes, techos y podrían terminar derrumbándose por completo la vivienda debido a las detonaciones que se realizan en búsqueda de petróleo.

Otras por el contrario permanecen en sus hogares arriesgando su vida a diario debido a que nadie les responde por los daños causados en sus viviendas y estas personas no tienen más recursos u opciones para evacuar y refugiarse en otro lugar. En la mayoría de los casos las empresas que realizan este tipo de actividad no responden por los daños causados ya sea en viviendas, vegetación, nacederos de agua entre otros con la excusa que dichos daños que se generaron no fueron por el desarrollo de la sísmica y como en la mayoría de casos los pobladores firman contratos en los cuales se les excluye a estas empresas de toda responsabilidad en cuanto a daños que se puedan generar con más razón salen bien librados de todo y los más perjudicados son los habitantes de las zonas en las cuales hay una gran probabilidad de encontrar petróleo. Las siguientes imágenes son muestra de esto.

El primer caso ocurrió en el municipio de Iza perteneciente al departamento de Boyacá, siendo este lugar de gran interés cultural para la Nación gracias a la protección del patrimonio arquitectónico que posee con 80 casas de adobe, se hace inexplicable la llegada de la exploración sísmica en las cercanías de esta invaluable

belleza histórica, en los testimonios recogidos por la investigación realizada y con ayuda del colectivo formado por los líderes ciudadanos de esta provincia, es posible evidenciar las consecuencias que trajo la llegada de la industria en diferentes edificaciones de la zona, gracias a los testimonios se conoció la negligencia de esta empresa al no tener en cuenta las restricciones existentes y establecidas por la ley, realizando de todas formas en cercanías y dentro del municipio dichas actividades, poniendo en riesgo el bienestar de los ciudadanos y generando así graves consecuencias en cuanto a la conservación del patrimonio histórico de la Nación. Algunos de los impactos más comunes dentro de la infraestructura del municipio son: grietas en paredes, pisos, techos y en algunos casos hasta la pérdida total de su vivienda.

Figura 3-38. Impactos en viviendas.



Figura 3-39. Pérdida total de viviendas.



Figura 3-40. Destrucción de viviendas.



Figura 3-41. Grietas en fachadas.



Figura 3-42. Grietas en techos.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-43. Hundimiento del piso.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-44. Grietas en paredes.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-45. Grietas en casa de adobe.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Figura 3-46. Grietas en pisos.



Fuente: Ing. VANEGAS, Oscar. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga.

Otro de los casos reportados ocurrió en el municipio de Cerinza el cual fue declarado monumento histórico de Colombia ya que cuenta con estructuras fabricadas en barro y adobe, en este hermoso municipio hicieron sismica con explosivos al siguiente día la mayoría de las estructuras habían sufrido agrietamiento en las paredes, techos y demás.

Uno de los casos más conocidos por Colombia ocurrió en el municipio de Sogamoso más específicamente en la provincia de Sugamuxi cuando los habitantes de esta región dieron a conocer a los medios de comunicación lo que había sucedido con sus terrenos después que la empresa CGL ingresara a la zona desarrollaran actividades de sismica con explosivos y acabaran con todo, más de 200 familias se vieron afectadas. Después de esto no solo sus casas se agrietaron en paredes, techos, pisos sino además se quedaron sin agua, en esta zona de Sogamoso sus suelos eran ricos en agua, pero después de la sismica esto cambio aljibes, manaderos de agua se secaron por las detonaciones realizadas en búsqueda de petróleo dejando, así como resultado que árboles, huertas y ganado se mueran por la falta de este recurso tan preciado. Afectaron viviendas, iglesias, parques, fincas enteras y aun a la fecha ninguna de las empresas encargadas a respondido por los danos causados. Muchas de los habitantes debieron evacuar sus viviendas debido al riesgo que sufrían al permanecer allí, los daños no solo ocurrieron en zona rural de Sogamoso también en zonas urbanas cerca de conjuntos residenciales donde se realizaron también detonaciones sufrieron los mismos impactos afectado así cientos de familias de esta región.

Figura 3-47. Grietas paredes.



Fuente: Noticias Uno (2015). [Sitio web]: <<http://noticiasunolaredindependiente.com/2015/11/16/secciones/que-tal-esto/casas-en-sogamoso-se-agrietan-y-la-tierra-se-seca-despues-de-exploracion-que-no-encontro-petroleo/>> [VIDEO]

Figura 3-48. Impactos en viviendas.



Fuente: Noticias Uno (2015). [Sitio web]: <<http://noticiasunolaredindependiente.com/2015/11/16/secciones/que-tal-esto/casas-en-sogamoso-se-agrietan-y-la-tierra-se-seca-despues-de-exploracion-que-no-encontro-petroleo/>> [VIDEO]

Figura 3-49. Abandono de viviendas.



Fuente: Noticias Uno (2015). [Sitio web]: <<http://noticiasunolaredindependiente.com/2015/11/16/secciones/que-tal-esto/casas-en-sogamoso-se-agrietan-y-la-tierra-se-seca-despues-de-exploracion-que-no-encontro-petroleo/>> [VIDEO]

Figura 3-50. Aljibes secos.



Fuente: Noticias Uno (2015). [Sitio web]: <<http://noticiasunolaredindependiente.com/2015/11/16/secciones/que-tal-esto/casas-en-sogamoso-se-agrietan-y-la-tierra-se-seca-despues-de-exploracion-que-no-encontro-petroleo/>> [VIDEO]

Figura 3-51. Grietas en viviendas urbanas.



Fuente: Noticias Uno (2015). [Sitio web]: <<http://noticiasunolaredindependiente.com/2015/11/16/secciones/que-tal-esto/casas-en-sogamoso-se-agrietan-y-la-tierra-se-seca-despues-de-exploracion-que-no-encontro-petroleo/>> [VIDEO]

Figura 3-52. Daño en casas.



Fuente: Noticias Uno (2015). [Sitio web]: <<http://noticiasunolaredindependiente.com/2015/11/16/secciones/que-tal-esto/casas-en-sogamoso-se-agrietan-y-la-tierra-se-seca-despues-de-exploracion-que-no-encontro-petroleo/>> [VIDEO]

4 EVIDENCIAS DE IMPACTOS NEGATIVOS ASOCIADOS A LOS PROYECTOS DE EXPLORACION SISMICA EN LA PROVINCIA SUGAMUXI

Para la recolección de estas evidencias se realizó una visita en algunos de los municipios más afectados por la exploración sísmica de la provincia Sugamuxi, entre los cuales se encuentran los municipios de Iza, Cuitiva, Pesca y Firavitoba, con la ayuda de algunos líderes del colectivo de ciudadanos fue posible llegar hasta los lugares donde se evidenciaban diversos impactos negativos asociados a las actividades exploratorias allí desarrolladas y donde fue posible entrevistar a los habitantes más afectados.

La ayuda de los líderes del colectivo de ciudadanos fue de vital importancia para la investigación, proporcionando gran cantidad de material que se venía recolectando desde el año 2012, año en el cual se inició la resistencia a la exploración petrolera en sus municipios. Dentro de los documentos proporcionados se encuentran fotografías de lugares donde se presentaron los impactos generados, videos en los cuales los habitantes afectados presentan sus quejas e inconformidad con lo sucedido debido al desarrollo de sísmica con explosivos en la región y algunos documentos de los diversos procesos legales y ambientales que debieron afrontar en su derecho de proteger su patrimonio en cuanto a viviendas y fincas, los patrimonios culturales nacionales y las fuentes hídricas de la región afectadas.

Se recolecto esta información gracias a que la mayoría de los habitantes forman parte de las organizaciones base establecidas por ley para las entidades territoriales menores teniendo un mayor conocimiento territorial y de la problemática generada en el transcurso de estos años, cabe resaltar que el tiempo de residencia dentro de la zona fue clave para que la información subministrada tenga una mayor validez.

Tabla 5. Lista de personas entrevistadas.

Municipio	Vereda	Nombre	Tiempo de residencia (Años)
Firavitoba	Alcaparral	Gabriela Barrera	40
Firavitoba	Alcaparral	Juan Pablo Zipa	43
Firavitoba	Alcaparral	Abraham Zipa Cadena	62
Firavitoba	Bosque Bajo	Mercedes Sanabria	40
Firavitoba	Tintal Sector la Esperanza	Gloria Cecilia Ayala G.	30
Firavitoba	Bosque	Antonio Granados	58
Pesca	Puerta Chiquita	Luis Daza	6
Pesca	Chaguatá	Luis Enrique Daza Rico	30
Pesca	Casco Urbano	Leidy Camero Diaz	5
Pesca	Chincua	Jhon Arley Moreno Tibocho	16

Tabla 6. Lista de personas entrevistadas.(cont.)

Iza	Casco Urbano	Maria Ligia Ballesteros Barreto	31
Iza	Casco Urbano	Victor Alfonso Hernandez toca	31

Se realiza la entrevista con la plena identificación de los impactos presentes en la propiedad, evidencias fotográficas y la realización de una encuesta que consta de 10 preguntas al propietario o jefe de comunidad, con las cuales se desea obtener más información acerca de los acontecimientos.

- **Preguntas abiertas:**

Se realizaron con el fin de conocer información específica de los habitantes, sus opiniones, quejas e inconformidades presentes, entre ellas está el tiempo de residencia en la zona afectada, lugares de afectación en sus propiedades debido a la exploración sísmica y acciones realizadas frente a la problemática generada.

- **Influencia Positiva:**

Beneficios obtenidos con el programa de exploración sísmica.

- **Influencia Negativa:**

Tabla 7. Rango de impactos generados.

Rango	Definición
Alto	Cuando las consecuencias del impacto generan un deterioro importante al medio ambiente, al medio social o interviene en sus procesos fundamentales de desarrollo
Medio	Cuando las consecuencias del impacto generan una alteración moderada del medio ambiente, el medio social o alguno de sus componentes
Bajo	Cuando las consecuencias del impacto generan una modificación mínima sobre el medio ambiente o el medio social
Nulo	Cuando las consecuencias del impacto no generan ningún tipo de modificación sobre el medio ambiente o el medio social

Fuente: Evaluación ambiental MMA para el programa sísmico campo Rico 3D 2013

- **Tiempo-Desarrollo**

Hace referencia al tiempo que tardó en hacerse visible el impacto sobre el medio generado

Tabla 8. Periodo de generacion de impactos.

RANGO	DEFINICIÓN
Inmediato	Durante el desarrollo de la exploración sísmica
A corto plazo	Poco tiempo después de realizada la exploración sísmica
A largo plazo	Después de realizada la exploración

- **Magnitud**

Define si los cambios generados en el medio pueden ser asimilados por el mismo, en un periodo de tiempo corto o largo y si es necesario alguna intervención para su recuperación.

Tabla 9. Magnitud del impacto generado.

RANGO	DEFINICIÓN
Irreversible e irrecuperable	Imposibilidad extrema de retornar las condiciones iniciales ya sea por intervención natural o humana
Irreversible pero recuperable	Imposibilidad de retornar las condiciones iniciales por medios naturales, aunque si es posible mediante intervención humana.
Reversible y recuperable a largo plazo	Posibilidad de retornar las condiciones iniciales por medios naturales en más de un año
Reversible y recuperable a corto plazo	Posibilidad de retornar las condiciones iniciales por medios naturales en menos de un año

Fuente: Evaluación ambiental MMA para el programa sísmico campo Rico 3D 2013

4.1 RESULTADOS DE LAS ENTREVISTAS

Gracias a la información recolectada en las entrevistas realizadas en la provincia Sugamuxi, en los municipios de Pesca, Iza y Firavitoba, siendo estas zonas las más afectadas debido al desarrollo de exploración sísmica con explosivos según los datos encontrados. Fue de gran ayuda por parte del colectivo organizado por la comunidad de dicha provincia, quienes con gran interés por su región hicieron una enorme labor, presentando argumentos legales, ambientales y ciudadanos para proteger su comunidad de un impacto mucho más grande, se realizó esta matriz que reúne los resultados obtenidos. **Anexo k.**

4.1.1 Analisis de los resultados de las encuestas

De acuerdo a la visita realizada y el estudio hecho según los testimonios recibidos, en el departamento de Boyacá más explícitamente en los municipios de Pesca, Iza y Firavitoba además de la Provincia Sugamuxi se pudieron realizar los análisis siguientes de acuerdo a los impactos generados por la llegada de la industria petrolera en esta región. Se realizaron las encuestas del anexo B a los habitantes de dichas zonas afectadas por actividades sísmicas realizadas en el año 2012 y estas fueron sus respuestas.

En las encuestas realizadas se preguntaba si antes de iniciar las actividades exploratorias en la zona la empresa a cargo realizo algun tipo de reunion para informar a los habitantes de la region las actividades que se pensaban realizar y asi conocer su opinion acerca de esto y como se puede ver en la Figura 4-1 la mayoría fue si, lo cual demostro que si se realizaron reuniones antes de iniciar dichas actividades.

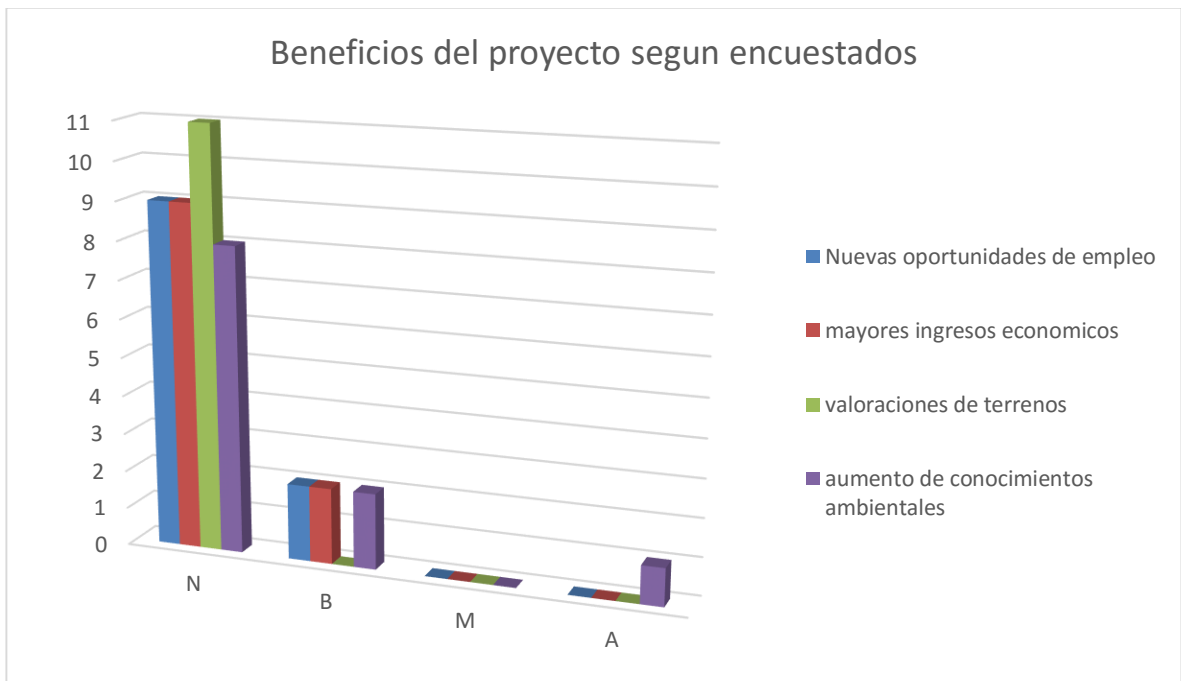
Figura 4-1. Realizacion de reuniones.



En cuanto a los beneficios generados por el desarrollo de las actividades exploratorias por medio de la sismica en la zona, el resultado que se encontro según sus testimonios fue que el mayor beneficio que les ofrecia la empresa petrolera fue la valorizacion de sus terrenos debido a la presencia de crudo en dicha zona, entre otros de los beneficios que les prometieron fue generar mas oportunidades de

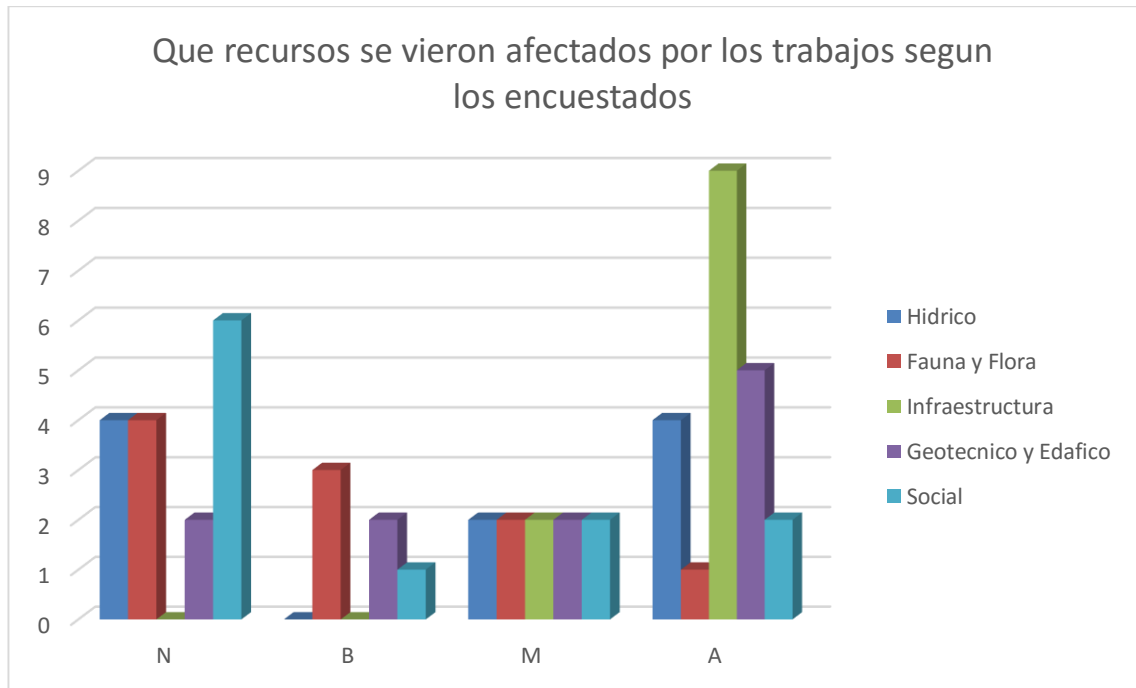
empleo para los campesinos de la zona y mayor ingreso economico de los cuales el cumplimiento de dicho beneficios según la Figura 4-2 fue nulo o sea que no se cumplieron ninguno de estos.

Figura 4-2. Beneficios.



Una de las preguntas mas importantes fue conocer cuales de los recursos presentes en la zona fue el que mas se vio afectado debido a la sismica con explosivos realizada allí. Como se puede ver en la grafica uno de los factores que mas sufrio afectaciones fue la infraestructura de la region aquí entran todos los impactos generados en viviendas, parques, calles entre otros. Recursos como el hidrico, la funa y la flora sufrieron cierta afectacion pero en un grado menor.

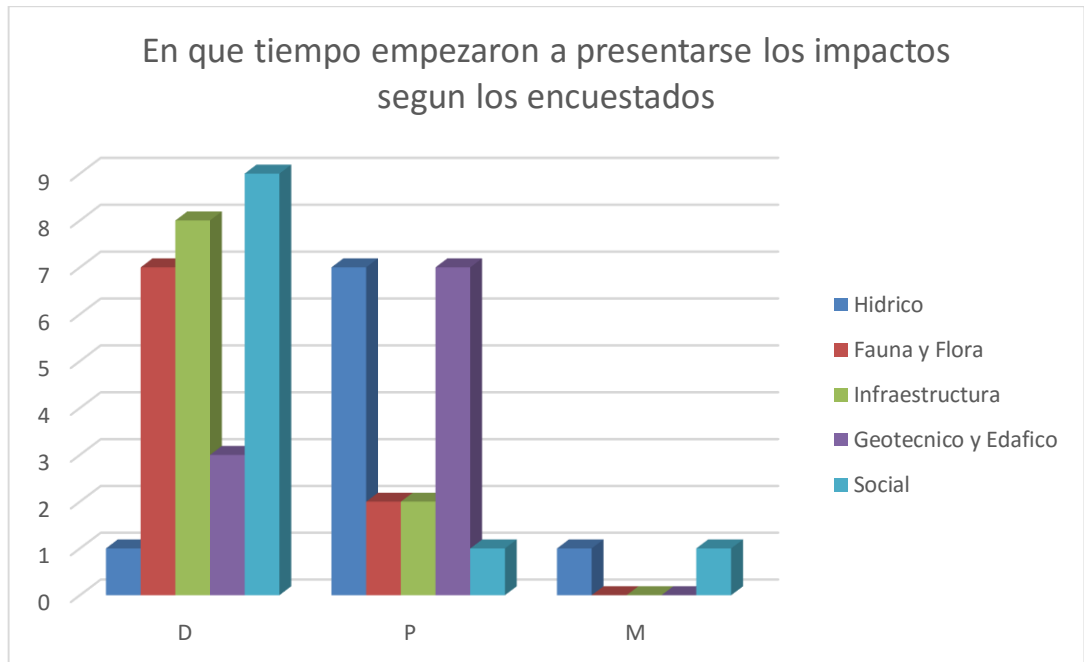
Figura 4-3. Afectacion de recursos.



Para conocer el tiempo en el cual se comenzaron a presentar dichos impactos en la zona, se realizo dicha pregunta a lo habitantes afectados evaluando la presencia de estos impactos en el periodo que se realizo el desarrollo de dichas actividades, en un periodo poco despues de dichas actividades o en un periodo muy lejano al desarrollo de dichas actividades. En la Figura 4-4 se puede ver lo que el mayor impacto generado para los habitantes ocurrio en el periodo durante el desarrollo de las actividades exploratorias y la mayor afectacion para ellos durante este periodo fue en la sector social y en la infraestructura de sus viviendas y zonas sociales.

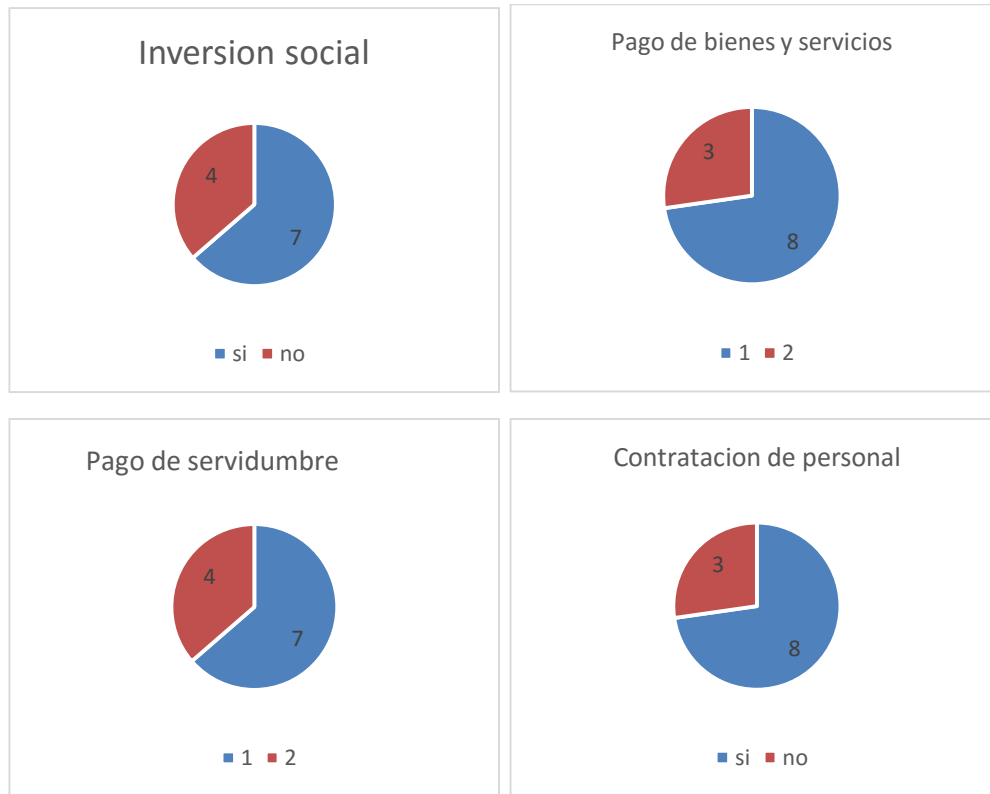
En un periodo de tiempo poco despues de realizadas estas actividades uno de los recursos mas afectados fue el hidrico generando asi gran perdida de este recurso en esta zona.

Figura 4-4. Generacion de impactos.



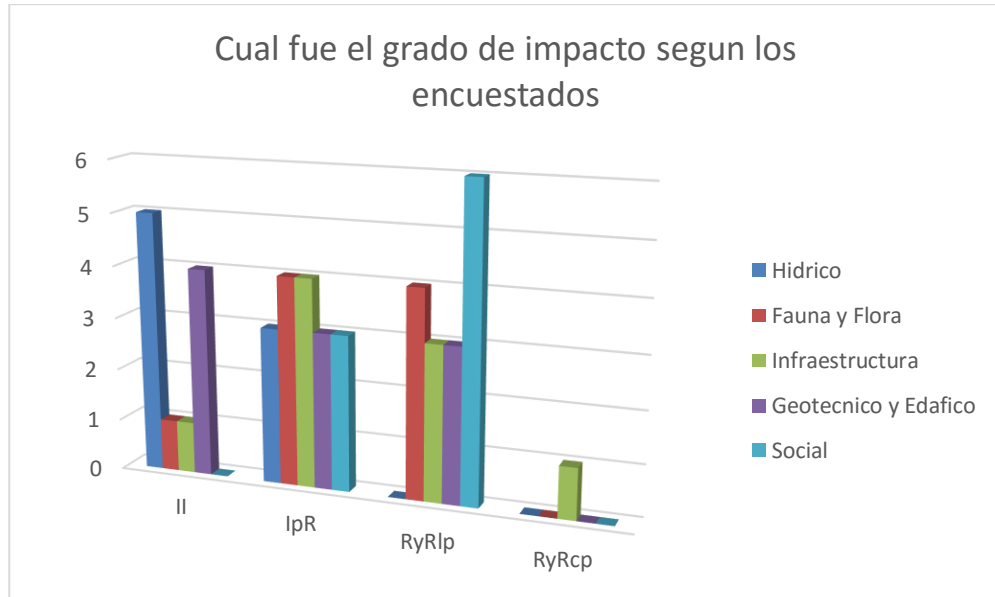
Antes de iniciar la exploracion sismica con explosivos en las zonas anteriormente nombradas la empresa llego a una serie de acuerdos con los habitantes de dicha region, algunos de estos acuerdos fueron: mayor inversion social en la zona, pago de bienes y servicios, pago de servidumbre y contratacion de personal de la zona, ante esto las respuestas fueron las siguientes. Como se ve en la grafica, la mayoría de los acuerdos se cumpliero pero no en la medida acordada, según los habitantes afectados la empresa cumpliero con los acuerdos pactados pero no con las sumas de dinero acordadas y tampoco con el tiempo de duracion de dichas actividades en la region.

Figura 4-5. Acuerdos.



Segun el grado de los impactos generados en las zonas afectadas se les pregunto a los habitantes cual era para ellos los recursos mas afectados segun cuatro grados cualificables los cuales son: irreversible e irrecuperable, irreversible pero recuperable, reversible y recuperable a largo plazo, reversible y recuperable a corto plazo. Segun la Figura 4-6 el recurso hidrico fue el mas afectado en un grado irreversible e irrecuperable, la fauna y la flora al igual que la infraestructura fue lo mas afectado en un grado irreversible pero recuperable, el sector social fue el mas afectado para lo habitantes en un grado reversible y recuperable a largo plazo y por ultimo la infraestructura de sus viviendas fue lo mas impactado en un grado reversible y recuperable a corto plazo.

Figura 4-6. Grado de impactos.



Los habitantes cuando se vieron afectados por el desarrollo de dichas actividades presentaron una seria de quejas o inconformidades ante ciertas entidades encargadas y esto fue lo que recibieron. En la Figura 4-7 se puede ver que la mayoría de los habitantes afectados presentaron quejas debido a los impactos generados. Por otro lado en la Figura 4-8 se puede evidenciar que la mayoría de las quejas se presentaron ante la personeria municipal y como entidad secundaria fue la acaldia, ante las quejas impuestas la respuesta de los diferentes entes encargados fue nula como se puede ver en la Figura 4-9.

Figura 4-7. Queja.

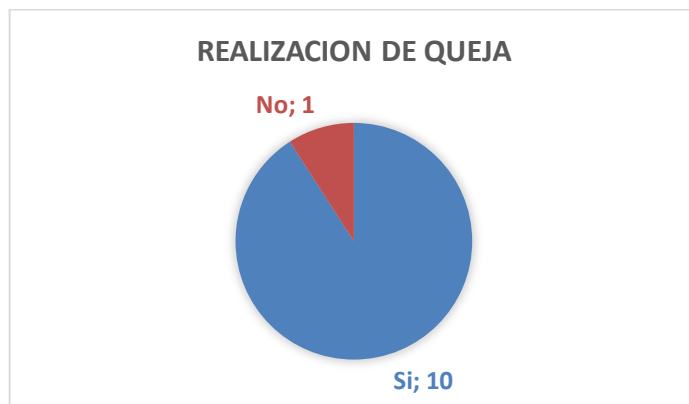


Figura 4-8. Entidades.

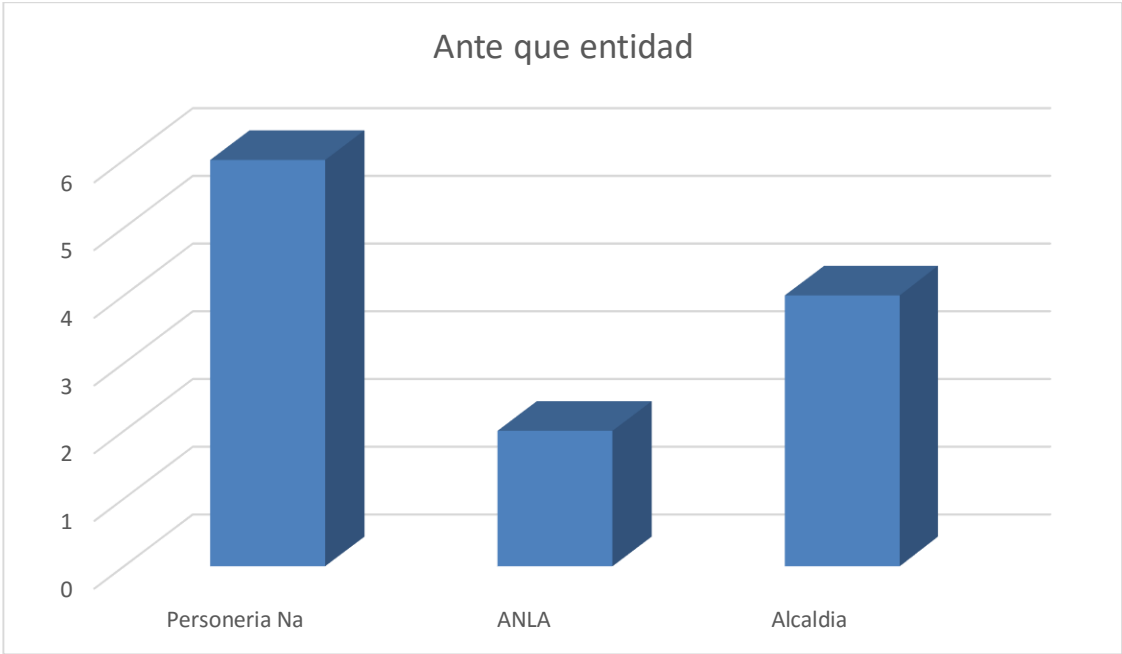


Figura 4-9. Respuesta.



5 ALTERNATIVAS A LA SISIMICA CON EXPLOSIVOS

Como se pudo demostrar según los testimonios de las habitantes de la provincia Sugamuxi y las evidencias presentadas anteriormente, la sísmica con explosivos es una actividad nociva tanto para el medio ambiente como para las personas, estas actividades han dejado un número inmenso de animales muertos, afectaciones irreparables en el medio ambiente, en fauna y flora de todo el país, además cientos de familias sin hogar, sin finca y sin agua. Por tal razón es necesario pensar en alternativas viables con las cuales se puedan beneficiar primeramente el medio ambiente y las personas y después las petroleras con su sed por encontrar el tan “preciado” crudo al precio que sea necesario.

5.1 EXPLORACION Y PROSPECCION SATELITAL

Esta tecnología rusa es una de las mejores alternativas en cuanto a búsqueda y prospección de hidrocarburos. Esta tecnología fue creada en el año 1998²⁶ pero hace pocos años llegó a América Latina. Es una técnica relativamente nueva, sus primeras aplicaciones fueron en temas económicos para actividades militares sus principales aplicaciones son determinar las reservas de petróleo, gas y algunas clases de minerales, además de contar con un alto rango de precisión en cuanto a sus resultados en promedio es de un 80%²⁷ de asertividad es una técnica mucho más rápida que las demás y permite tener información más clara en cuanto a la identificación y evaluación de los yacimientos de interés. Al realizar las mediciones de los datos de interés se pueden hacer directamente en el lugar de interés de forma estática o desde un vehículo, este tipo de mediciones se pueden hacer tanto para yacimientos convencionales como para no convencionales y los yacimientos Off- Shore.

En cuanto al desarrollo de esta tecnología se divide en 3 etapas en las cuales se busca acoplar los datos encontrados gracias a la interpretación de imágenes satelitales, a la definición de campos electromagnéticos de corto impulso (ECECI) y del sondeo vertical de electro resonancia (SVER)²⁸, estos tres pasos son más la instrumentación a utilizar, el software que se emplea para realizar las mediciones y por último la interpretación de esos datos recopilados para encontrar el mejor método para hacer las mediciones necesarias en el campo o zona de interés.

²⁶ Fuente: ENCO Petroleum Ltd. [en línea]: <<http://www.encopetrol.com/es/oil-finder-technology>> [citado el 25 de Marzo del 2017]

²⁷ Fuente: ENCO Petroleum Ltd. [en línea]: <<http://www.encopetrol.com/es/oil-finder-technology>> [citado el 25 de Marzo del 2017]

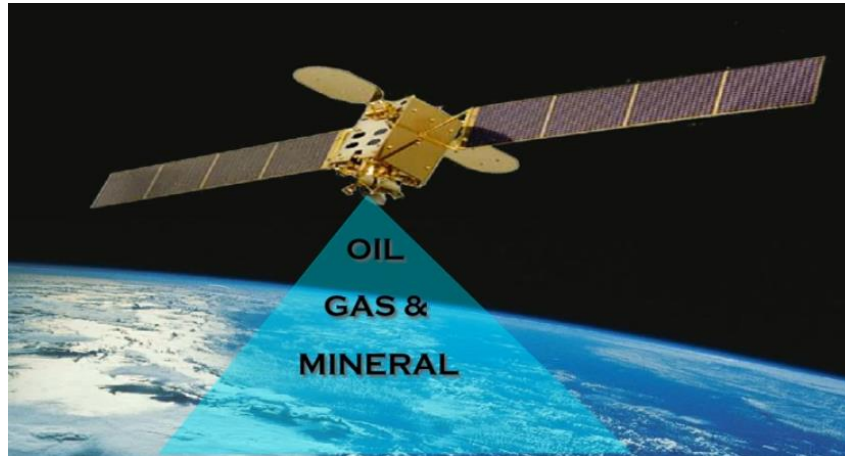
²⁸ Fuente: ENCO Petroleum Ltd. [en línea]: <<http://www.encopetrol.com/es/oil-finder-technology>> [citado el 25 de Marzo del 2017]

5.1.1 Etapas operacionales

5.1.1.1 Etapa 1 Espectrografía Satelital

Esta etapa consiste principalmente en la toma de imágenes por medio de un satélite de alta resolución tomada en la zona de interés, posteriormente se realiza el análisis e interpretación espectro gráfico de dicha imagen midiendo la frecuencia²⁹ de los rayos generados y absorbidos por la unidad de interés de acuerdo a la frecuencia generada se puede determinar el tipo de fluido presente ya sea gas, crudo o algún tipo de mineral debido a que cada uno de estos tienen una frecuencia correspondiente a la onda emitida como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** los tipos de espectros electromagnéticos de acuerdo a la frecuencia y longitud de onda respectiva.

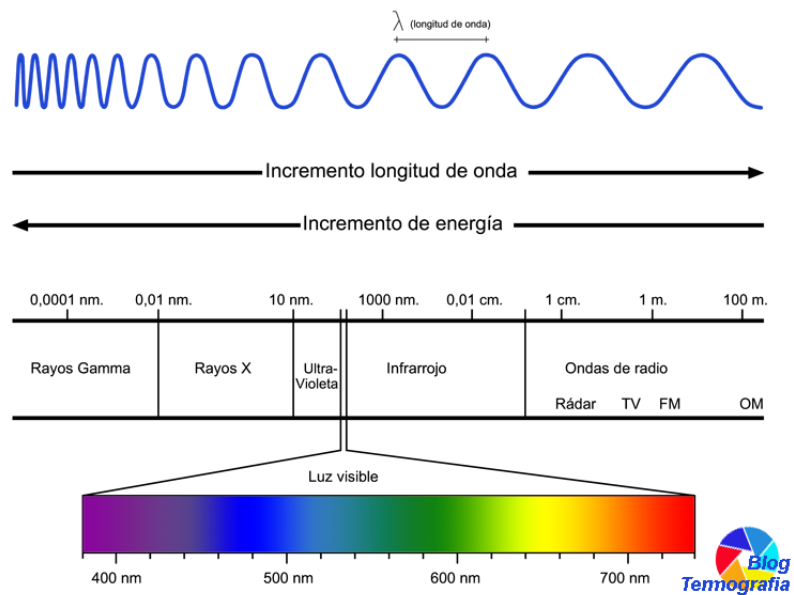
Figura 5-1. Imagen satelital.



Fuente : YOUTUBE, SIGMA ENERGY [en línea]: < <https://www.youtube.com/watch?v=0Cdx0PtLfZw> > [VIDEO citado el 26 de Marzo del 2017]

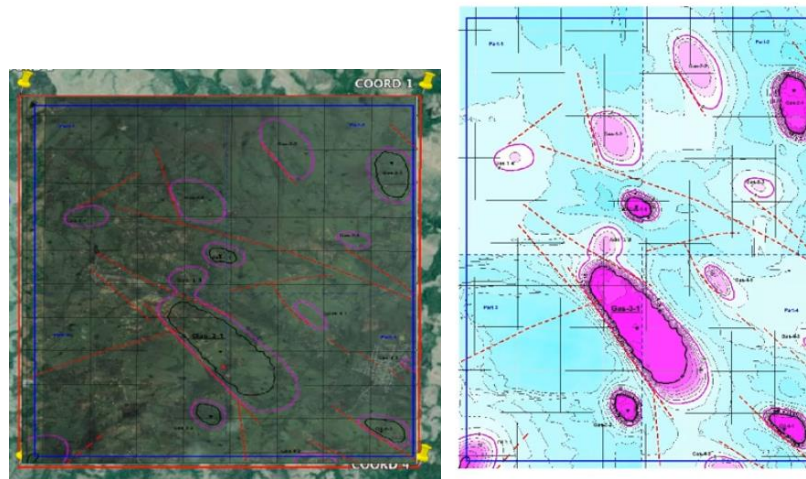
²⁹ BARRERA, Juan Sebastián. JAIMES, Ramiro. Reinterpretación Geología utilizando la tecnología de búsqueda de petróleo y gas (OFT). Bogotá 2016. Trabajo de grado (Ingeniero de Petróleos). Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías

Figura 5-2. Espectro de luz visible.



Fuente: Blog Meteoclim [en línea]: < <http://blog.meteoclim.com/fenomenos-opticos-atmosfericos> > [citado el 26 de Marzo del 2017]

Figura 5-3. Espectrografía Satelital.

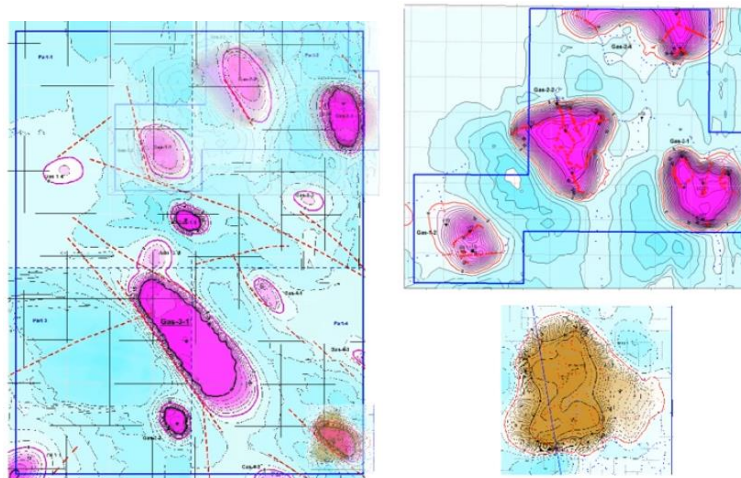


Fuente: YOUTUBE, SIGMA ENERGY [en línea]: < <https://www.youtube.com/watch?v=0Cdx0PtLfZw> > [VIDEO citado el 26 de Marzo del 2017]

5.1.1.2 Etapa 2 Establecimiento de campos electromagnéticos de corto impulso (ECECI)

Esta etapa depende en gran medida de los datos obtenidos en la fase 1 puesto que después de analizar los datos satelitales obtenidos se determinan los puntos que tengan una mayor intensidad electromagnética de corto impulso por medio de un generador de frecuencias específicas, posteriormente se determinan los límites del yacimiento a evaluar y la respuesta de los fluidos presentes en este, además se desarrollan las líneas generales de las trampas estructurales existentes permitiendo así conocer con mayor precisión la zona de interés. La recopilación de dicha información se hace por medio de antenas receptoras o antenas de Ferrita³⁰ de acuerdo a la onda emitida estas antenas generan la información necesaria que posteriormente será interpretada y analizada.

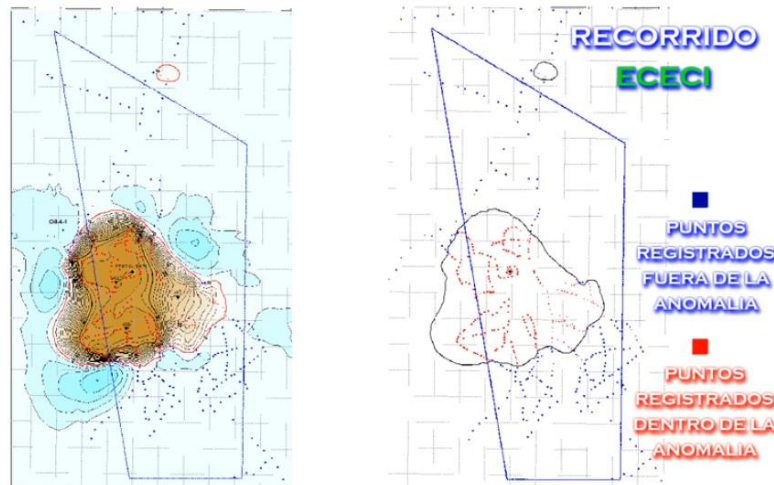
Figura 5-4. Establecimiento de campos electromagnéticos de corto impulso.



Fuente: YOUTUBE, SIGMA ENERGY [en línea]: < <https://www.youtube.com/watch?v=0Cdx0PtLfZw> > [VIDEO citado el 26 de Marzo del 2017]

³⁰ GONZALES, RICARDO.ESP ENERGY GROUP: Tecnología para la Exploracion y Prospeccion directa de reservas de Gas, Petroleo y Minerales "OIL & GAS FINDER TECHNOLOGY: OFT".2012. Pag 9.

Figura 5-5. Superposición de anomalías encontradas en la zona de estudio.



Fuente modificado de: YOUTUBE, SIGMA ENERGY [en línea]: <
<https://www.youtube.com/watch?v=0Cdx0PtLzW> > [VIDEO citado el 26 de Marzo del 2017]

5.1.1.3 Etapa 3 Sondeo vertical por Electro-resonancia (SVER).

En esta última etapa se logra acoplar la información recolectada y analizada en las dos etapas anteriores y así poder conocer más información de la zona de interés lo cual proporcionara una mayor certeza de los fluidos presentes y sus características más importantes, en esta fase el sondeo vertical que se realiza permite conocer el perfil geológico de la zona estudiada lo cual proporciona la columna de fluidos presentes bien sea crudo, gas o minerales y con esto poder determinar la profundidad a la que se encuentra cada capa y conocer así los espesores correspondientes debido a que cada fluido tiene un voltaje respectivo diferente lo que permite conocer el tipo de fluido presente. De esta forma se completa la estimación en cuanto a los fluidos depositados en la zona de interés su profundidad y los estratos respectivamente de estos.³¹

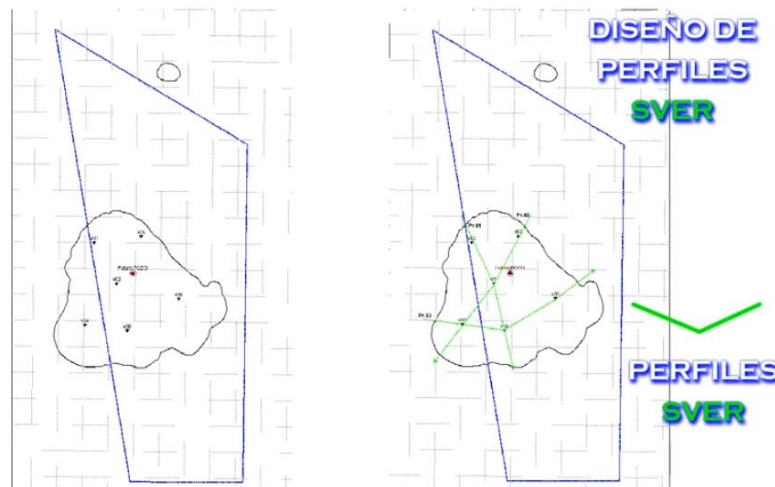
³¹ GONZALES, RICARDO.ESP ENERGY GROUP: Tecnología para la Exploracion y Prospeccion directa de reservas de Gas, Petroleo y Minerales "OIL & GAS FINDER TECHNOLOGY: OFT".2012. Pag 13.

Figura 5-6. Sondeo vertical por electroresonancia.



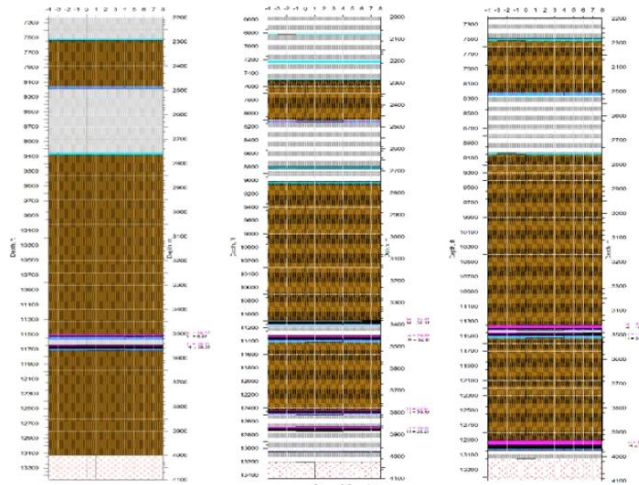
Fuente: YOUTUBE, SIGMA ENERGY [en línea]: < <https://www.youtube.com/watch?v=0Cdx0PtLfZw> > [VIDEO citado el 26 de Marzo del 2017]

Figura 5-7. Perfiles SVER.



Fuente: YOUTUBE, SIGMA ENERGY [en línea]: < <https://www.youtube.com/watch?v=0Cdx0PtLfZw> > [VIDEO]

Figura 5-8. Secciones verticales en puntos SVER.



Fuente: YOUTUBE, SIGMA ENERGY [en línea]: < <https://www.youtube.com/watch?v=0Cdx0PtLfZw> > [VIDEO]

Con esta nueva tecnología se puede obtener las prospecciones completas de las anomalías electromagnéticas que se presentan en la zona de interés conociendo así los límites de contactos ya sea aceite-agua o gas-aceite, las coordenadas en el fondo, estimación de la presión, el tipo de fluido presente, su ubicación y sus espesores, para luego poder realizar los análisis correspondientes y poder realizar los perfiles de los puntos de mayor interés y así tener una mayor certeza de lo que se encontrara en ese yacimiento.

5.1.2 Beneficios de la exploración y prospección satelital.

Además de ser una tecnología nueva y mucho más económica en comparación a actividades similares tiene gran cantidad de beneficios tanto para el medio ambiente como para la obtención de resultados de zonas con un alto potencial de hidrocarburos debido a que su precisión es bastante grande. Uno de los beneficios más notables con esta tecnología es que no generan ningún tipo de impacto en el medio ambiente debido a que no se requiere hacer ningún tipo de perforación ni requiere el uso de explosivos para conocer el tipo de fluido presente lo cual hace que esta nueva técnica sea mucho más interesante en comparación con la sísmica 2D y 3D. El tiempo de estudio en la zona y la generación de los resultados es corto aproximadamente en 60 días³² se pueden obtener esta información reduciendo así costos, comparados nuevamente con la sísmica los costos se reducen en aproximadamente el 40%³³ entregando así información confiable y con un alto grado de certeza. Por medio de la sísmica con explosivos se puede determinar el tipo de

³² Fuente: Revista Negocios y Petróleo [en línea]: <<http://negociosypetroleo.com/es/2015/07/08/nuevas-tecnologias-para-la-exploracion-de-hidrocarburos-tecnologia-oft/>> [citado el 27 de Marzo del 2017].

³³ Fuente: Revista Negocios y Petróleo [en línea]: <<http://negociosypetroleo.com/es/2015/07/08/nuevas-tecnologias-para-la-exploracion-de-hidrocarburos-tecnologia-oft/>> [citado el 27 de Marzo del 2017].

estructuras presentes en la zona de interés mientras que esta nueva tecnología permite conocer el tipo de fluido presente.

Por estas razones la exploración satelital es una de las mejores alternativas en cuanto a exploración y prospección de hidrocarburos permitiendo así conocer las reservas de fluidos como crudo, gas o minerales y tener así una mayor seguridad y certeza al momento de explotar dicha zona de interés.

En la siguiente tabla se presenta una comparación más detallada de las dos técnicas evaluada en los aspectos más relevantes.

Tabla 10. Ventajas comparativas.

ASPECTO	EXPLORACION SATELITAL	SISMICA CON EXPLOSIVOS 2D-3D
Ambientales	Sin impactos ambientales	Con impactos debido a: Explosivos. Perforaciones. Construcción de vías. Licencias ambientales.
Tecnológico	Base científica Geolétrica Precisión de < 1 m Perfiles precisos Tecnología orientada a los HC o minerales	Base sísmica de reflexión Precisión de < 30m Tecnología orientada a la geología
Económicos	Bajos costos de exploración Menores riesgos	Mayor costo de trabajos, ingenieros y geólogos. Mayores riesgos
Logísticos	Disminución de tiempo Cubre un mayor territorio	Mayor tiempo. Mayor despliegue logístico, campamentos y equipos.
Resultados finales	Certeza de halla HC desde la 1ra etapa.	Inciertos, deben ser corroborados, alto % de error.

Fuente: ESP ENERGY GROUP: Tecnología para la exploración y prospección directa de reservas de gas, petróleo y minerales "OIL & GAS FINDERTECHNOLOGY: OFT" [en línea]: disponible en: <<https://es.slideshare.net/ricardoego/tecnologia-oft-esp-energy-group-mineria>> [citado del 26 de Marzo del 2017]

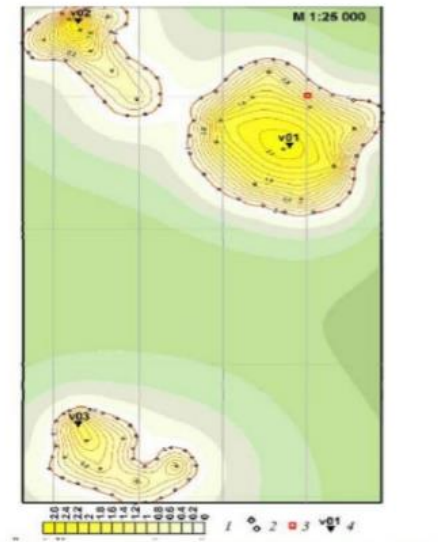
5.1.3 Estudios exitosos

Debido a que esta tecnología es relativamente para Colombia son pocos los datos de estudios que se han realizado, para el 2014 la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH)³⁴ reconoció esta nueva técnica como una herramienta útil para

³⁴ Fuente: Portafolio [en línea] :< <http://www.portafolio.co/negocios/empresas/crece-negocio-exploracion-sismica-44824>> [citado el 27 de Marzo del 2017].

la búsqueda y prospección de hidrocarburos a partir de ese año se han realizado planes de implementación en los diferentes proyectos del país, algunas empresas como Hocol, Pacific Rubiales y Ecopetrol la han utilizado. Esta nueva técnica ha sido desarrollada en Colombia para la búsqueda de oro, plata y carbón teniendo en todos estos un alto éxito. A continuación, se muestran algunos de estos estudios realizados por la firma ESP Energy Group.

Figura 5-9. Depósito de oro en Colombia.



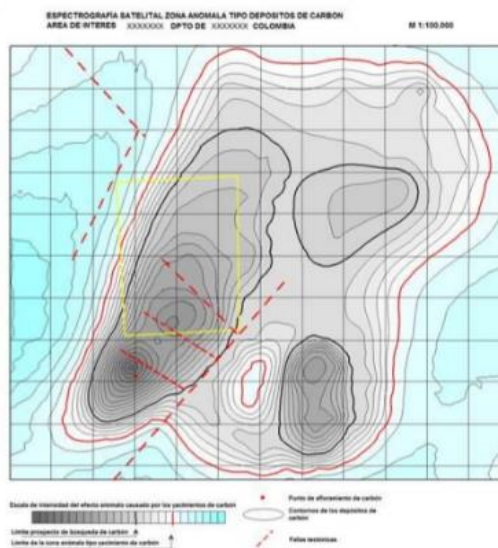
Fuente: ESP ENERGY GROUP: Tecnología para la exploración y prospección directa de reservas de gas, petróleo y minerales "OIL & GAS FINDERTECHNOLOGY: OFT" [en línea]: Disponible en: <<https://es.slideshare.net/ricardoego/tecnologia-oft-esp-energy-group-mineria>> [citado del 26 de Marzo del 2017]

Figura 5-10. Depósito de plata en Colombia.



Fuente: ESP ENERGY GROUP: Tecnología para la exploración y prospección directa de reservas de gas, petróleo y minerales “OIL & GAS FINDERTECHNOLOGY: OFT” [en línea]: Disponible en: <<https://es.slideshare.net/ricardoego/tecnologia-oft-esp-energy-group-mineria>> [citado del 26 de Marzo del 2017]

Figura 5-11. Depósito de carbón en Colombia.



Fuente: ESP ENERGY GROUP: Tecnología para la exploración y prospección directa de reservas de gas, petróleo y minerales “OIL & GAS FINDERTECHNOLOGY: OFT” [en línea]: disponible en: <<https://es.slideshare.net/ricardoego/tecnologia-oft-esp-energy-group-mineria>> [citado del 26 de Marzo del 2017]

5.2 RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR RMN

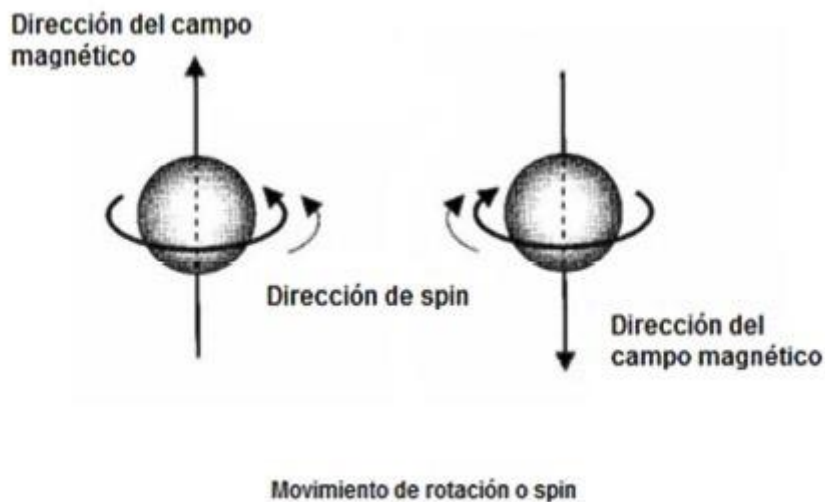
La RMN es una herramienta empleada en varios aspectos en cuanto a la exploración, producción y completamiento de los pozos de interés. Dentro de las primeras aplicaciones que tuvo se encuentran el determinar parámetros petrofísicos del yacimiento conociendo así la capacidad de producción de este por medio de propiedades como la porosidad, permeabilidad y tipos de fluidos móviles, hoy en día gracias al continuo avance de esta técnica por medio de la interpretación de los registros RMN se puede conocer el tipo de fluido presente en la zona de interés teniendo así una mayor información de dicha zona y mayor certeza, esta identificación del tipo de fluido presente se puede lograr debido a que se integran los datos obtenidos en registros convencionales con los datos que se obtienen por medio de la resonancia magnética nuclear, además que proporciona información valiosa que permite desarrollar el mejor diseño para el completamiento del pozo y la mejor opción para el desarrollo del yacimiento en un futuro.³⁵

El principio teórico de los registros RMN está basado en la respuesta generada al movimiento de núcleos atómicos dichos movimientos se les conocen como spin los cuales se generan alrededor del eje de un campo magnético, donde la RMN medirá la respuesta a la excitación magnética que tengan esos átomos al campo aplicado, generalmente se mide la respuesta de los átomos de hidrogeno presentes. Esta técnica es bastante sensible en los fluidos que se encuentran en los poros mas no en los materiales presentes en la matriz por tal razón esta técnica se ve limitada en aplicaciones de minerales. Por medio de la herramienta de adquisición de los registros RMN se emplean imanes que permiten crear un campo magnético estático y fuerte el cual magnetiza los fluidos de las formaciones presentes, por medio de una antena que rodea el imán se emiten ondas electromagnéticas de amplitud, frecuencia y duración controladas lo cual se conoce como (pulsos) en puntos sincronizados en la formación de interés y así poder manipular la alineación de los protones. En el tiempo que duran las pulsaciones se utiliza la antena para escuchar el eco generado por las ondas emitidas y que van en periodos de decadencia para algunos de los protones de hidrogeno que están en resonancia con el campo generado por el imán, como la señal de los protones cae es necesario crear una nueva secuencia de puntos de radiofrecuencia para recuperar así la señal nuevamente. En cuanto a los puntos de investigación que pueden generar mayor interés que otros se puede ajustar la frecuencia de las ondas emitidas esto por la relación lineal que existe entre la frecuencia del protón y la intensidad del campo magnético permitiendo así el estudio detallado en regiones cilíndricas en diferentes diámetros alrededor de la herramienta de estudio.³⁶

³⁵ LANDI, Richard. HEINZ, Terán. Aplicaciones de los registros de resonancia magnética nuclear (NMRL) en la evolución de yacimientos. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Escuela Superior Politécnica del litoral, ESPOL. Guayaquil, Ecuador.

³⁶ LANDI, Richard. HEINZ, Terán. Aplicaciones de los registros de resonancia magnética nuclear (NMRL) en la evolución de yacimientos. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Escuela Superior Politécnica del litoral, ESPOL. Guayaquil, Ecuador.

Figura 5-12. Movimiento de los protones.



Fuente: Políticas y otras cosas [en línea]: < <https://mrjaen.com/2016/04/10/ver-el-interior-del-cuerpo-humano-sin-abrirlo> > [citado el 27 de Marzo del 2017]

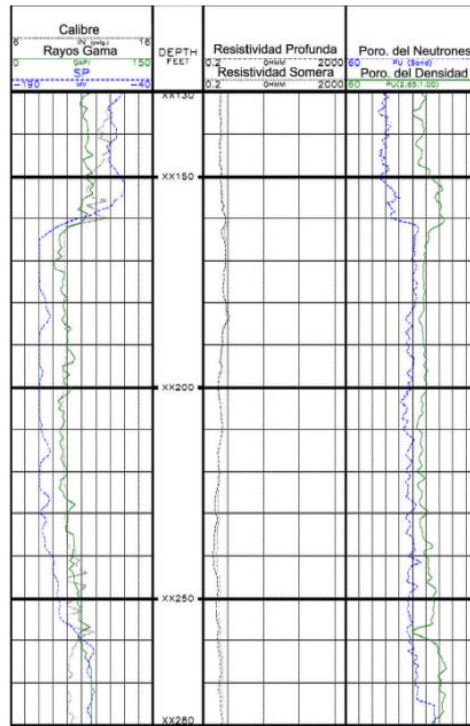
5.2.1 Aplicaciones

Dentro de las aplicaciones más conocidas están la determinación de propiedades petrofísicas de los yacimientos de interés hoy día se puede conocer con la implementación de esta técnica analizar los fluidos presentes en la matriz de la roca por medio de perfiles a hueco abierto permitiendo así la identificación de los fluidos presentes y la cantidad de estos que está disponible sean estos móviles o no. Las características más comunes que se pueden calcular con la RMN son: porosidad total, porosidad efectiva, distribución de tamaño de poro, saturación de agua irreducible, permeabilidad, saturación de fluidos producibles, identificación de fluidos presentes en los poros y predicción de la productividad.

Dentro de las características de esta técnica y el amplio rango de aplicaciones que se le pueden dar se puede demostrar que es una gran alternativa a la sísmica con explosivos debido a que es una técnica no destructiva en ninguna fase de su desarrollo lo cual no se puede decir de la sísmica, en esta técnica no se requiere de explosivos para conocer los fluidos presentes en la zona de interés, además es una técnica relativamente rápida y efectiva.³⁷

³⁷ LANDI, Richard. HEINZ, Terán. Aplicaciones de los registros de resonancia magnética nuclear (NMRL) en la evolución de yacimientos. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Escuela Superior Politécnica del litoral, ESPOL. Guayaquil, Ecuador.

Figura 5-13. Registro convencional.



Fuente: LANDI, Richard. HEINZ, Terán. Aplicaciones de los registros de resonancia magnética nuclear (NMRL) en la evolución de yacimientos. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Escuela Superior Politécnica del litoral, ESPO. Guayaquil, Ecuador.

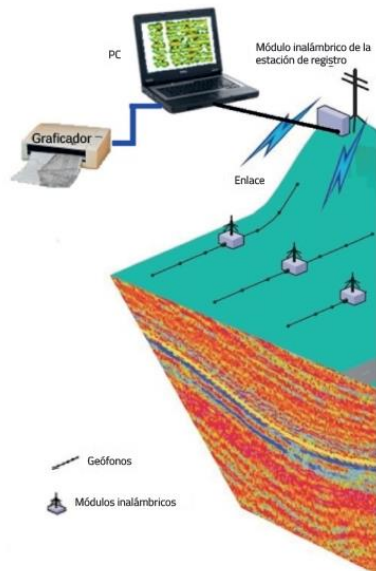
5.3 GEÓFONOS INALÁMBRICOS

Cuando se realiza la técnica sísmica para la exploración de hidrocarburos se emiten ondas en el subsuelo por medio de vibraciones o detonaciones controladas, de las cuales la más usada son las detonaciones controladas con explosivos especiales, las ondas que se generan se propagan a través de las formaciones presentes en dicha zona a medida que se encuentran diferentes tipos de fluidos presentes en estas formaciones se generan diferentes tipos de señales y dichas señales son detectadas por los geófonos alámbricos y posteriormente se transmiten a la central de registros. Los geófonos que se emplean en la mayoría de los casos son geófonos de superficie ubicados por medio de redes alámbricas en la zona de estudio, para tener una rápida ubicación de estos equipos se instalan tarjetas de identificación las cuales contienen un químico especial para evitar que se degraden debido a la exposición a lluvia y sol, en muchas ocasiones estos terrenos son amplias zonas de vegetación con presencia de ganado bovino³⁸ y otro tipo de fauna, en la mayoría de los casos estos animales interrumpen las conexiones alámbricas al comerse los cables instalados o al intentando comerse las tarjetas de identificación lo que ha generado gran cantidad de animales muertos debido a que el químico genera estreñimiento en los animales y por último su muerte, además de afectar el ganado presente causa contaminación en el medio ambiente ayudando así a un deterioro de este más rápido.

Esta problemática no solo afecta las operaciones exploratorias, afecta en gran medida la fauna presente en estas zonas lo cual es más importante que cualquier otro impacto, por tal razón se ha propuesto como alternativa a este flagelo la implementación de geófonos inalámbricos por medio de redes inalámbricas de bajo costo, al usar esta técnica se están reduciendo además de los costos en operaciones petroleras el impacto al medio ambiente, la fauna y la flora presente en las zonas de interés.

³⁸ PAZ, Hernán. UYUBAN, Jaime. NARVÁEZ, Alan. FERRO, Roberto. Desarrollo y prueba de un sistema de radio telemetría para adquisición sísmica. Vol 27.2017

Figura 5-15. Configuración red inalámbrica.



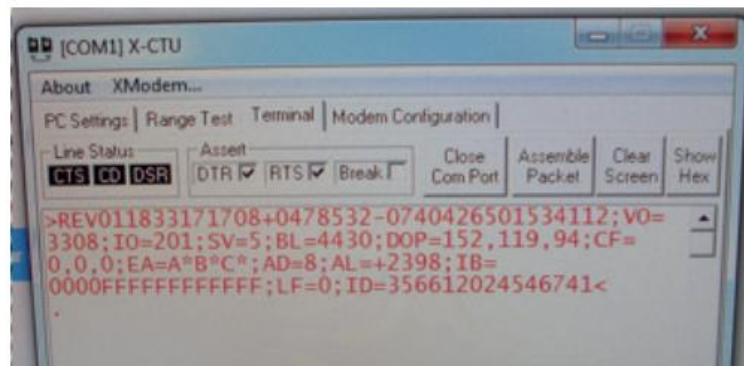
Fuente: PAZ, Hernán. UYUBAN, Jaime. NARVÁEZ, Alan. FERRO, Roberto. Desarrollo y prueba de un sistema de radio telemetría para adquisición sísmica. Vol 27.2017

En la Figura 5-15 se puede ver un ejemplo de un prototipo de configuración para una red inalámbrica en este caso el uso del cable ya no es necesario, el prototipo cuenta con un arreglo de tres nodos en los cuales se ubican los sendos módulos (FDUs)³⁹ y los geófonos los cuales deben estar ubicados verticalmente en dirección central al sensor para así asegurar la correcta toma de datos, estos se ubican en bloques en la zona de interés, después de verificar que todo el arreglo este correctamente ubicado se procede al desarrollo de igual forma como se hace con redes alámbricas con la gran diferencia que las señales generadas por las ondas se transmiten al geófono inalámbrico el cual crea una señal de voltaje analógico y este a su vez las emite a la estación de registros en las cuales por medio de un software especial las convierte y traduce en datos digitales (Figura 5-16) y posteriormente este las modula y trasmite en una señal de banda. (Figura 5-17).⁴⁰

³⁹ PAZ, Hernán. UYUBAN, Jaime. NARVÁEZ, Alan. FERRO, Roberto. Desarrollo y prueba de un sistema de radio telemetría para adquisición sísmica. Vol 27.2017

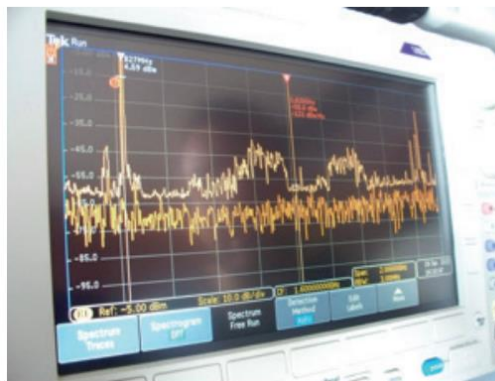
⁴⁰ PAZ, Hernán. UYUBAN, Jaime. NARVÁEZ, Alan. FERRO, Roberto. Desarrollo y prueba de un sistema de radio telemetría para adquisición sísmica. Vol 27.2017

Figura 5-16. Datos software.



Fuente: PAZ, Hernán. UYUBAN, Jaime. NARVÁEZ, Alan. FERRO, Roberto. Desarrollo y prueba de un sistema de radio telemetría para adquisición sísmica. Vol 27.2017

Figura 5-17. Señal de banda.



Fuente: PAZ, Hernán. UYUBAN, Jaime. NARVÁEZ, Alan. FERRO, Roberto. Desarrollo y prueba de un sistema de radio telemetría para adquisición sísmica. Vol 27.2017

CONCLUSIONES

Como bien se sabe la explotación de hidrocarburos es indispensable para el desarrollo económico del país, pero no por esta razón se debe afectar el medio ambiente, la fauna, flora y mucho menos las personas que habitan en dichas regiones de interés. La exploración y explotación de estos recursos como se pudo demostrar en este proyecto de grado se puede realizar de múltiples formas sin tener que afectar o generar impactos negativos en los mecanismos mencionados anteriormente.

En Colombia y más explícitamente en el departamento de Boyacá existe normatividad clara y bien fundamentada en cuanto al desarrollo de actividades de exploración y explotación de hidrocarburos, lamentablemente hace falta un mayor control y seguimiento en cuanto al cumplimiento de estas con el fin de evitar la ocurrencia de prácticas que violen las mismas generando así afectaciones graves tanto en el medio ambiente como en las personas que habitan en dichas zonas de interés para la industria petrolera.

La búsqueda de hidrocarburos por medio de la tecnología satelital rusa es una de las mejores alternativas en cuanto a prospección de reservas, exploración y explotación de hidrocarburos por las cuales se puede reemplazar la exploración sísmica con explosivos, debido a que es una técnica no lesiva para el medio ambiente en la cual no es necesario perforar o impactar de manera negativa la zona de posible interés en la cual se desarrollaran los estudios necesarios. Entregando así resultados mucho más eficientes y rápidos que cualquier otro tipo de mecanismo existente.

De acuerdo con las entrevistas realizadas a la comunidad y líderes de la zona, los impactos que se presentaron en mayor magnitud fueron los de carácter social y de infraestructura con un alto grado de afectación, generando dudas en los ciudadanos sobre la correcta ejecución de los proyectos y llegando a indisponerlos frente a las actividades de la industria del petróleo.

RECOMENDACIONES

Fortalecer los estudios de identificación del subsuelo previos a la realización de un proyecto de exploración sísmica para conocer, controlar y hacer un seguimiento de la totalidad de los nacederos de agua superficiales y subterráneos presentes en el área de interés, con el fin de evitar generar impactos negativos a las fuentes hídricas y obtener evidencias validas para verificar o desestimar la afectación de la ejecución del proyecto.

Fortalecer y mejorar los conocimientos en las comunidades de la provincia Sugamuxi en cuanto al desarrollo y ejecución de actividades exploratorias por medio de la sísmica con explosivos.

Fortalecer la supervisión de las autoridades ambientales competentes al realizar la ejecución de un proyecto de exploración sísmica, para asegurar unas buenas practicas acogidas a la normatividad legal vigente, con el fin de prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos negativos que se puedan generar al medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Información Geológica y Geofísica. Estudios Integrados y Modelamientos. Open round Colombia, ANH. 2010

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Manual de suministro de información Técnica y geológica, ANH. 2013.

BARRERO, Pedro. Colombian Sedimentary Basins Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal. Agencia Nacional de Hidrocarburos. 2009

CABALLERO, Víctor. MORA, Andrés. Levantamiento de la cordillera oriental de Colombia durante el eoceno tardío, oligoceno temprano: proveniencia sedimentaria en el sinclinal de nuevo mundo, cuenca valle medio del magdalena. Boletín de Geología. vol. 32. 2010.

CARCAVILLA, Luis. RUIZ, Rafael. RODRÍGUEZ, Esaú. Guía geológica del parque natural del Alto Tajo. Instituto Geológico y Minero de España. ed. 2011.

COOPER N 2008a: "Adquisición sísmica terrestre, teoría y técnicas" Carpeta del curso, Capítulo 6: Mecanismos de pérdida de energía, Febrero.

COOPER, Norman. "Adquisición sísmica terrestre, teoría y técnicas". La fuente de energía. Capítulo 7. 2008b.

COOPER, Norman. "Adquisición sísmica terrestre, teoría y técnicas". La fuente de energía. Capítulo 8. 2008c.

ENCO Petroleum Ltd: Nueva tecnología para la búsqueda y prospección directa de reservas de gas y PETROLEO "OIL FINDER TECHNOLOGY-OFT". [en línea]: <<http://www.encopetrol.com/es/oil-finder-technology>> [citado el 25 de Marzo del 2017]

ESP ENERGY GROUP: Tecnología para la exploración y prospección directa de reservas de gas, petróleo y minerales "OIL & GAS FINDER TECHNOLOGY: OFT" [en línea]: <<https://es.slideshare.net/ricardoego/tecnologia-oft-esp-energy-group-mineria>> [citado del 26 de Marzo del 2017]

FERRO, Roberto. NARVÁEZ, Alan. PAZ, Hernán. UYUBAN, Jaime. Desarrollo y prueba de un sistema de radio telemetría para adquisición sísmica. Vol 27.2017

GONZALES, Ricardo. ESP ENERGY GROUP: Tecnología para la Exploración y Prospección directa de reservas de Gas, Petróleo y Minerales "OIL & GAS FINDER TECHNOLOGY: OFT". 2012. Pag 9.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Guía básica ambiental para programas de exploración sísmica terrestre. 1era edición. Bogotá: MINMINAS, 1997.

HEINZ, Terán, LANDI, Richard. Aplicaciones de los registros de resonancia magnética nuclear (NMRL) en la evolución de yacimientos. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Escuela Superior Politécnica del litoral, ESPOL. Guayaquil, Ecuador.

Lineamientos técnicos para la estrategia de adaptación al cambio climático de los páramos y humedales altoandinos, IDEAN, 2013.

SALAZAR, Irene. Documentos de trabajo sobre la ECONOMIA REGIONAL. Banco de la Republica. Enero del 2010.

YAJAIRA HERRERA: Manual para la Adquisición y Procesamiento de Sísmica Terrestre y su aplicación en Colombia, Norman Cooper, Mustagh Resources Ltd, Bogotá Enero 2010, Pág. 41-45.

ANEXOS

ANEXO A. Carta

Bucaramanga, 22 de marzo de 2014

Señores
Corporación Autónoma de Boyacá
Tunja-Boyacá

Cordial Saludo,

Por medio de la presente, les solicitamos el permiso para acceder a su base de datos con el fin de manejar la información correspondiente a proyectos de exploración sísmica realizados en la provincia Sugamuxi radicados en su corporación, para el desarrollo del proyecto de investigación que realizamos para nuestro trabajo de grado.

Atentamente:

Estudiantes de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, del programa académico INGENIERÍA DE PETRÓLEOS, identificados como:

JULIAN DAVID NOY ROBLES

CC: 1'049.636.542 de Tunja
Código Institucional: 2123121
Correo electrónico: judavid4@hotmail.com

STEPHANIE MARTINEZ JIMENEZ

CC: 1'144.043.619 de Cali
Código Institucional: 2123124
Correo electrónico: nanymartinez18@hotmail.com

ANEXO B. Encuestas

ENCUESTA REALIZADA A LOS HABITANTES DE LA PROVINCIA SUGAMUXI DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, DEBIDO A LA AFECTACIÓN POR LA LLEGADA DE LA INDUSTRIA PETROLERA CON LA EXPLORACIÓN SÍSMICA, CON EL FIN DE OBTENER INFORMACIÓN PARA EL DESARROLLO DE UN TRABAJO DE GRADO DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER EN EL PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS.

NOMBRE:

EDAD:

MUNICIPIO:

VEREDA:

¿Cuánto tiempo lleva residiendo en esa zona actualmente?

¿Fue informado mediante reuniones, socializaciones o visitas directas de la realización de los proyectos de exploración sísmica en su comunidad?

¿Se vio beneficiado con el desarrollo del proyecto de exploración en su comunidad?

BENEFICIOS	INFLUENCIA			
	NULA	BAJA	MEDIA	ALTA
Nuevas oportunidades de empleo				
Mayor ingreso al núcleo familiar				
Valorización de terrenos				
Aumento de conocimientos ambientales o ingenieriles.				

Otro. ¿Cuál? _____

¿Se vio afectado negativamente por el desarrollo del proyecto de exploración sísmica? Marque en cuales de las categorías evidencia afectación.

MEDIO	IMPACTO	INFLUENCIA			
		NULA	BAJA	MEDIA	ALTA
HIDRICO	Disminución del agua en nacederos				
	Disminución del cauce de ríos, lagunas, aljibes, etc.				
	Afloramiento de fuentes hídricas desconocidas				
	Alteración de propiedades fisicoquímicas y/o bacteriológicas de aguas subterráneas				
	Alteración de propiedades fisicoquímicas y/o bacteriológicas de aguas superficiales.				
FAUNA Y FLORA	Disminución de fauna silvestre				
	Alteración de hábitats naturales				
	Migración y/o ahuyentamiento de especies				
	Disminución de cobertura vegetal				
	Alteración del paisaje				
	Tala de arboles				
INFRAESTRUCTURA	Daño a infraestructuras				
	Deterioro de malla vial y aumento de tráfico vehicular				
GEOTECNICO Y EDAFICO	Desestabilización del Suelo				
	Generación de procesos erosivos				
	Alteración de las propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas del suelo				
	Compactación del suelo				
SOCIAL	Variación de la economía local				
	Aumento de delincuencia común				

	Abandono de actividades propias de la región				
	Generación de conflictos entre la comunidad				
	Generación de procesos migratorios				
	Incremento en el riesgo de accidentes				

Otro: ¿Cuál?

¿Cuáles zonas de su propiedad fueron afectadas por los impactos?

¿En qué periodo de tiempo se empezaron a presentar los impactos?

MEDIO	IMPACTO	TIEMPO		
		Durante el desarrollo de la exploración sísmica	Poco tiempo después de realizada la exploración sísmica	Mucho después de realizada a la exploración sísmica
HIDRICO	Disminución del agua en nacederos			
	Disminución del cauce de ríos, lagunas, aljibes, etc.			
	Afloramiento de fuentes hídricas desconocidas			
	Alteración de propiedades fisicoquímicas y/o bacteriológicas de aguas subterráneas			
	Alteración de propiedades fisicoquímicas y/o bacteriológicas de aguas superficiales.			

FAUNA Y FLORA	Disminución de fauna silvestre			
	Alteración de hábitats naturales			
	Migración y/o ahuyentamiento de especies			
	Disminución de cobertura vegetal			
	Alteración del paisaje			
	Tala de arboles			
INFRAESTRUCTURA	Daño a infraestructuras			
	Deterioro de malla vial y aumento de tráfico vehicular			
GEOTECNICO Y EDAFICO	Desestabilización del Suelo			
	Generación de procesos erosivos			
	Alteración de las propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas del suelo			
	Compactación del suelo			
SOCIAL	Variación de la economía local			
	Aumento de delincuencia común			
	Abandono de actividades propias de la región			
	Generación de conflictos entre la comunidad			
	Generación de procesos migratorios			
	Incremento en el riesgo de accidentes			

¿Fueron cumplidos los compromisos pactados comunidad-petrolera al comenzar la exploración sísmica?

Compromiso	SI	NO
Inversión Social		

Pago de bienes y servicios		
Pago de servidumbre		
Contratación de personal		

¿Cuál considera fue el grado de magnitud de los impactos?

MEDIO	IMPACTO	MAGNITUD			
		Irreversible e irre recuperable: Imposibilidad extrema de retornar a las condiciones iniciales ya sea por intervención natural o humana.	Irreversible pero recuperable: Imposibilidad de retornar a las condiciones iniciales por medios naturales aunque si es posible mediante intervención humana.	Reversible y recuperable a largo plazo: Posibilidad de retornar a las condiciones iniciales por medios naturales en más de un año	Reversible y recuperable a corto plazo: Posibilidad de retornar a las condiciones iniciales por medios naturales en menos de un año
HIDRICO	Disminución del agua en nacederos				
	Disminución del cauce de ríos, lagunas, aljibes, etc.				
	Afloramiento de fuentes hídricas desconocidas				
	Alteración de propiedades fisicoquímicas y/o bacteriológicas de aguas subterráneas				
	Alteración de propiedades fisicoquímicas y/o bacteriológicas de aguas superficiales.				
FAUNA Y FLORA	Disminución de fauna silvestre				
	Alteración de hábitats naturales				

	Migración y/o ahuyentamiento de especies				
	Disminución de cobertura vegetal				
	Alteración del paisaje				
	Tala de arboles				
INFRAESTRUCTURA	Daño a infraestructuras				
	Deterioro de malla vial y aumento de tráfico vehicular				
GEOTECNICO Y EDAFICO	Desestabilización del Suelo				
	Generación de procesos erosivos				
	Alteración de las propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas del suelo				
	Compactación del suelo				
SOCIAL	Variación de la economía local				
	Aumento de delincuencia común				
	Abandono de actividades propias de la región				
	Generación de conflictos entre la comunidad				
	Generación de procesos migratorios				
	Incremento en el riesgo de accidentes				

¿Manifestó usted alguna queja o inconformidad ante algún ente ambiental o gubernamental?

SI ____ NO ____

¿Ante quien hizo la solicitud?	
¿Cuál fue la respuesta obtenida?	
¿Qué acciones fueron realizadas frente a la problemática?	

¿Cuál fue la acción tomada por la petrolera frente a los impactos generados?

ANEXO C. Evidencias fotográficas 1



ANEXO D. Evidencias fotográficas 2



ANEXO E. Evidencias fotográficas 3



ANEXO F. Evidencias fotográficas 4



ANEXO G. Evidencias fotográficas 5



ANEXO H. Evidencias fotográficas 6



ANEXO I. Evidencias fotográficas 7



ANEXO J. Evidencias fotográficas 8



