ÍNDICE							
Categoría	**Número de Documento**	**Fecha**	**Descripción**	**Observacion**	**Tomo**	**N° de Folio Inicio**	**N° de Folio Final**
Consultoría carpetas Ambiental			CONTINUACIÓN Cap 9. Diagnostico minero preliminar de la cuenca hidrografica del rio sinu		26	5001	5107
Consultoría carpetas Ambiental			Cap 10 AMENAZAS NATURALES		26	5108	5200

CONTINUACIÓN Cap 9. Diagnostico minero preliminar de la cuenca hidrografica del rio sinu

9.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA

Para cada una de las explotaciones localizadas en la cuenca del Río Sinú se realizo un análisis individual asignando a cada elemento del medio ambiente su correspondiente importancia ambiental según los impactos identificados en las listas de chequeo y matrices de identificación características de cada cantera.

Para hacer conciso el análisis de las diferentes explotaciones se realizo el estudio para cada una de ellas agrupándolas según la unidad geológica a la que pertenezca y dándole gran importancia a los impactos que se encuentran afectando fuertemente el medio ambiente, muchos de los impactos que afectan las explotaciones dentro de la cuenca son similares, pero debido a las características diferentes de cada una deben ser tratadas individualmente.

Un impacto que es común en toda explotación a cielo abierto es el que evalúa el paisaje, toda actividad minera implica un cambio brusco en el medio ambiente y en su entorno, lo que se evalúa en este elemento es la falta de planeación para la ubicación de las explotaciones, a pesar de generar un impacto muy fuerte este puede ser mitigado si se emplean barreras naturales o artificiales.

Las explotaciones de la cuenca se encuentran repartidas en 6 unidades geológicas:

9.4.1 Fm Cansona (Ksc):

Consiste en secuencias de cherts y limolitas silíceas, intercaladas con lutitas, ocasionalmente micritas y areniscas. Hacia la base se encuentran diabasas intercaladas con cherts, diques y silos máficos.

La capa de suelo en esta unidad es delgada permitiendo de esta forma tener acceso inmediato al substrato rocoso, solo los drenajes principales presentan perfiles de suelo significativos sobre la llanura de inundación del cauce. Los drenajes importantes son pocos y la unidad en general presenta drenajes intermitentes de poca profundidad importantes solo en época de invierno.
Otro impacto que a pesar de no presentar en la cuenca importancia ambiental muy alta es la migración de especies animales, cuando la actividad minera empieza los animales endémicos de la zona se trasladan a lugares mas tranquilos, solo en situaciones como la presente en el municipio de Santa Isabel este impacta posee importancia ambiental alta debido a la alteración de un bosque secundario importante.
Las explotaciones abandonadas poseen una importancia ambiental de carácter positivo, no se debe descartar el retorno de animales y especies aloctonas y autóctonas al momento de acabar la minería.

Dentro de esta unidad se encuentran ubicadas 5 (cinco) explotaciones mineras cada una localizada en diferentes lugares de la cuenca:

9.4.1.1 Mina la arena

Localización

Esta Cantera esta localizada en el municipio de San Andrés de Sotavento vereda la arena por la vía que conduce de San Andrés de Sotavento a Tuchin, en las coordenadas planas N = 1505773.584 m y E = 840011.6008 la actividad minera en esta zona esta abandonada. Se explotan areniscas y areniscas conglomeráticas.

Impactos asociados

El suelo, el paisaje y la flora son los elementos del medio físico que fueron fuertemente afectados por la actividad minera, la capa de suelo y cobertura vegetal fue arrancada de raíz cuando se inicio la minería, además debido a la forma de los taludes, su inclinación y la altura, la recuperación de la capa vegetal es muy difícil, el impacto que se genero sobre el paisaje y sobre el medio físico de la zona no será fácil de contrarrestar y de mitigar, la importancia ambiental de los impactos producidos sobre el suelo, la flora y la fauna son de carácter negativo y muy alta.

Actualmente las areniscas son explotadas de forma artesanal para la fabricación de bloques de construcción, esta actividad es realizada por los habitantes de la zona como actividad de subsistencia.

Algunas de las zonas abandonadas consisten en depresiones que han sido llenadas por aguas de escorrentía en épocas de lluvias, la captación de esta agua es el motivo por el cual la importancia ambiental de este componente tiene una importancia ambiental alta, la contaminación del agua estancada se debe a los sedimentos arrasados por las lluvias por esta razón la importancia ambiental de este componente es muy baja.

9.4.1.2 Cantera el retorno.



Cantera el retorno.

Localización

Esta ubicada en el municipio de San Carlos corregimiento el Retorno, sobre la vía que conduce a la vereda Santa Rosa, el material encontrado consta de lodolitas silíceas. Actualmente es inactiva, sin embargo hay ocasiones en que se extrae material cuando la demanda es alta, se encuentra modificando el drenaje superficial de la zona que es importante solo en época de lluvias, época en que la erosión aumenta considerablemente.

Impactos asociados

La importancia ambiental de la perdida de suelo por erosión es muy alta y el cambio de uso presenta una importancia ambiental alta. Toda la finca donde se encuentra localizada la extracción es empleada para la crianza de ganado, cuando la explotación lleva mucho tiempo abandonada en el área empieza a crecer pastos permitiendo la recuperación de la capa vegetal.

9.4.1.3 Cantera San Carlos





Cantera San Carlos antigua zona de explotación
Frentes de explotación actual de la cantera San Carlos.

Localización

Ubicada en el municipio de Lorica, corregimiento de San Sebastián, en las coordenadas planas N = 14642034,91 m y W = 62988203,75 m. Se explotan lodolitas silíceas y calcáreas que son utilizadas como material de construcción. Es una de las canteras con mayor actividad en la zona así como una de las más grandes, se extraen hasta 2700 m3 semanales de material. Cuenta con un plan de manejo ambiental que fue aprobado pero que no esta siendo implementado, y posee permiso minero para la extracción de material No 0275.

Impactos asociados

Dentro del medio físico uno de los elementos mas afectado es el suelo, en un área aproximada de 10 hectáreas la capa de suelo ha sido arrastrada por la maquinaria y por la erosión, en los sitios donde la explotación se ha abandonado no se esta implementando ninguna medida para la recuperación del suelo y de la capa vegetal, por este motivo la importancia ambiental de la perdida de suelo por erosión generado es muy alto.

El cambio de uso del suelo es de importancia ambiental muy alta, el medio físico ha sido cambiado bruscamente por la intervención minera. Para evaluar la contaminación del suelo se tuvo en cuenta los derrames de aceite y de gasolina de la maquinaria al momento de la extracción y del mantenimiento.

Para el mantenimiento de maquinaria no se adecuo ningún lugar donde los aceites e hidrocarburos tengan un buen manejo por el contrario todos los equipos con reparados directamente en la superficie donde se trabaja contaminando no solo el suelo sino también cuerpos de aguas cercanos por esta razón la importancia ambiental de este elemento es media.

La captación y vertimiento de aguas es importante sobre todo en época de lluvias, la captación de este recurso se hace en los sitios donde la explotación ha sido abandonada formando pozos de agua, dentro de la cantera estas aguas son utilizadas por animales, por cultivos y por el hombre en actividades de aseo, las piezas de la maquinaria son lavadas en estos charcos y las zonas donde se ubican las volquetas y la maquinaria en reparación quedan muy cerca de estas pozas haciendo que aceites e hidrocarburos contaminen las aguas, esta agua estancada no es de buena calidad y en épocas donde los niveles de escorrentía superan los bajos donde están ubicados corriendo libremente hacia la Cienaga Grande del Bajo Sinú contaminando las aguas de la ciénaga y del Río por este motivo la captación, vertimiento y contaminación de la aguas en esta cantera son de importancia ambiental media, las cantidades de aceites, de sedimentos y otros productos no son muy elevados para que el impacto alcance a ser de importancia ambiental alta.

Cuando se realizo la evaluación de impacto ambiental para el elemento aire se tuvo en cuenta las partículas de polvo que son levantadas al momento de realizar él descapote, remoción de material y transporte de material, entre otras (ver anexo), dando como resultado una importancia ambiental media, el ruido también presenta una importancia ambiental media por encontrarse la cantera cerca de un barrio de la población de Lorica.

La perdida de la cobertura vegetal, la alteración del medio físico y la migración de especies tienen importancia ambiental muy alta esto se debe a que dentro del área de extracción no hay cobertura vegetal, toda ha sido arrastrada y destruida por la maquinaria. La migración de especies es alta, ya que no hay donde coexistan especies animales.

El modo de extracción es totalmente desorganizado se extrae el material de todas partes sin ningún control, los trabajadores tienen el mínimo de seguridad y no se encuentran vinculados a ninguna institución de salud. Los taludes son muy altos e inestables con pendientes negativas haciendo aún más peligrosas las condiciones de trabajo del personal de la mina.

9.4.1.4 Cantera El Purgatorio



Basurero el purgatorio



Frente de explotación de la cantera.

Localización

Esta localizada en el municipio de Montería corregimiento el Purgatorio en las coordenadas planas N = 1455447 m y E = 805774 m. Es una de las canteras con mayor tamaño y con mayor demanda en toda la cuenca del río Sinú tiene un área aproximada de 10 hectáreas en las que se extrae aproximadamente 1500 m3 por semana, la variedad de material en la zona permite que se explote material de varios lugares sin ningún control dejando huecos que ayudan al encharcamiento de aguas superficiales.

Impactos asociados

A lo largo y ancho de toda la zona se encuentran parches de vegetación que han ido creciendo gracias al abandono de la actividad minera permitiendo una lenta recuperación del suelo y de la cobertura vegetal, el suelo esta fuertemente afectado por la intervención, además la contaminación de los suelos por aceites y la gasolina derramada en la reparación y mantenimiento de los equipos no permite que aún en sitios abandonados crezcan plantas de forma libre y natural, además los taludes son muy altos y esto ayuda a la erosión. La importancia ambiental de la perdida de suelo por erosión y el cambio de uso del suelo es muy alto.

La cobertura vegetal es mínima, para iniciar la actividad minera se destruyo totalmente la capa vegetal, la recuperación de la cobertura vegetal en estos casos es muy lenta, adquiriendo este impacto una importancia ambiental muy alta. Toda el área en general ha quedado como una gran depresión que esta siendo empleada como basurero municipal (ver foto) cambiando completamente el panorama de la zona.

En las depresiones creadas por la extracción de material acumulan aguas lluvias que son utilizadas por algunos animales, además en algunas ocasiones esta agua presentan mas de un (1) metro de profundidad alcanzando ha ser pozas, la vegetación ha ido poblando estas pozas. Los sedimentos y las aguas lluvias que corren por el basurero bajan la calidad del agua y no pueden ser utilizadas para riego de cultivos y menos para consumo, cuando llueve demasiado la escorrentía corre por toda la cantera contaminando las aguas. La importancia ambiental de la captación y vertimiento de aguas es alta y la de la contaminación es media, todas son de carácter negativo.

Esta cantera a pesar de tener licencia ambiental (resolución numero 0.214 del 26 de junio de 1998) no esta teniendo en cuenta ninguna norma de seguridad para sus empleados y mucho menos una forma tecnificada de realizar la explotación causando daños graves al medio que lo rodea que serán difíciles de subsanar aún con grande s inversiones.

9.4.1.5 Cantera el matadero



Frente de explotación de la mina el matadero.

Localización

Esta localizada en el municip io de Tierra Alta, corregimiento la Unión, vereda Matadero, en las coordenadas planas N = 1393196 m y E = 779064 m, la explotación inicio con la construcción de la represa Urra I, la extracción de material de esta zona es ilegal y se extrae sin ningún control ocasionando daños al medio ambiente que luego será muy difícil de subsanar.

Impactos asociados

El suelo es uno de los elementos que esta fuertemente afectado por la explotación minera, la capa de suelo de toda el área de extracción fue arrasada por la minería, además este es contaminado por los residuos de aceites y derrames de combustibles que genera la maquinaria, el uso del suelo cambio fuertemente después de la minería.

El paisaje ha sido modificado de forma negativa, destruyendo el ecosistema en el que coexistían especies animales, en la actualidad este ambiente esta totalmente degradado, no hay capa vegetal y de suelo, además la topografía de la zona esta siendo modificada por la actividad minera, el impacto tanto físico como visual puede ser mitigado, sin embargo la forma en que se esta haciendo la explotación hace difícil la recuperación de los suelos, en general el impacto es de importancia ambiental muy alta.

Los impactos causados sobre la flora son negativos y de importancia ambiental muy alta, toda la cobertura fue arrancada de raíz por la actividad minera y en el área de explotación no se están tomando medidas para recuperar zonas abandonadas, además los taludes sobre los que se esta extrayendo el material son verticales y en ellos la recuperación de la cobertura vegetal es muy difícil.

9.4.2 Formación San Cayetano (Pgsc)

En general esta formación Esta compuesta por areniscas líticas granodecrecientes con intercalaciones de arcillolitas y liditas. Esta puede ser dividida en varios miembros que son explicados en el numeral 3.2 del capítulo de caracterización físico-biotica.

La capa de suelo y cobertura vegetal de esta unidad es poca, muchos sitios están cubiertos por rastrojos que no necesitan gran cantidad de materia orgánica para su crecimiento, en general el substrato rocoso aflora en la superficie, los suelos de esta unidad son pobres y solo son aptos para actividades como el pastoreo en época de invierno.

Sobre esta unidad se encuentran localizadas el mayor número de explotaciones presentes en la cuenca del Río Sinú cada una de estas será explicada a continuación:

9.4.2.1 Cantera San Sebastián.



Cantera San Sebastián

Localización

Se encuentra localizada en el corregimiento de San Sebastián, zona urbana en las coordenadas planas N = 1512290,376 m y E = 811974,1073 m. Actualmente la

explotación esta abandonada. El material encontrado consta de lodolitas silíceas y chert, este fue empleado como balasto en las carreteras del municipio.

Impactos asociados

Al igual que en otras minas el área explotada se encuentra inundada por aguas de escorrentías haciendo que la captación de agua sea muy alta, factores como la contaminación de aguas por procesos erosivos tiene una importancia ambiental media, los dueños de la finca donde se encuentra la cantera están utilizando las aguas para riego de cultivos agrícolas y para alimentación de animales.

Estas tierras no tienen una capa de suelo importante siendo esta casi en su totalidad arrastrada por las aguas de escorrentía y por lluvias, y en algunos casos por el sobre pastoreo, así que estas regiones en general son áridas, la implementación de la actividad minera no mejora las condiciones del suelo. Por todo esto la importancia ambiental de los elementos como perdida de la cobertura vegetal y perdida de suelo por erosión son muy altas.

9.4.2.2 Mina el hueso.



Mina el Hueso

Localización

Localizada en el municipio de Purísima Corregimiento el Hueso en las coordenadas planas N= 1512290,376 m y E = 825157,5906 m. Se explotan lodolitas silíceas que se utilizan como material de recebo en las carreteras de la región, se puede observar en la fotografía que la forma de explotación no es la adecuada ya que cuando llueve el agua se estanca en el frente de extracción convirtiendo la superficie en peligrosa para la maquinaria y el personal. La actividad minera en la zona es ilegal.

Impactos Asociados

Los impactos presentes sobre el medio físico y biológico de mayor importancia son los generados sobre el recurso suelo, paisaje y flora. sobre el suelo el cambio de uso es alto, en este sector la actividad principal es la ganadería y al iniciar la minería lugares donde antes habían pastos y árboles están totalmente alterados, con acumulación de agua en los lugares abandonados o de extracción.
La perdida de suelo y de cobertura vegetal es incontrolable aún en sitios no muy lejanos a la explotación esto ocasiona que el paisaje cambie drásticamente sumado a lo anterior las nuevas pozas que se encuentran en el sector y la ausencia de habitad para las especies animales crean entonces un impacto sobre el medio físico de importancia muy alta. La flora es escasa por la destrucción de la capa vegetal que hacia parte de la región y que es arrasada por la actividad minera.

9.4.2.3 Mina Santa fe



Mina Santa Fe

Localización

Se encuentra ubicada en el municipio de Purísima corregimiento el Hueso, sobre la vía que conduce del Hueso a Momil, en las coordenadas planas N = 1523540,082 m y E = 825156,0678 m. Hace aproximadamente 7 años que no se extrae material.

Impactos asociados

Dentro del medio físico y biológico los componentes que se encuentran mas afectados son el suelo, el paisaje y la cobertura vegetal. El suelo ha sido degradado totalmente por la actividad minera dificultando la recuperación natural. Para evaluar el impacto sobre la flora se debe tener en cuenta la destrucción de la cobertura vegetal tanto por erosión como por la minería. Siendo entonces la importancia ambiental de estos componentes muy alta.
La alteración del medio físico es de gran importancia ya que todo el paisaje alrededor de la explotación cambio bruscamente, convirtiendo una zona donde se practicaba el pastoreo en un paisaje desolador abandonado y totalmente muerto en época de verano, el poco pasto que crece solo lo hace en temporada de lluvias donde mejoran las condiciones, la geomorfología de la zona también cambio fuertemente pasando de una zona alomada a una planicie, esto es evidencia de la importancia ambiental muy alta para los impacto generados sobre el paisaje.

9.4.2.4 Cantera el Topacio.



Frente de explotación abandonado de la cantera el topacio.

Localización

Esta explotación esta ubicada en la vía que va de Ciénaga de Oro a la Ye, en la curva el papayo, municipio de Cienaga de Oro en las coordenadas planas N = 1470799 m y E = 835179 m, la explotación esta abandonada hace mas de un año. Se extrajo material perteneciente a un conglomerado polimictico mal seleccionado, con clastos que tienen diámetros hasta de 30 centímetros.

Impacto asociado

El suelo se ha recuperado poco a poco después del abandono de la actividad minera, en el frente de explotación ha sido muy difícil la recuperación tanto de los suelos como de la capa vegetal, el talud es vertical y en estos taludes verticales acompañado de sedimentos sueltos no se hace posible la revegetalización natural. La erosión en el frente de explotación es muy alta.

El impacto visual de la antigua explotación justo en la carretera principal que conduce a la Ye y que es generado al suelo y a la cobertura vegetal es de importancia ambiental muy alta, se debe tener en cuenta que estos valores son tan altos solo por el abandono sin medidas correctivas para la recuperación de la zona.

9.4.2.5 Mina Palmito.



Panorama de la mina Palmito.

Localización

Ubicada en el municipio de Cienaga de Oro, corregimiento de Palmito en las coordenadas N = 1473721 m y E = 826526 m. Se explotaron areniscas y areniscas conglomeráticas. la actividad minera fue abandonada hace aproximadamente un año. Al fondo de la fotografía se observa un muro en gaviones que fue construido para evitar que el talud de uno de los frentes de explotación se viniera abajo, a pesar del esfuerzo, este muro esta mal construido; se puede observar que esta cayendo por partes, además el talud que trato de protegerse se esta viniendo abajo y se presenta una gran erosión así como inestabilidad del terreno.

Impactos asociados

El suelo no ha podido recuperarse aun después del tiempo que lleva abandonada, solo hay parches de vegetación en algunos sectores. La perdida de suelo por erosión y el cambio de uso tienen una importancia ambiental muy alta, a pesar que en la zona los suelos no son muy apropiados para la agricultura, se practica la ganadería.

La ausencia de cobertura vegetal casi en el 90% del área donde se practico la minería solo evidencia la necesidad que tiene este sector de medidas correctivas para la recuperación del medio ambiente y del impacto que se generó sobre la cobertura vegetal dejando como resultado un impacto ambiental de importancia muy alta y con carácter negativo.

9.4.2.6 Cantera las Balsas.



Cantera las balsas.

Localización

Esta localizada en el municipio de Cienaga de Oro entre las coordenadas N = 1478517 m y E = 825051 m. se extraen areniscas de grano medio, areniscas conglomeráticas y conglomerados. Desde hace varios años los dueños de esta cantera están tratando de legalizar su situación pero en estos momentos siguen en estado de ilegalidad, es una de las explotaciones mas grandes de la cuenca, se extrae material desde la cima arrancándolo con un buldózer y arrastrándolo hasta la ladera donde es depositado en las volquetas.

Impactos asociados

Como se puede observar en la fotografía la capa de suelo y de vegetación ha sido destruida en su totalidad exponiendo el material a erosión por las aguas de escorrentía, el aumento de la erosión en las laderas de la loma afectan sitios que no están siendo intervenidos por la minería. No existen lugares apropiados para la reparación de equipos convirtiendo algunas zonas de pastos en sitios de taller, estos lugares no cuentan con manejo de aguas y mucho menos de contaminantes.

El medio físico esta siendo modificado en su totalidad, ya que una zona de lomas ahora presenta un embalse y con el tiempo este lugar será una planicie sin dejar rastro de la loma que esta siendo consumida por la minería, la importancia ambiental de los impactos

que afectan los elementos paisaje, flora y suelo son muy altos y son impactos negativos a la naturaleza.

Las aguas lluvias están siendo recogidas en un embalse artificial que fue construido después de abandonar la actividad minera, en estas aguas estancadas se cultivan peces para su comercialización y consumo, estas pueden estar siendo contaminadas por los sedimentos de la zona de explotación así como por aceites y residuos de las maquinas que están trabajando. Cuando este estanque artificial se llena las aguas corren hacia la Cienaga ocasionando que se contaminen las aguas y que se pierda el cultivo de peces que escapa del embalse, el vertimiento y la captación de aguas tiene una importancia ambiental media

Los impactos que se están generando sobre el elemento aire tienen en general una importancia ambiental media, la generación de ruido, partículas y gases esta afectando a los residentes y dueños de la cantera, la producción de polvo en la actividad es muy importante ya que dentro de la cantera es el contaminante que se presenta con mayor frecuencia.

9.4.2.7 Finca Olimpia.



Finca Olimpia

Localización

Esta ubicada en el municipio de San Carlos corregimiento Arroyo Burgos, sobre la vía que conduce de San Carlos a San Martín en las coordenadas geográficas N = 1463456 m y E = 825306 m. El material encontrado en la mina corresponde a lodolitas silíceas y chert que esta fuertemente fracturado, entre las fisuras se encuentran óxidos que han sido lavados por el agua. En esta explotación el material es removido con un buldózer y es depositado

a un lado para luego ser comercializado. La explotación de material en este sector es ilegal.

Impactos asociados

El cambio de uso de suelo y la perdida de suelo por erosión tienen una importancia ambiental muy alta, este es uno de los componentes que en toda actividad minera se encuentra mayormente afectado, sobre todo en las explotaciones a cielo abierto, como las presentes a lo largo y ancho de la cuenca hidrográfica del río Sinú, en esta cantera la capa vegetal ha sido removida casi en su totalidad quedando solo pequeños parches donde aún pueden crecer pastos e hiervas de poco tamaño y que han sobrevivido a la actividad minera.

La alteración al medio físico y la perdida de la cobertura así como el suelo son componentes que sufren gravemente las consecuencias de la practica de la minería ya que son los primeros en ser destruidos y los últimos y mas difíciles de recuperar, por esta razón tienen una importancia ambiental muy alta y son considerados prioritarias las medidas para recuperar estos componentes inmediatamente después de terminar la actividad minera.

9.4.2.8 Cantera Monterrey.



Cantera Monterrey, finca Monterrey

Localización

Se encuentra ubicada en la finca Monterrey municipio de San Carlos vereda Colombia en las coordenadas planas N = 1454336 m y E = 825563 m. Esta cantera presenta actividad solo por temporadas, demora en ocasiones varios meses sin actividad minera. Se explotan

lodolitas silíceas que están fuertemente fracturadas, el material no es de buena calidad se desmorona fácilmente y no es muy resistente.

Impactos asociados

La perdida de suelo por erosión y el cambio de uso de suelo junto con la alteración al medio físico y la perdida de la cobertura vegetal, son los componentes de la evaluación de impacto ambiental con mayor importancia teniendo una calificación muy alta y de carácter negativa.

La actividad minera degrado la capa de suelo a tal punto que a pesar de no ser una actividad constante el material sobre el que se encuentra la explotación no se recupera fácilmente, mucho menos sin la intervención de medidas correctivas para la recuperación de la zona, la cobertura vegetal es también removida y destruida inclusive en zonas vecinas a la explotación, dando como resultado un cambio drástico del uso del área de extracción y una modificación muy grande al paisaje.

9.4.2.9 Cantera El Socorro.

Localización

Ubicada en el municipio de Montería en la vía hacia Guateque en las coordenadas planas N = 1455520 m y E = 800072 m. Se extraen arenas sueltas de grano fino y medio, con ayuda de retroexcavadoras cuando se necesita mucho material o con pala cuando baja la demanda, los trabajadores no tienen ninguna seguridad, se trabaja en cualquier condición y sin ninguna medida para su seguridad como la utilización de cascos, además de taludes demasiado altos y verticales que son inestables.

Impactos asociados

El elemento suelo con sus componentes cambio de uso y perdida de suelo por erosión, el elemento flora con la perdida de la cobertura vegetal y el paisaje con la alteración al medio físico son los factores que al ser evaluados presentan una importancia ambiental muy alta y por lo tanto son los que primero se deben tener en cuenta al momento de aplicar medidas para corregir los daños causados al medio físico.

El cambio de uso de suelo en un área donde la actividad principal son la agricultura y la ganadería además de la preservación de algunos bosques secundarios genera un impacto negativo sobre la población y sobre la naturaleza en general. Al iniciar la actividad minera la erosión en los sitios de explotación y en la cara de los taludes que no son bien manejados aumenta, presentándose perdida de suelos y de cobertura vegetal, evidencia de esto es el cambio total del medio físico, de la actividad y sobre todo del habitad en que coexisten especies animales.

La captación , vertimiento y contaminación tienen una importancia ambiental media y de carácter negativo, la explotación se realiza verticalmente y hacia abajo, creando entonces una superficie apta para captar aguas de escorrentía, esta agua cuando alcanzan niveles importantes son utilizadas por animales de la zona para consumo, aunque normalmente no son empleadas para nada, en época de sequía no es importante este componente, estas mismas aguas cuando se rebosan corren libremente hacia los cuerpos de aguas mas cercanos vertiendo y contaminando los causes naturales con sedimentos y en algunas ocasiones con aceites de motor.

9.4.2.10 Cantera Villa Carmen.



Panorama de la cantera Villa Carmen



Foto.Frente de explotación, cantera villa carmen.

Localización

Se encuentra localizada en el municipio de Montería en la vereda las Pulgas, en las coordenadas planas N = 1453844 m y E = 806737 m. Cerca a la explotación solo quedan un par de fincas ya que la propiedad es privada, los impactos presentes en el área solo afectan directamente al medio físico y a los empleados de la cantera. La resolución de la licencia ambiental es 00.035 del 15 de febrero de 1996.

Impactos asociados

El suelo como principal componente para la existencia de vegetación y por ende de vida esta completamente destruido y degradado por el movimiento de la maquinaria en el área de extracción y la actividad minera, la erosión por el agua es mayor gracias a la total ausencia de vegetación.
El cambio de uso de una zona agrícola y ganadera o inclusive de zonas donde no se había realizado ninguna intervención con anterioridad a la minería, presentan entonces impactos de carácter negativos de importancia ambiental muy alta exceptuando la contaminación de los suelos que es alta.

En un área de 3 hectáreas en las que funciona la cantera hay ausencia de canales para manejo de las aguas de escorrentía para controlar la erosión de la capa de suelo superficial y de los frentes de explotación.

El agua corre por toda la zona de extracción que en algunos lugares presentan pendientes bastante empinadas, ayudando al arrastre de suelos y de sedimentos y al aumento de la turbidez de los cursos de aguas cercanos, esto se presenta principalmente en épocas de lluvia, cuando el aporte de aguas a la cantera es importante, generando entonces impactos sobre toda la zona de carácter negativo y de importancia ambiental media.

La generación de partículas, de ruido y de gases en la zona tienen importancia ambiental media, la cantidad de gases, ruido y partículas de polvo generados por mas de 50 volquetas que entran y salen a toda hora de la zona, y por las retroexcavadoras y buldózer que retiran el material del subsuelo, además de las partículas que se levantan al momento de retirar la capa del suelo y la cobertura vegetal son los agentes que se tuvieron en cuenta para la calificación de impacto ambiental.

La alteración al medio físico además de la perdida total de la cobertura vegetal generan un impacto ambiental negativo y de importancia muy alta. Al momento de realizar actividades para la recuperación de la zona estos elementos serán los primeros a tener en cuenta.

9.4.2.11 Cantera loma grande.



Panorámica de la cantera Loma Grande



Talud de explotación, cantera Loma Grande

Localización

Se encuentra localizada en el municipio de Montería, vereda Loma Grande en las coordenadas planas N = 1453055 m y E = 806070 m. Se explotan lodolitas y chert. La actividad inicio hace 10 años y empezó explotando material de la parte baja, el talud ha ido creciendo a tal punto que actualmente supera los 10 metros de alto, poniendo en constante peligro a los trabajadores de la cantera que no cumplen con el mínimo de seguridad como la implementación de cascos. Esta explotación cuenta con plan de manejo ambiental de resolución 00.404 del 15 de noviembre de 1996, que no esta siendo aplicado.

Impactos asociados

El suelo al igual que en la mayoría de las explotaciones a cielo abierto presenta impactos ambientales con importancia muy alta como son el cambio de uso y perdida de suelo. La contaminación de los suelos presenta una importancia ambiental baja debido a la poca presencia de contaminantes como aceites de motor, gasolina y ACPM.

La intervención a la colina tiene influencia directa con los drenajes de la zona, se vierte agua en la mayoría de las actividades siempre y cuando estas corran libremente por los frentes de explotación como ocurre en la actualidad, volviendo peligrosa la actividad y contaminando las aguas con los aceites existentes en los suelos de la cantera y los sedimento sueltos que corren por la explotación, adquiriendo de esta manera una importancia ambiental media para el vertimiento y baja para la contaminación.

El aire es afectado por ruidos partículas y gases de la zona de extracción y de las vías por las que se transporta la maquinaria y el material, una población llamada Loma Grande se encuentra bajando la ladera, esta población es la que recibe todo el impacto por ruido, polvo y gases, afectando la salud de los pobladores creando un impacto no solo sobre el medio ambiente sino sobre las personas, este impacto tiene una importancia ambiental de carácter negativo y media.

9.4.2.12 Finca el Calichal



F

Localización

Localizada en el municipio de montería corregimiento San Anterito en las coordenadas planas N = 1440410 m y E = 801921 m. Se explotan lodolitas silíceas, la extracción de material se realiza por pedido, la actividad minera no es constante.

Impactos asociados

Los suelos, el paisaje y la flora son los elementos que presentan una importancia ambiental muy alta, al principio de toda actividad minera la capa vegetal y de suelo es removida para poder realizar la explotación, siendo entonces estos elementos los mas afectados por la minería.

El cambio de uso de suelo es notable en el área se practica la agricultura y la ganadería como actividad principal. El medio físico es alterado de forma drástica por la intervención en el ecosistema natural, a pesar de ser zonas que han sido intervenidas por el hombre, los nuevos ecosistemas que se fueron formado de cultivos y de ganadería son afectados

originando entonces no solo un cambio al paisaje sino también un daño a la comunidad en general.

9.4.2.13 Mina Tierra Alta.



Mina Tierra Alta

Localización

Se encuentra localizada en el municipio de Tierra Alta, en las coordenada planas N = 1394995 m y E = 784199 m, la extracción se esta realizando en terrazas con buldózer y con retroexcavadoras, el material diario que se extrae es de aproximadamente 1000 metros cúbicos en un área de una (1) hectárea, no se tiene ningún permiso minero y mucho menos licencia ambiental o plan de manejo ambiental, tampoco se tiene el mínimo de seguridad industrial para los trabajadores de la cantera.

Impactos asociados

La perdida de la capa de suelo por erosión tanto antrópica como natural así como el cambio de uso del suelo tienen importancia ambiental muy alta y de carácter negativo, se debe anotar que en estos suelos se practica la ganadería y la agricultura y en muchos lugares se esta tratando de recuperar zonas intervenidas con reforestación. La perdida de la cobertura vegetal en el área de explotación es inevitable y también tiene una importancia ambiental muy alta

9.4.2.14 Mina Nueva Granada



Mina nueva granada

Localización

Localizada en el municipio de Tierra Alta corregimiento Bonito Viento vereda Nueva Granada en las coordenadas planas N = 1395346 m y E = 796515 m. se explotan lodolitas silíceas y chert, la extracción se hace con buldózer y con retroexcavadoras, no se tiene ninguna licencia o permiso ambiental que autorice la extracción de material en esta localidad.

Impactos asociados

El suelo, el paisaje y la flora son los elementos mayormente afectados por la actividad minera; el suelo y la cobertura vegetal fueron removidos en su totalidad, solo en zonas donde no se esta realizando ninguna actividad minera se puede observar la capa de suelo, en toda la zona la erosión de la superficie es grande y así mismo el cambio de uso de suelo. Todos estos elementos presenta una importancia ambiental muy alta de carácter negativo.

En épocas de invierno el agua que corre es capturada en los bajos de la zona, estas aguas son empleadas para consumo de animales, cuando se rebosan las pozas las aguas de escorrentía corren hacia los causes naturales mas cercanos llevándo consigo sedimentos sueltos y algunos restos vegetales que son removidos por la fuerza de la corriente, la

captación de aguas tiene importancia ambiental media y la contaminación de estas importancia ambiental baja.

9.4.2.15 Cantera Pueblo Bicho



Antiguo frente de explotación Cantera Pueblo Bicho

Localización

Esta localizada en el municipio de Tierra Alta corregimiento el Caramelo, vereda Pueblo Vicho, en las coordenadas planas N = 1419926 m y E = 794315 m, fue abandonada cuando la represa Urra termino sus trabajos de construcción de infraestructura.

Impactos asociados

Los suelos, la flora y el paisaje son los elementos con mayor importancia ambiental en la cantera, la destrucción del suelo y por ende de la capa vegetal fue grande además que después de abandonar la actividad no se tuvieron medidas para recuperar la zona por el contrario la capa de suelo de la parte superior del talud es desprendida en algunos sectores inestables.

En el frente de explotación no han nacido pastos o plantas que cubran el área cambiando completamente el uso y el medio físico en que se encontraba esta localidad antes de la intervención de la actividad minera, la importancia ambiental de los impactos generados sobre el suelo, la flora y el paisaje son negativos y muy altos debido a la dificultad de la recuperación del medio ambiente en este sector.

9.4.3 Fm. Chalán – Toluviejo (Pgch)

Esta unidad explicada en el capitulo 4.5 de geología esta compuesto principalmente de calizas terrígenas con intercalaciones de margas y lodolitas.

Las explotaciones en Calizas por lo general tienen impactos visuales muy altos, dentro de este tipo de roca los taludes verticales son controlados fácilmente y pueden alcanzar grandes alturas según el grado de fracturamiento que la unidad presente y el modo en que se realice la extracción. La cobertura vegetal en este tipo de material es muy difícil de recuperar ya que los perfiles de suelo en estas unidades son muy delgados y en algunas ocasiones no existen.

En la capa de lodolitas que se encuentra dentro de esta unidad no existe una cobertura vegetal importante, esto se debe a la ausencia de perfiles de suelos ricos en materia orgánica que facilitan el crecimiento de pastos o de cultivos.

En esta formación se encuentran localizadas seis (6) explotaciones mineras

9.4.3.1 Mina El Hueso



Mina El Hueso

Localización

Se encuentra localizada en el corregimiento el hueso, en las coordenadas planas N = 1523570,816 m y E = 825156,2062 m. Se exploto lodolitas silíceas y chert que fueron utilizados como balasto para vías, actualmente s encuentra abandonada.

Impactos asociados

En este Sector los impactos ambientales con mayor importancia son el cambio de uso del suelo, alteración al medio físico y la perdida de la cobertura. Como se puede observar en la Fotografía... la zona que anteriormente era un centro de explotación se encuentra inundada, esto se debe a la falta de medidas correctivas para la recuperación de la capa de suelo después del cierre de la obra, causando un cambio de uso total del suelo.
La perdida de suelo por erosión es de importancia ambiental media, debido al escaso aporte de sedimentos por parte del talud que solo es considerable en épocas de lluvia.

El agua estancada es utilizada por los campesinos del área para riego y para la alimentación de animales domésticos, se observa que esta agua es turbia, causado por el aporte de material generado por procesos erosivos del talud y las zonas adyacentes.

9.4.3.2 Cantera El Cubano.



Panorámica de la cantera el cubano.



Frente de explotación de la cantera el Cubano.

Localización

Esta localizada en el municipio de Cienaga de Oro, corregimiento la Arena en las coordenadas planas N = 1470069 m y E = 833208 M. El material que se explota corresponde a calizas bioblasticas, empleadas como material triturado para recebo, Se utiliza dinamita para remover la caliza del frente de explotación, en algunas ocasiones tienen que triturarse debido al tamaño, se tritura con mona y pico, luego es comercializado.

Impactos asociados

Tanto el suelo como el paisaje y la flora son los elementos que presentan importancia ambiental muy alta y de carácter negativo, el cambio de uso del suelo esta ligado con la perdida de suelo por erosión, sobre todo por que después de haber empezado la actividad minera la erosión aumento a tal punto que arrastra material de partes donde no se ha intervenido, afectando no solo el suelo sino también la flora y el paisaje, la perdida de cobertura vegetal ha crecido y la destrucción de las capas de suelo y de la cobertura vegetal suman un impacto muy alto para el paisaje.

9.4.3.3 Cantera Siberia :



Frente de explotación en la cantera Siberia.

Localización

Ubicado en el corregimiento la Victoria municipio de Montería, en las coordenadas planas N = 1443319 m y E = 811489 m. El material explotado corresponde a calizas bioclásticas.

Impactos asociados

La vegetación y los complejos montañosos y colinados de la zona sirven como barrera de protección entre los diferentes frentes de explotación, las carreteras y poblaciones cercanas.

La extracción de material se realiza de distintas maneras, localmente se explota con pico y pala en taludes no muy altos, aunque el principal frente de explotación es vertical y posee 10 metros de alto. Se emplea dinamita para remover la caliza.

Todos los empleados de la cantera usan cascos y están vinculados con el seguro social, a ellos se les brindan prestaciones, salud y pensión, es la única cantera en toda la cuenca que cuenta con el mínimo de seguridad para sus trabajadores, prestándoles garantías y también capacitación en algunos cursos que se han dictado desde el principio de la actividad minera.

En los distintos frentes de explotación encontrados la capa de suelo y de cobertura vegetal ha sido removida en su totalidad ayudando así a la degradación de la zona, se presenta

entonces un impacto sobre el suelo de carácter negativo y de importancia ambiental muy alta.
El impacto generado sobre la cobertura vegetal es de importancia ambiental muy alta y de carácter negativo mostrando así el daño causado a la vegetación y a las especies vegetales y animales de la zona.

El agua presenta una importancia ambiental media y baja para los factores de vertimiento y contaminación respectivamente, el vertimiento se consideró partiendo de las aguas que corren por estas zonas en épocas de lluvias y la contaminación se evaluó con la posibilidad de contaminación tanto por sedimentos sueltos de la piedra caliza, como por aguas que se presentan entre las fracturas y que pueden estar contaminadas por la disolución de la roca.

9.4.3.4 Cantera Los Andes.



Explotación en la finca el porvenir.



Explotación de la hacienda la floresta.

Localización

Esta cantera tiene dos frentes de explotación ambos están localizados en el municipio de Montería, corregimiento de Santa Isabel, uno de ellos esta ubicado en la Finca el porvenir, en las coordenadas planas N = 1441349 m y E = 792903 m, donde se explotan calizas bioclasticas que tienen un contenido muy alto de detritos, esta ubicada a un costado del río Sinú. El otro frente se encuentra en la hacienda la Floresta en las coordenadas planas N = 1442181 m E = 792870 m, aquí se extraen calizas lumaquélicas mas cristalinas sin presencia de sedimentos de gran tamaño. Los materiales son muy variables de un sitio a otro a pesar de pertenecer a la misma formación de calizas.

Impactos asociados

Esta cantera se ubica sobre un bosque secundario que debería ser objeto de conservación, en este bosque coexisten especies de animales salvajes así como especies de plantas muy importantes que están siendo perturbadas por la actividad minera, la implementación de explosivos es importante ya que a pesar de no molestar a las comunidades cercanas esta afectando fuertemente a los animales de la zona.

Los suelos y la cobertura vegetal esta siendo arrancada de raíz destruyendo especies vegetales económicamente importantes y que no están siendo aprovechados por las personas que están extrayendo las calizas.

La alteración del medio físico es muy grande ya que el cambio total del uso de los suelos y de la actividad en la zona afecta no solo el paisaje sino a las especies animales y vegetales que están siendo obligados a abandonar su habitad natural y ser expuestos a nuevos cambios que pueden exponerlos y hacer que desaparezcan. Por estos motivos la importancia ambiental de los impactos que se generan sobre los elementos suelo, paisaje y flora son muy altos y de carácter negativo.

Las corrientes naturales de agua son intervenidas por la actividad minera siendo empleadas en la explotación para consumo y para aseo de los empleados de las cantera, esta agua puede estar siendo contaminada por las calizas al disolverse convirtiéndolas en básicas, siendo peligrosas para consumos humano, también por las partículas de suelo y de sedimentos que son arrastrados por las corrientes, estas aguas son vertidas al cause principal del río Sinú. La importancia ambiental del vertimiento y contaminación de las aguas en esta cantera son baja y muy baja respectivamente.

La generación de ruidos en la cantera afectan principalmente a las especies animales de la zona, así mismo la generación de partículas y de gases, estos componentes que son arrojados a la atmósfera están perjudicando al medio en que viven animales salvajes, acabando con su habitat natural y con su posibilidad de vida en la zona, por estos motivos la importancia ambiental del impacto que se da sobre el aire es negativo y de importancia ambiental media.

Lo anteriormente expuesto es el motivo por el cual los animales de la zona migran a lugares donde la intervención antrópica es menor o nula, dada las características del área no existen otros lugares diferentes al amplio bosque en el que se encuentran así que sino se protege la zona ellos no tendrán lugar al que puedan acudir cuando sea destruido su habitat poniendo en riesgo a los animales de la región, generando entonces un impacto negativo y de importancia ambiental media para el elemento fauna.

Los trabajadores de la cantera están sometidos al riesgo de caer debajo de los grandes bloques de roca que están débilmente sostenidos por raíces, los taludes de la explotación tienen pendientes negativas y son demasiado altos, poniendo en riesgo de accidentes a

los empleados de la zona se debe tener especial cuidado en la forma de extracción con que se esta extrayendo la caliza, en el pasado ha habido accidentes que han acabado con vidas humanas.

9.4.3.5 Cantera Gallo Crudo.



Perfil de extracción con hilo de diamante en la cantera Gallo Crudo.

Localización

Esta localizada en el municipio de Montería corregimiento Santa Isabel vereda el Porvenir en las coordenadas planas N = 1439564 m y E = 792817 m. Se explotan calizas lumaquélicas, para adoquines y baldosas. No se tienen ninguna medida de seguridad para los trabajadores como la implementación de cascos u otros equipos, ni siquiera hay luz constantemente y dentro de la explotación se trabaja con planta eléctrica. La minería en esta localidad es ilegal.

Impactos asociados

En el lugar especifico donde queda la explotación se encuentra un bosque secundario con importancia ambiental muy alta que no esta denominada como zona protegida, este bosque esta siendo destruido y con el la delgada capa de suelo y la cobertura vegetal de la zona, además el impacto visual en todo el sector es cambiado bruscamente, la perdida de suelo por erosión ha aumentado de forma alarmante así mismo el cambio de uso de una región virgen junto con la perdida de suelo.

La alteración al medio físico y la perdida de la cobertura vegetal tienen una importancia ambiental muy alta y de carácter negativo, estos son los elemento que están mayormente afectados por la minería.

El agua es vertida en épocas de lluvia al cauce principal del Río Sinú, además en algunas fracturas de la piedra caliza se encuentran líquidos que contaminan las aguas, así mismo en la implementación del hilo de diamante que es con el que se corta la piedra el agua es fundamental y esta es contaminada por pequeñas partículas de polvo que son lavadas y vertidas al Río, ocasionando un impacto ambiental de importancia negativa y media sobre el elemento agua, la población de peces y los habitantes de la zona.

9.4.3.6 Minería Santa Isabel.



Minería Santa Isabel.

Localización

Localizada en el corregimiento Santa Isabel en las coordenadas planas N = 1437741 m y E = 792475 m, en el mismo bosque secundario en el que se encuentra localizada la cantera Gallo Crudo además también explotan calizas, la diferencia entre ambas es que en esta explotación se desprenden los depósitos de pie de ladera que se encuentran a lo largo de la montaña, estos depósitos rodados son desprendidos de la superficie con ayuda de un buldózer y luego son llevados hasta la trituradora, el material triturado por lo general es comercializado en la región como material de recebo. La minería en esta zona es ilegal.

Impactos asociados

Al encontrarse ubicada sobre un bosque secundario se destruye toda la capa de suelo tanto por la actividad minera como por el incremento en la erosión, además la cobertura vegetal se pierde completamente por la actividad minera, modificando el medio físico y generando un impacto sobre los elementos suelo, paisaje y flora que son de carácter negativo e importancia ambiental muy alta.

Por ser en una zona de drenajes naturales en época de lluvia se vierten aguas al cauce natural del río esta agua es contaminada por los sedimentos y por restos de vegetación, el vertimiento y contaminación de las aguas tienen una importancia ambiental media y son de carácter negativo, como se trata de calizas se debe tener en cuenta que al disolverse esta convierte en básico el medio donde se encuentre.

9.4.4 Fm. Ciénaga de Oro (Pgco)

Como se explico en el capitulo 4.5 esta unidad esta compuesta principalmente por areniscas intercaladas con limolitas intensamente bioturbadas, arcillolitas, mantos de carbón y lutitas carbonosas hacia la base.

Debido a la litología que presenta esta formación en la mayoría de los sitios donde aflora la capa de suelo orgánico es muy delgada, sobre todo en los sitios donde se encuentran calizas, ya que como se había mencionado anteriormente sobre este material la capa de suelos y de cobertura es mínima.

Donde afloran los conglomerados y areniscas conglomeráticas los drenajes son muy profundos haciendo gargantas de más de 3 metros de alto y dejando ver todo el perfil de suelo, en esta unidad la capa de suelo tiene espesores poco profundos aún así se observa vegetación de rastrojos.

Existen dos explotaciones en la cuenca hidrográfica del Río Sinú:

9.4.4.1 Cantera Canta Gallo



Cantera Canta Gallo

Localización

Se encuentra localizada en el municipio de Cienaga de Oro sobre la vía que conduce de la Ye al área urbana del municipio, en las coordenadas planas N = 1470125 m y E = 838112 m. En esta cantera se explotan calizas bioclasticas con dinamita, estas calizas son trituradas para ser comercializadas, en todos los años de actividad se ha extraído material de muchos sitios dentro de la finca, los lugares que han sido abandonados quedan sin ninguna medida correctiva para la recuperación de la zona dejando entonces taludes muy altos y verticales. La minería se practica ilegalmente.

Impactos asociados

Los suelos de la zona han sido degradados totalmente por el movimiento de la maquinaria y por la actividad minera en sí, con ellos también es destruida la cobertura vegetal generando impactos sobre el suelo, la flora y el paisaje de carácter negativo y de importancia ambiental muy alta, los elementos suelo y paisaje son los mas afectados por la actividad minera siendo totalmente alterados.

El vertimiento y contaminación de las aguas es de importancia ambiental media, en épocas de lluvia este elemento alcanza el mayor grado de importancia, las agua de escorrentía no son canalizadas, los drenajes han sido intervenido y la contaminación de las aguas se debe a los aceites generados por la maquinaria, sedimentos dejados por la extracción y algunos restos de plantas, que aumentan la turbidez de las aguas donde son vertidos.

9.4.4.2 Cantera el Silencio.



Cantera el Silencio.

Localización

Esta localizada en la finca el Silencio, en el municipio Bajo Grande vereda el Silencio en las coordenadas N = 1458452 m y E = 838213 m, actualmente esta abandonada. Se extrajo un conglomerado oligomictico de cuarzo lechoso, con matriz de arena media poco consolidado. Los drenajes naturales están erosionando fuertemente de tal forma que las vías y viviendas cercanas están siendo destruidos y arrasados, perjudicando la comunicación entre las fincas vecinas y entre las poblaciones cercanas.

Impactos asociados

Se encuentran restos de bitumen como parches en algunos lugares de la explotación que contaminan las aguas. Esta explotación no tiene ninguna licencia o permiso ambiental para extraer material. tampoco se tomaron medidas correctivas para recuperar la zona después del abandono de la actividad minera.
Al momento de iniciar la explotación se arraso con la cobertura vegetal y con la capa de suelo, aumentando el grado de erosión en este sector, tanto de los suelos como de los cauces naturales. Después de ser abandonados los trabajos de explotación las características de los drenajes y del sitio donde se extrajo el material cambiaron drásticamente creando entonces un impacto sobre la vida y la naturaleza, también se creó sobre el contorno y la población en general, dando como resultado que los impactos sobre el suelo, el paisaje y la flora tengan importancia ambiental muy alta y de carácter negativo tanto para el medio como para los habitantes de las poblaciones cercanas.

9.4.5 Fm. El Floral – Carmen (Pgf)

Esta unidad consiste en Lodolitas varicoloreadas con abundantes foraminíferos y areniscas hacia la base. Una descripción detallada se encuentra en el capitulo de Geología.

El perfil de suelo en esta unidad es importante; en lugares donde se encuentran bajos y las geoformas corresponden a zonas planas erosionadas, en las zonas alomadas y colinadas el perfil de suelo es mínimo permitiendo encontrar el substrato rocoso en la superficie.

Esta es la formación sobre la que se localiza el menor número de explotaciones mineras reduciendo su número a una (1):

9.4.5.1 Cantera Patio bonito.



Explotación abandonada Patio Bonito

Localización

Ubicada en la vía que conduce de Montería a Planeta Rica en el costado derecho en las coordenadas planas N = 1443043 m y E = 817304 m, con un área aproximada de una (1) hectárea. Actualmente esta abandonada. Se extrajo areniscas y areniscas conglomeráticas poco consolidadas y con alto contenido de cuarzo lechoso y de chert.

Impactos asociados

Los sedimentos se encuentran muy sueltos, en el frente de explotación no es posible la recuperación del suelo y mucho menos de la vegetación, aunque las zonas de poca pendiente presentan una leve recuperación de la capa de suelo y vegetación, el impacto

sobre el elemento suelo y sus componentes son de carácter negativo y de importancia ambiental muy alta para el cambio de uso y media para la perdida de suelo por erosión.

9.4.6 Brecha de Cispatá (Ngbc)

Consiste en una brecha tectónica con clastos angulares de liditas, chert, conglomerados y areniscas. La unidad esta muy deformada y presenta geoformas alomadas de pendientes muy bajas.

Esta localizada muy cerca al Río Sinú haciendo que en las zonas bajas los depósitos de este cubran la unidad enriqueciendo el perfil de suelo para la agricultura y la ganadería.
Se encuentran dos explotaciones mineras en el municipio de San Nicolas de Bari.

9.4.6.1 Mina San Nicolás de Bari.





Panorámica de la cantera desde la carretera que al pueblo San Nicolás de Bari.
Frente de explotación de la Cantera San Nicolás de Bari.

Localización

Se encuentra ubicada en el municipio de Lorica, Corregimiento de San Nicolás de Bari, en las coordenadas geográficas N = 1515819,0297 m Y E = 781930,4273 m. En este sector se explotan lodolitas silíceas y chert. La situación legal de la mina es bastante compleja ya que se ha tratado de cerrar en varias ocasiones, actualmente se encuentra en proceso de obtención de licencia ambiental.

Impactos asociados

Se observa que los impactos más fuertes son los ocasionados sobre el suelo, paisaje, vegetación y la fauna, teniendo una importancia ambiental muy alta, la actividad minera en esta zona no permite que coexistan de ninguna forma especies animales o vegetales.

No se observa ningún manejo ambiental adecuado, el talud no tiene terrazas y la explotación se realiza socavando la parte inferior del talud inestabilizando todo el macizo rocoso, el material extraído se utiliza como recebo para carreteras. Se recomienda que se construyan varias terrazas en el frente para mejorar la extracción de material en la mina y para que pueda hacerse más fácil la recuperación ambiental del terreno mitigando el impacto generado en el sector.

9.4.6.2 Mina san Nicolás.



Mina San Nicolás

Localización

La cantera esta ubicada en el municipio de Lorica corregimiento de San Nicolás de Bari, sobre la carretera que conduce a San Bernardo del Viento, en las coordenadas planas N = 1515797 m y E = 805554 m. El material encontrado en la zona corresponde a lodolitas silíceas actualmente se encuentra abandonada.

Impactos asociados

El suelo es uno de los componentes mayor afectados evidenciado esto por lo difícil que es la recuperación natural de la capa orgánica, y la forma como afecto al medio el cambio de uso en esta localidad.

El paisaje cambia bruscamente de una zona con vegetación abundante a un sector carente de cobertura vegetal en un gran porcentaje y es un área donde el transito vehicular es bastante importante para los municipios de Lorica y San Bernardo del Viento, dando como resultado una importancia ambiental negativa y muy alta al componente paisajístico.

La cobertura vegetal y la capa de suelo ha sido destruida dando un aspecto desolador y sin vida al área de explotación, en época de invierno es cuando pequeños rastrojos y pastos cubren algunos lugares donde ha logrado debilitarse la roca, presentando así un leve cambio en la cobertura vegetal, a pesar de ser de gran dificultad a la recuperación total de la zona sin medidas correctivas que sean aplicadas, mientras esto ocurre la importancia ambiental de este componente es negativo y muy alto.

9.4.7 Fm Sincelejo (Pgco)

Esta Formación esta conformada por dos miembros:
Miembro superior: Alternancia de areniscas y lutitas con presencia ocasional de yeso.
Miembro Inferior: Areniscas que gradan a conglomerados arenosos. En la parte media intercalación de lutitas.

Esta unidad se caracteriza por presentar terrenos aptos para la ganadería, la capa de suelo es delgada pero lo suficientemente rica para permitir el crecimiento de pastos, en algunos sectores ayudados por las lluvias y los drenajes los terrenos sirven para agricultura.

Dentro de esta unidad se encuentran localizadas 5 explotaciones:

9.4.7.1 Mina Loma de Piedra



Mina Loma de Piedra

Localización

Localizada en el municipio de Sampues corregimiento Loma de Piedra, en las coordenadas planas N = 1508677,256 m y E = 851963,606 m. Se explota un conglomerado polimictico con un espesor aproximado de 2 metros. La cantera se encuentra en un resguardo indígena y no esta reportada ante las autoridades competentes.

Impactos asociados

Como se puede observar en la fotografía el suelo se encuentra totalmente degradado, la recuperación de la capa vegetal será muy difícil si no se aplican medidas correctivas al momento del abandono. Los sedimentos son inconsolidados y estos corren ladera abajo con la ayuda de las lluvias y de la gravedad, debido a esto los impactos generados por el cambio de uso y la perdida de suelo por erosión tienen una importancia ambiental muy alta de carácter negativo. La contaminación del suelo por aceites u otros factores contaminantes es baja gracias a la ausencia de maquinaria pesada.

La cantera tiene una pendiente de aproximadamente 10° con dirección a un drenaje natural, favoreciendo al aporte de sedimentos y por ende a la contaminación de las aguas que son usadas para consumo humano, la importancia ambiental del vertimiento y contaminación de las aguas es alta.

El impacto generado sobre el paisaje y la flora es muy alto, debido a la perdida total de la cobertura vegetal y al impacto que esto genera sobre el medio físico, en la ladera no se

esta realizando ningún tipo de manejo ambiental, así que al momento de abandonar la actividad minera el impacto sobre el paisaje y la flora será mayor.
La fauna también presenta una importancia ambiental muy alta, evidencia de esto es la ausencia de animales que han abandonado este sector y se han desplazado a zonas con menos intervención antrópica.

9.4.7.2 Mina las Arenas.



Mina las Arenas

Localización

Se encuentra ubicada cerca al corregimiento las arenas, municipio de Sahagún, en las coordenadas planas N = 1486706,147 m y E 843296,2723 m, en un sector alejado donde no se hace posible el acceso de vehículos por el mal estado de la vía demostrando su condición de abandono. Se explotaron gravas de un conglomerado oligomictico, este se utilizó como material de recebo en las carreteras de la población.

Impactos asociados

Los impactos más importantes son los de cambio de uso y perdida de suelo por erosión que tienen una importancia ambiental muy alta y alta respectivamente, solo en épocas de lluvias crecen pastos, y la zona no puede ser utilizada para cultivos o ganadería debido a la ausencia total de la capa de suelo. La perdida de suelo por erosión es alta, la pendiente y el material que se encuentra poco consolidado facilitan la remoción y el carcavamiento del frente de explotación.

La perdida de la cobertura vegetal genera un impacto que tiene una importancia ambiental muy alta esto se debe principalmente a la ausencia total de medidas para la recuperación de la flora y del suelo.

9.4.7.3 Mina la Maraña.



Vista de un antiguo frente de explotación.

Localización

Se encuentra ubicada en la finca la Maraña, en la vía que conduce del municipio de Sahagún a la vereda la Arena, las coordenadas planas de localización son: N = 1482786,134 m y E = 847742,3519 m. En esta localidad se explotan arenas y gravas, actualmente esta abandonada.

Impactos asociados

El impacto generado por la actividad minera en general es negativo, la importancia ambiental de elementos como son el suelo y la flora es muy alta debido a la ausencia de la capa orgánica de suelo. La perdida de suelo por erosión tiene una importancia ambiental media, los sedimentos están consolidados y solo en épocas de lluvia se tiene una perdida importante de material.

Al momento del abandono no se tuvo ninguna medida correctiva para la recuperación de suelos o la geomorfología de la zona, el impacto visual generado se resume en una

importancia ambiental alta para el paisaje, se debe mencionar que la explotación se encuentra ubicada sobre la vía y que hay centros rurales muy cerca de ella.

9.4.7.4 Cantera Caracoli:



Frente de explotación de la cantera, se observa la erosión.

Localización

Está localizada en el municipio de Sahagún, en las coordenadas planas N = 1481102 m y E = 846150 m. Se explotan areniscas y conglomerados poco consolidados en los que se encuentran restos de xilopalos. La seguridad de los trabajadores es mínima. Los taludes son verticales y demasiado altos, estos representan un peligro para los empleados de la cantera. La extracción de material de construcción en esta zona no esta legalizada, no se tiene ningún conocimiento de la existencia de ella.

Impactos asociados

Los suelos, el paisaje y la flora son los elementos mas afectados por el inicio de la minería, el suelo al igual que la cobertura vegetal es removido al inicio de la actividad minera, así mismo la erosión de los suelos y de la capa vegetal aumenta sobre todo en los frentes de explotación, creando entonces impactos ambientales negativos y de importancia ambiental muy alta, el paisaje es cambiado totalmente, no solo por la ausencia de la capa natural, sino también por las modificaciones al terreno como la desaparición de lomas y la presencia de escarpes verticales que son inestables y que crean un peligro tanto para los empleados como para los visitantes del sector.

El vertimiento y contaminación de las aguas tienen una importancia ambiental media y baja respectivamente, el vertimiento se evalúa ubicándose en temporada de lluvias donde las aguas de escorrentía corren por toda la cantera y luego desembocan en los cauces naturales de la zona, además todas las aguas son contaminadas por sedimento y por los aceites de los motores de la maquinaria al momento de desplazarse por la maquinaria, hay que tener en cuenta que cerca de la cantera se encuentran unos nacederos de aguas cristalinas que están siendo afectados por la explotación.

9.4.7.5 Mina abandonada sobre la vía Buena Vista – La Gallera.



Antiguo frente de explotación de la cantera abandonada sobre la vía Buena Vista - La Gallera

Localización

Esta explotación fue abandonada hace varios años, se encuentra ubicada sobre la vía destapada que conduce a la vereda Buena Vista en el municipio de Sincelejo, en las coordenadas planas N = 1515479,9922 m y E = 849088,7292 m. Las areniscas conglomeráticas que se explotaron en la zona fueron utilizadas como material de construcción por los pobladores de la región.

Impactos asociados

La perdida de suelo por erosión tiene una importancia ambiental baja, a pesar que en época de lluvias el arrastre de material es probable. El cambio de uso del suelo tiene una importancia ambiental muy alta, toda la capa de suelo orgánico fue destruida en su totalidad, actualmente un área muy importante de la explotación se encuentra cubierto

con pasto aunque la formación de suelo para agricultura es poco probable en las condiciones de abandono que se encuentra la mina.
La recuperación de la capa de suelo orgánica es muy difícil, sobre todo en el talud vertical dejado por la explotación, aún así las zonas planas se pueden emplear para pastoreo en épocas de lluvia (cuando crece pasto en la antigua cantera), el talud tiene unos 3 metros de alto.

9.4.8 Depósitos aluviales recientes (Qal)



Arroyo el Templo



Explotación de arena Río Sinú, La fe.

Sobre el cauce del río Sinú se encuentran localizadas entre la ciudad de Montería y el municipio de San Bernardo del Viento nueve (9) localidades donde se extrae arena comercialmente, y 10 explotaciones que se encuentran en arroyos y quebradas dentro de la cuenca, la gran mayoría pertenecen al municipio de San Carlos. (Ver Anexo 2)

En algunos sectores como en la vereda La Playita ubicada en el municipio de San Bernardo del Viento la arena se extrae del fondo del cauce, donde las personas se sumergen sin ningún equipo acompañados solo de un balde en el que recoge la arena, esta es llevada hasta las canoas para ser transportada a la orilla donde se efectúa su venta.
Muchas de las veredas en las que se encuentran las areneras dependen económicamente de esta actividad acompañada con la pesca ocasional, solo en la localidad de Mata de Caña están organizados en una cooperativa llamada ASOARENA.

Hay varios factores externos a la explotación que causan irregularidades en el cause del río y en la carga de sedimentos, entre ellos se encuentran las temporadas de invierno.

Otro factor importante es la puesta en marcha de la hidroeléctrica URRA I que en su normal funcionamiento ocasiona cambios drásticos en los caudales de un día para otro, impidiendo que la extracción de material se haga todos los días o constantemente, solo cuando los niveles del río disminuyen se hace posible la extracción de arena, además

como esta es transportada en canoas hasta los lugares donde llegan las volquetas se hace peligroso para las personas dedicadas a este oficio salir a desafiar las corrientes cuando los caudales son máximos.

En algunos sectores es constante la extracción de Arena debido a la demanda de este recurso, pero en otros lugares solo se extrae cuando se hacen pedidos con anticipación o en temporadas altas.

Después de analizar la información recogida en campo se observo que los impactos generados por la extracción de material de arrastre no cambian mucho de un lugar a otro, por el contrario son iguales en la mayoría de los casos, esto se debe al parecido de la forma de extracción y las condiciones de la corriente que son constantes en toda el área.

Se puede notar luego de analizar la matriz de calificación de impactos ambientales que el cambio de uso del suelo tiene una importancia ambiental baja, esto se debe a que el impacto generado por el cambio de uso es esencialmente en la construcción de vías para el desarrollo urbano del corregimiento, sin embargo aunque es bajo no deja de ser importante por que las playas o barras de arena que son empleadas para la extracción de material de arrastre del río aunque no sean utilizadas para agricultura o ganadería por sus características intrínsecas cumplen una función importante para el desarrollo del río como tal.

Solo en la arenera ubicada en Mata de Caña la contaminación es de importancia media, explicado esto por la presencia de zonas de reparaciones mecánicas.

Al momento de evaluar la perdida de suelo por erosión el principal componente que se tuvo en cuenta fue la socavación presente a ambos lados del río este fenómeno aumento gravemente después de ponerse en marcha la hidroeléctrica URRA I, se debe anotar que al momento de extraer el material de arrastre del río, este pierde carga aumentando su velocidad y por ende este busca disminuirla incrementando el grado de erosión, en las explotaciones que se visitaron no hubo quejas anteriores solo se presentaron después que se puso en marcha la producción de energía de la hidroeléctrica URRA I. Así que en general el impacto es alto por los cambios de caudal.

Las areneras producen un impacto bajo sobre el curso natural del río y la perdida de suelo por erosión en estas es alta esto por las evidencias de volcamiento de árboles y perdida de soporte del terreno a ambos lados de los cauces de los arroyos y quebradas, además la erosión en lugares como el arroyo flechas y el templo la erosión es muy alta por que se saca material dejado por la corriente a ambos lados volviendo inestable las laderas.

Cuando se realizo la identificación de impacto ambiental para el elemento agua se tuvo en cuenta la posibilidad que existe de vertimiento de aguas del mismo río por escurrimiento de la arena al momento de la extracción, por esta razón la importancia ambiental de este elemento en la actividad de extracción es baja.

La contaminación del agua se evalúo con la probabilidad que al momento de la extracción elementos ajenos al cause del río y las quebradas como residuos de saneamiento o elementos metálicos sean arrojados al cauce por este motivo la importancia ambiental en este caso es baja en algunas explotaciones como en la de Mata de Caña alcanza a tener una importancia ambiental media esto se debe a que tienen las áreas de reparaciones mecánicas de las volquetas y otras maquinarias empleadas por la población y existe la posibilidad de contaminación de aguas por aceites, y residuos mecánicos.

La única contaminación del aire que se presenta en el área es la derivada del ruido que en general es de importancia baja o media en los sectores que se encuentran dentro de las poblaciones y cerca de áreas que se utilizan para establecimientos de educación, el ruido en algunas localidades interrumpen labores como la agricultura y en general el paso de volquetas se hace por todas las avenidas de las poblaciones donde se realiza la extracción de material.

Solo en áreas donde hay mucho transito vehicular se tuvo en cuenta la generación de partículas para la evaluación de impacto ambiental, por lo que las vías son destapadas y poco transitables emanando partículas al medio ambiente.

La emanación de gases se debe al transporte del material por las volquetas que no se considera sea en proporciones grandes y significativas por esa razón no se tuvo en cuenta este criterio a la hora de hacer la evaluación de impacto ambiental para las areneras.

El impacto visual generado por la extracción de material fue el principal criterio en la realización de la evaluación de impacto ambiental del elemento paisaje, la importancia ambiental de este elemento es media, explicado por el efecto producido en la carga y transporte de la arena, por los espacios ocupados por las volquetas bloqueando el transito vehicular o ubicándose frente a escuelas.

El medio biótico también se explicara de forma conjunta, en ambos casos: la perdida de la cobertura y la migración de especies dio como resultado una importancia ambiental baja, esto se debe a que la perdida de la cobertura vegetal es afectada principalmente al momento de construir las vías, cuando se extrae material de las playas o barras o del fondo del cauce del río no se afecta para nada la cobertura vegetal ya que en estas áreas no es fácil que se generen suelos productivos solo en algunos sectores donde las zonas de extracción demoran mucho tiempo expuestas se llega a producir alguna especie de pasto o maleza muy esporádicamente, sin tener suelos, la perdida de cobertura fue evaluada por los deslizamientos o perdidas de suelo por socavación del cause que esta quitando soporte a muchos árboles y se esta llevando terrenos.

La migración de especies es de carácter negativo y de importancia ambiental baja, la razón de esto es que las especies acuáticas como algunas algas o algunos peces por la turbidez del agua y el proceso de extracción no tengan un habitat estable para su

desarrollo y empiecen a migrar a otra áreas donde su seguridad no sea afectada, la probabilidad que esto ocurra es baja pero aun así no se puede descartar totalmente por este motivo se tuvo en cuenta en este análisis.

En las Areneras encontradas a lo largo del río Sinú, de arroyos y quebradas de la cuenca se observo con preocupación la calidad de vida de las familias dedicadas a la extracción de material de arrastre, estas personas no tienen ninguna ayuda desde el punto de vista de salud ni de mejoramiento de calidad de vida, esto es bastante preocupante ya que muchas de ellas presentan infecciones o problemas en la piel debido a las condiciones de su trabajo.

No esta demás destacar la importancia que tienen estas pequeñas explotaciones a lo largo del cauce del río Sinú ya que se encuentran generando empleo para algunas familias y comunidades, a pesar de la falta de interés que se ha observado en el análisis de información existente, se han hecho estudios para el mejoramiento de la calidad de vida de los areneros de la región que no han tenido repercusiones sobre ellos, uno de estos estudios fue el realzado por URRA en el 2000.

9.5 CONCLUSIONES

En general las explotaciones de la cuenca hidrográfica del río Sinú son ilegales, pocas canteras tienen plan de manejo ambiental, permiso minero o licencia ambiental, y estas canteras no están aplicando ninguna de las medidas correctivas para la recuperación de la zona o para mitigar el impacto ambiental que están causando al medio ambiente y a las poblaciones cercanas.

Las areneras de la cuenca hidrográfica del Río Sinú no generan impactos muy importantes sobre el medio ambiente. Con la extracción de material la contaminación de las aguas y el cambio de habitat de especies animales es muy poco, el impacto mas alto que se presenta es la perdida de suelo por erosión, esta erosión de las márgenes del río y de las quebradas se presenta mas por la deforestación y por la intervención de la represa que por la extracción de arenas.

En las grandes explotaciones los taludes de los frentes son verticales y demasiado altos, no se realizan terraceos para la extracción de material y se explota de cualquier sitio perjudicando al medio físico y al habitad natural de la región.

No hay manejo adecuado de las aguas de escorrentía de la zonas de explotación, no existen canales para dirigir esta agua a sitios donde no sean contaminadas y donde no perjudiquen la extracción de material. Esta falta de manejo ayuda a la erosión de la capa de suelo en la cantera y en lugares cercanos que no han sido intervenidos por la minería.

Muchas de las explotaciones dejan grandes agujeros en las zonas de extracción ayudando esto al encharcamiento de aguas de escorrentía, esta agua no es oxigenada y son hogares propicios para la crianza de moscas y de insectos que perjudican a las comunidades vecinas, en algunos casos son contaminadas por aceites y por sedimentos de los frentes de explotación.

Hay lugares donde las aguas de escorrentía son captadas y los pobladores de la zona utilizan esta agua para cultivos y para aseo personal, por lo general están contaminadas y no deben ser empleados por la población de la zona. Esto ocurre principalmente en los lugares donde el recurso es muy escaso.

En las canteras abandonadas a pesar de no existir una recuperación del habitat para que existan especies animales es posible que algunos animales de la zona poblé estos lugares.

Las canteras abandonadas están ocasionando impactos negativos a la población, no se realizaron obras para la recuperación de la cobertura vegetal y de bs suelos o para la mitigación de los impactos que ocasiono la minería al habitat y al medio físico, por el

contrario muchos de estos lugares son sitios propicios para la cría de insectos que ocasionan problemas a la comunidad.

- Los empleados de las canteras no tienen el mínimo de seguridad para realizar sus labores, no cuentan con equipo necesario como cascos y botas, y en la mayoría de los casos no están vinculados a ninguna prestadora de servicios de salud, en algunas mina han ocurrido accidentes donde los taludes demasiado altos y verticales caen sobre los empleados, no ha habido muertos en estos accidentes, pero estos problemas deben ser solucionados.

9.6 RECOMENDACIONES

- En estos momentos las autoridades de la zona deben tomar medidas para la legalización de las canteras de la cuenca hidrográfica del Río Sinú. Aquellas canteras que tienen planes de manejo ambiental y licencias ambientales deben aplicar las medidas para mitigar los impactos que están generando al medio ambiente y a las comunidades cercanas.

- Se recomienda que en las zonas donde los taludes sobrepasan las altura permitida para la extracción de material se realicen terrazas y así tratar de proteger la vida de los empleados, además será mucho mas fácil la recuperación vegetal en terrazas que en los taludes sobre los que actualmente se esta explotando la materia prima.

- El desorden en que se realiza la explotación en una misma cantera no es una buena forma de aprovechar el material, se deben definir lugares en los que se realizara la extracción hasta agotar el material para luego dirigirse a otros sitios, no dejar abandonados lugares por mucho tiempo sin ningún manejo ambiental y luego reanudar las explotaciones ya que el material ha sido sometido a erosión y seguramente a cambiado sus características volviendo inestable la extracción en esta zona.

- Se recomienda para las explotaciones activas que se asignen sitios para la reparación de la maquinaria y así disminuir el impacto que se genera sobre el suelo.

- La construcción de canales que lleven las aguas lluvias a los drenajes naturales para evitar que estas corran libremente por la cantera, ayudan a mitigar la contaminación por aceites, la erosión de los taludes y de los lugares cercanos a la cantera, así mismo ayudara a evitar el encharcamiento de las aguas lluvias.

- Las canteras abandonadas son las mas difíciles de tratar ya que todas realizaron la extracción de forma ilegal y no hay quien responda por los daños causados al ambiente, aún así las gobernación o las autoridades de la zona pueden hacer obras para mitigar los impactos.

- A los trabajadores se les debe dar seguridad social sea del gobierno o en entidades privadas, se debe recomendar a las canteras que tengan una nomina de empleados y que estos cuenten con garantías, esto es muy difícil de cumplir sobre todo en las canteras que no presentan una actividad continua, sin embargo los empleados pueden afiliarse a los organismo de salud del estado como el sisben.

Capitulo 9. DIAGNOSTICO MINERO PRELIMINAR DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO SINU

Anexos

FICHA No. 15	EXPLOTACIONES MINERAS						
FECHA 20/10/03	COORDENADAS		MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N	W	SAN PELAYO	CARRILLO	LA FE		19 MTS
	1484550	806356					
UBICACIÓN	ARENERA LA FE						
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X		SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA		CON VOLADURA		MANUAL X		
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENA DE GRANO FINO Y MEDIO						
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X		INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES		SE EXPLOTA EN BARRAS LATERALES O EN PLAYAS DEL RÍO SINÚ				
AREA DE EXPLOTACIÓN 7 MTS			AREA DE PERMISO MINERO		RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE TIENE ESTUDIOS		
PERIODO DE EXPLOTACIÓN			INICIO HACE MASDE 15 AÑOS		VENCIMIENTO		
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL		MENSUAL		SEMANAL		
					35 MTS 3		
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL			SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.			X			
	Lic. Amb. Resolución No.						
	Otro permiso cual??						
USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO					X
		X					
AFECTACION SOBRE EL MEDIO							LA MAYORIA DE LA POBLACIÓN VIVE DE LA EXTRACCION DE ARENA

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRÁFIA : NE-SW



FICHA No. 16	EXPLOTACIONES MINERAS						
FECHA 20/10/03	COORDENADAS		MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N	W	SAN PELAYO		LA ENCARTADA		21 MTS
	1484292	806195					
UBICACIÓN	SOBRE EL RÍO SINÚ						
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X		SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA		CON VOLADURA		MANUAL X		
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENA Y GRAVA						
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X		INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES		SE EXPLOTA EN BARRAS DEL RÍO SINÚ, ESTA ACTIVIDAD ES DE SUBSISTENCIA				
AREA DE EXPLOTACIÓN MTS 2	500	AREA DE PERMISO MINERO			RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE TIENE ESTUDIOS		
PERIODO DE EXPLOTACIÓN		INICIO HACE MASDE 15 AÑOS			VENCIMIENTO		
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL		MENSUAL		SEMANAL		
					30 MTS 3		
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBI ENTAL			SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.			X			
	Lic. Amb. Resolución No.						
	Otro permiso cual??						
USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO					X
		X					
AFECTACION SOBRE EL MEDIO							LA MAYORIA DE LA POBLACIÓN VIVE DE LA EXTRACCION DE ARENA

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA NE - SW

FOTOGRÁFIA :



FICHA No. 18	EXPLOTACIONES MINERAS						
FECHA 20/10/03	COORDENADAS		MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N	W	SAN PELAYO	SAN PELAYO	EL BONGO		23 MTS
	1478997	804291					
UBICACIÓN	SOBRE EL RÍO SINÚ						
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X		SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA		CON VOLADURA		MANUAL X		
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENA DELGADA						
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X		INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES		SE EXPLOTA EN BARRAS DEL RÍO SINÚ, ESTA ACTIVIDAD ES DE SUBSISTENCIA				
AREA DE EXPLOTACIÓN MTS 2	500	AREA DE PERMISO MINERO			RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE TIENE ESTUDIOS		
PERIODO DE EXPLOTACIÓN		INICIO HACE MASDE 30 AÑOS			VENCIMIENTO		
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL		MENSUAL		SEMANAL		
					100 MTS 3		
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL			SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.			X			
	Lic. Amb. Resolución No.						
	Otro permiso cual??						
USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAIS AJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO					X
		X					
AFECTACION SOBRE EL MEDIO							LA MAYORIA DE LA POBLACIÓN VIVE DE LA EXTRACCION DE ARENA
REGISTRO FOTOGRAFICO							
NO SE TIENE REGISTRO FOTOGRAFICO							

FICHA No. 17	EXPLOTACIONES MINERAS						
FECHA 20/10/03	COORDENADAS		MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N	W	SAN PELAYO	EL OBLIGADO	EL CAÑO		25 MTS
	1482059	804728					
UBICACIÓN	SOBRE EL RÍO SINÚ						
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X		SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA		CON VOLADURA		MANUAL X		
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENA Y GRAVA						
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X		INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES		SE EXPLOTA EN BARRAS DEL RÍO SINÚ, ESTA ACTIVIDAD ES DE SUBSISTENCIA				
AREA DE EXPLOTACIÓN 1000 MTS 2	AREA DE PERMISO MINERO				RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE TIENE ESTUDIOS		
PERIODO DE EXPLOTACIÓN			INICIO HACE MASDE 30 AÑOS		VENCIMIENTO		
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL		MENSUAL		SEMANAL		
					100 MTS 3		
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL			SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.			X			
	Lic. Amb. Resolución No.						
	Otro permiso cual??						
USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO					X
		X					
AFECTACION SOBRE EL MEDIO							LA MAYORIA DE LA POBLACIÓN VIVE DE LA EXTRACCION DE ARENA

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA NNW - SSE

FOTOGRÁFIA :



FICHA No. 19	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA 20/10/03	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1495539 / W: 807417	LORICA		MATA DE CAÑA		28 MTS
UBICACIÓN	SOBRE EL RÍO SINÚ					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA	CON VOLADURA	MANUAL X			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENA					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES	SE EXPLOTA EN BARRAS DEL RÍO SIN, ESTAN ASOCIADOS A UNA COOPERATIVA LLAMADA ASOARENA				
AREA DE EXPLOTACIÓN 9000 MTS 2	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE TIENE ESTUDIOS				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO HACE 30 AÑOS	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL: 400 MTS 3			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL	SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION			
	Registro Minero No.	X				
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN / VERTIMIENTO X	FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD X
AFECTACION SOBRE EL MEDIO						LA MAYORIA DE LA POBLACIÓN VIVE DE LA EXTRACCION DE ARENA

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA NEE- SWW



FICHA No. 20	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA 20/10/03	COORDENADAS		MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N	W	LORICA	COTOCA			17 MTS
	1502735	806513					
UBICACIÓN	SOBRE EL RÍO SINÚ						
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X		SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA		CON VOLADURA		MANUAL X		
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENA GRUESA						
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X		INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES		SE EXPLOTA EN BARRAS DEL RÍO SINÚ				
AREA DE EXPLOTACIÓN MTS 2	300	AREA DE PERMISO MINERO			RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE TIENE ESTUDIOS		
PERIODO DE EXPLOTACIÓN		INICIO HACE 12 AÑOS			VENCIMIENTO		
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL		MENSUAL		SEMANAL		
					90 MTS 3		
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL			SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.			X			
	Lic. Amb. Resolución No.						
	Otro permiso cual??						
USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO					X
		X					
AFECTACION SOBRE EL MEDIO							LA MAYORIA DE LA POBLACIÓN VIVE DE LA EXTRACCION DE ARENA

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA E - W



FICHA No. 21	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA 20/10/03	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1505689 / W: 806770	LORICA	NARIÑO			20 MTS
UBICACIÓN	SOBRE EL RÍO SINÚ					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA	CON VOLADURA	MANUAL X			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENA					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
OBSERVACIONES	SE EXPLOTA EN BARRAS DEL RÍO SINÚ Y BARRAS LATERALES					
AREA DE EXPLOTACIÓN MTS 2: 100	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE TIENE ESTUDIOS				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO HACE 50 AÑOS	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL: 50 MTS 3			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL	SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION			
	Registro Minero No.	X				
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN / VERTIMIENTO X	FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD X
AFECTACION SOBRE EL MEDIO						LA MAYORIA DE LA POBLACIÓN VIVE DE LA EXTRACCION DE ARENA

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA NW- SE



FICHA No. 22	EXPLOTACIONES MINERAS						
FECHA 20/10/03	COORDENADAS		MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N	W	PURÍSIMA			ARROYO BIJAO	13 MTS
	1515508	819374					
UBICACIÓN	EN EL ARROYO BIJAO, BARRIO LA CANDELARIA						
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X		SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA		CON VOLADURA		MANUAL X		
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENA DE GRANO FINO Y MEDIO						
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X		INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES		SE SACA EL MATERIAL DEL FONDO DE LA QUEBRADA				
AREA DE EXPLOTACIÓN 30 MTS 2	AREA DE PERMISO MINERO		RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE TIENE ESTUDIOS				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO HACE MAS DE 25 AÑOS		VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL		MENSUAL		SEMANAL		
					50 MTS 3		
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL			SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.			X			
	Lic. Amb. Resolución No.						
	Otro permiso cual??						
USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO					X
		X					
AFECTACION SOBRE EL MEDIO							VARIAS DE LAS FAMILIAS VIVEN DE LA EXTRACCION DE ARENA

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA E - W



FICHA No. 24	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA 20/10/03	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1526553 / W: 795689	SAN BERNARDO DEL VIENTO		LA PLAYITA		12 MTS
UBICACIÓN	SOBRE EL RÍO SINÚ					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA	CON VOLADURA	MANUAL X			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENA DE GRANO FINO Y MEDIO					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES	SE SACA EL MATERIAL DEL FONDO DEL RIO CON BALDES Y SON TRANSPORTADOS EN CANOA HASTA LA ORILLA.				
AREA DE EXPLOTACIÓN 600 MTS 2	AREA DE PERMISO MINERO		RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE TIENE ESTUDIOS			
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO HACE 16 AÑOS		VENCIMIENTO			
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL: 125 MTS 3			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL		SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.		X			
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN	AGUA: VERTIMIENTO X	FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD X
AFECTACION SOBRE EL MEDIO							VARIAS DE LAS FAMILIAS VIVEN DE LA EXTRACCION DE ARENA

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA E - W



FICHA No. 25	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA 21/10/03	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1526553 / W: 795689	SAN CARLOS		EL RECREO	ARROYO EL RAMO	57 MTS
UBICACIÓN						
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA	CON VOLADURA	MANUAL X			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	GRAVAS Y ARENA					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO	INACTIVO X	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES	SE ESTRAE EL MATERIAL DE LAS TERRAZAS DEJADAS POR EL ARROYO				
AREA DE EXPLOTACIÓN 500 MTS 2	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE TIENE ESTUDIOS				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO 1950	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL: 7,5 MTS 3	SEMANAL			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL	SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION			
	Registro Minero No.	X				
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN / VERTIMIENTO (X)	FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD: X
AFECTACION SOBRE EL MEDIO						LAS VEREDAS QUEDAN CERCA AL AREA DE EXTRACCIÓN

REGISTRO FOTOGRAFICO





FICHA No. 26	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA 21/10/03	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1460963 / W: 828390	SAN CARLOS		SANTA ROSA	ARROYO SANTA ROSA	63 MTS
UBICACIÓN						
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA	CON VOLADURA	MANUAL X			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	GRAVAS Y ARENA					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES	SE ESTRAE EL MATERIAL DE LAS TERRAZAS DEJADAS POR EL ARROYO				
AREA DE EXPLOTACIÓN 3000 MTS 2	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE TIENE ESTUDIOS				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL: 50 MTS 3			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL	SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION			
	Registro Minero No.	X				
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN	AGUA: VERTIMIENTO X	FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD X
AFECTACION SOBRE EL MEDIO							LAS VEREDAS QUEDAN CERCA AL AREA DE EXTRACCIÓN

REGISTRO FOTOGRAFICO



FICHA No. 27	EXPLOTACIONES MINERAS						
FECHA 21/10/03	COORDENADAS		MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N	W	SAN CARLOS		SANTA ROSA	ARROYO SANTA ROSA	85 MTS
	1459702	829473					
UBICACIÓN							
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X		SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA		CON VOLADURA		MANUAL X		
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ORO, GRAVAS Y ARENA						
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X		INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES		SE ESTRAE EL MATERIAL DE LAS TERRAZAS DEJADAS POR EL ARROYO, EL ORO SE EXTRAE POR BAREQUEO EN EL CAUSE DEL ARROYO				
AREA DE EXPLOTACIÓN 500 MTS 2	AREA DE PERMISO MINERO				RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE TIENE ESTUDIOS		
PERIODO DE EXPLOTACIÓN			INICIO HACE 5 AÑOS		VENCIMIENTO		
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL		MENSUAL		SEMANAL		
					50 MTS 3 DE ARENA Y 10 GRAMOS DE ORO		
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL			SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.			X			
	Lic. Amb. Resolución No.						
	Otro permiso cual??						
USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO					X
		X					
AFECTACION SOBRE EL MEDIO							LAS VEREDAS QUEDAN CERCA AL AREA DE EXTRACCIÓN DE ARENA Y ORO

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRÁFIA NE - SW



FICHA No. 30	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA 21/10/03	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1459702 / W: 829473	SAN CARLOS	SAN MARTIN		ARROYO SAN MIGUEL	113 MTS
UBICACIÓN	ARROYO SAN MIGUEL					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA	CON VOLADURA	MANUAL X			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	GRAVAS Y ARENA					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO	INACTIVO X	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
OBSERVACIONES	SE ESTRAE EL MATERIAL DE LOS SEDIMENTOS DEJADOS POR EL ARROYO					
AREA DE EXPLOTACIÓN 200 MTS	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE TIENE ESTUDIOS				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO HACE 5 AÑOS	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL: 40 MTS 3			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL	SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION			
	Registro Minero No.	X				
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN	AGUA: VERTIMIENTO X	FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD X
AFECTACION SOBRE EL MEDIO							LAS VEREDAS QUEDAN CERCA AL AREA DE EXTRACCIÓN

REGISTRO FOTOGRAFICO



FICHA No. 38	EXPLOTACIONES MINERAS						
FECHA 21/10/03	COORDENADAS		MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N	W	MONTERIA	GARZONES			8 MTS
	1468319	804315					
UBICACIÓN	SOBRE EL RIO SINÚ						
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X		SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA		CON VOLADURA		MANUAL X		
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	GRAVAS Y ARENA						
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X		INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES		SE EXTRAE MATERIAL DE BARRAS Y PLAYS DEJADAS POR EL RÍO				
AREA DE EXPLOTACIÓN 2000 MTS 2	AREA DE PERMISO MINERO				RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE TIENE ESTUDIOS		
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO HACE 5 AÑOS				VENCIMIENTO		
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL		MENSUAL		SEMANAL		
					150 MTS 3		
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL			SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.			X			
	Lic. Amb. Resolución No.						
	Otro permiso cual??						
USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO					X
		X					
AFECTACION SOBRE EL MEDIO							LAS VEREDAS QUEDAN CERCA AL AREA DE EXTRACCIÓN
REGISTRO FOTOGRAFICO							
DIRECCION DE LA FOTOGRÁFIA NO SE TIENE REGISTRO							

FICHA No. 39	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA 21/10/03	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N 1453719 / W 825134	SAN CARLOS		FLECHAS	ARROYO FLECHAS	41 MTS
UBICACIÓN	EN EL ARROYO FLECHAS					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA	CON VOLADURA	MANUAL X			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	GUIJOS Y GRAVAS					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO X	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES	SE EXTRAE MATERIAL POR TEMPORADAS				
AREA DE EXPLOTACIÓN 5000 MTS 2	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE TIENE ESTUDIOS				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO HACE 8 AÑOS AÑOS	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL: 112 MTS 3			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL	SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION			
	Registro Minero No.					
	Lic. Amb. Resolución No.	0,278 (14/07/200)				
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA	FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO				
		X		X		X
AFECTACION SOBRE EL MEDIO						LAS VEREDAS QUEDAN CERCA AL AREA DE EXTRACCIÓN

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRÁFIA N- S



FICHA No. 61	EXPLOTACIONES MINERAS						
FECHA 21/10/03	COORDENADAS		MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N	W	BAJO GRANDE			QUEBRADA PIEDRAS	67 MTS
	1461927	839248					
UBICACIÓN	EN LA QUEBRADA PIEDRAS						
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X		SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA		CON VOLADURA		MANUAL X		
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENA FINA						
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X		INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES		SE EXTRAE MATERIAL DE LA CARGA DE FONDO DE LA QUEBRADA, HAY MUCHA EROSION EN AMBAS MARGENES DE LA QUEBRADA				
AREA DE EXPLOTACIÓN	AREA DE PERMISO MINERO				RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE TIENE ESTUDIOS		
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO 1983				VENCIMIENTO		
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL		MENSUAL		SEMANAL		
					200 MTS 3		
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL			SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.			X			
	Lic. Amb. Resolución No.						
	Otro permiso cual??						
USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO			X		X
		X					
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	AUMENTO EN LA CARGA DE SEDIMENTOS				RETIRO DE LA CAPA DE SUELO		LAS VEREDAS QUEDAN CERCA AL AREA DE EXTRACCIÓN

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRÁFIA: NW - SE



FICHA No. 60	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA 21/10/03	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1460366 / W: 839318	BAJO GRANDE			ARROYO EL TEMPLO	78 MTS
UBICACIÓN	EN EL ARROYO EL TEMPLO					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA	CON VOLADURA	MANUAL X			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENA					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES	SE EXTRAE MATERIAL DE LAS TERRAZAS QUE DEJO EL ARROYO, SE ESTA HACIENDO UNA DESVIACIÓN DEL ARROYO				
AREA DE EXPLOTACIÓN 80 MTS 2	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE TIENE ESTUDIOS				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO HACE 4 AÑOS	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL: 200 MTS 3			

SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL		SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION
	Registro Minero No.		X	
	Lic. Amb. Resolución No.			
	Otro permiso cual??			

USO DE RECURSOS	AGUA	FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO: X		X		X
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	AUMENTO EN LA CARGA DE SEDIMENTOS			RETIRO DE LA CAPA DE SUELO		LAS VEREDAS QUEDAN CERCA AL AREA DE EXTRACCIÓN

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRÁFIA: NE - SW



FICHA No. 2	EXPLOTACIONES MINERAS						
FECHA 25/09/03	COORDENADAS		MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N	E	SINCELEJO		BUENA VISTA		
	9º15,27´27,96"	75º27´15,92"					
	1515479.992	849088.7272					
UBICACIÓN	VIA BUENA VISTA LA GALLERA WP 16-17						
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X		SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X		CON VOLADURA		MANUAL X		
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENISCAS CONGLOMERATICAS						
ESTADO ACTUAL	ACTIVO		INACTIVO	ABANDONADA X	MEDIDAS CORRECTIVAS NINGUNA		
	OBSERVACIONES		EL TALUD DE LA EXPLOTACIÓN SE ENCUENTRA DESCUBIERTO				
AREA DE EXPLOTACIÓN 300 MT 2		AREA DE PERMISO MINERO			RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE TIENE ESTUDIOS		
PERIODO DE EXPLOTACIÓN			INICIO		VENCIMIENTO		
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL		MENSUAL		SEMANAL		
	NO SE SABE						
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL			SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.			EN TRAMITE LA LICENCIA AMBIENTAL			
	Lic. Amb. Resolución No.						
	Otro permiso cual??						
USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO	X		X	X	
AFECTACION SOBRE EL MEDIO			LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRÁFIA : N-S



FICHA No. 1	EXPLOTACIONES MINERAS						
FECHA 23/09/03	COORDENADAS		MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N	W	LORICA	SAN NICOLAS DE BARI			145 MTS
	9º15,295"	75º58,269"					
	1514582	803570					
UBICACIÓN							
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X		SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X		CON VOLADURA		MANUAL		
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	Mat de recevo, losolitas siliceas,chert.						
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X		INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES		SE EXTRAE MATERIAL POR TEMPORADA				
AREA DE EXPLOTACIÓN 3000 MTS 2	AREA DE PERMISO MINERO				RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE TIENE ESTUDIOS		
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO				VENCIMIENTO		
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL		MENSUAL		SEMANAL		
	NO SE SABE						
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL			SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.			EN TRAMITE LA LICENCIA AMBIENTAL			
	Lic. Amb. Resolución No.						
	Otro permiso cual??						
USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO	X		X	X	
		X					
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CUANDO LLUEVE CORE SEDIMENTO HACIA ABAJO		LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	
REGISTRO FOTOGRAFICO							
DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA N-S							





FICHA No. 3	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA 24/09/03	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 9º11´46,46" / 1508677.26 — W: 75º25´40,43" / 851963.606	SAMPUES	LOMA DE PIEDRA			
UBICACIÓN	MINA LOMA DE PIEDRA					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA	CON VOLADURA	MANUAL X			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	GRAVILLA					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES	SOLO SE EXPLOTA LA PARTE SUPERIOR DE LA FORMACIÓN, EL TERRENO TIEN 10º DE PENDIENTE, LA PENDIENTE ES DE 10º APROXIMADAMENTE				
AREA DE EXPLOTACIÓN 30000MTS 2	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: CALCULO				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL	SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION			
	Registro Minero No.	X				
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN x / VERTIMIENTO X	FAUNA Y FLORA: X	AIRE	SUELO: X	PAISAJE: X	COMUNIDAD
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CUANDO LLUEVE CORRE SEDIMENTO HACIA ABAJO	LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES	RUIDO PRODUCIDO POR EL TRANSPORTE DE MATERAL	DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA





FICHA No. 4	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA 24/09/03	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 8º57´43,57" / 1482786.13 — W: 75º27´55,82" / 847742.352	SAHAGUN	LA ARENA			
UBICACIÓN	FINCA LA MARAÑA, VIA SAHAGUN -LA ARENA					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA	CON VOLADURA	MANUAL			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	Arenas con cantos, guijos y gravas					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO	INACTIVO	ABANDONADA X	MEDIDAS CORRECTIVAS: NINGUNA		
	OBSERVACIONES	SE USÓ COMO RECEVO PARA LA CARRETERA				
AREA DE EXPLOTACIÓN 1 HECTAREA	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE TIENE ESTUDIOS				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO HACE 1 AÑO	VENCIMIENTO HACE 10 MESES				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL			
	NO SE SABE					
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL	SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION			
	Registro Minero No.	X	SE CERRO POR RECOMENDACIÓN DE LA CVS			
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN / VERTIMIENTO	FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	X / X	X		X	X	
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CUANDO LLUEVE CORRE SEDIMENTOS A LAS QUEBRADAS	LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA : NE -SW





FICHA No. 5	EXPLOTACIONES MINERAS						
FECHA 24/09/03	COORDENADAS		MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N	E	SAHAGUN		LAS ARENAS		
	8º59´5,77"	75º30´21,82"					
	1486706.15	843296.272					
UBICACIÓN							
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X		SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA		CON VOLADURA		MANUAL		
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	GRAVAS, SE EXPLOTA CONGLOMERADOS, MATERAL DE CONSTRUCCIÓN						
ESTADO ACTUAL	ACTIVO		INACTIVO	ABANDONADA X	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES						
AREA DE EXPLOTACIÓN 3000 MTS2	AREA DE PERMISO MINERO				RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE TIENE ESTUDIOS		
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO: HACE 4 AÑOS				VENCIMIENTO: HACE 3 AÑOS		
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL		MENSUAL		SEMANAL		
	APROX 5000MT³						
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL			SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.			X			
	Lic. Amb. Resolución No.						
	Otro permiso cual??						
USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO	X		X	X	
		X					
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CUANDO LLUEVE CORE SEDIMENTO HACIA ABAJO		LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	
REGISTRO FOTOGRAFICO							

DIRECCION DE LA FOTOGRÁFIA : NW-SE



FICHA No. 6	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA 24/09/03	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 9º14´27,96" / 1513794.99 — W: 75º47´20,70" / 812286.702	LORICA	SAN SEBASTIAN			145 MTS
UBICACIÓN	CANTERA SAN C ARLOS					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA	MANUAL X			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	Mat de recevo, lodolitas siliceas , lodolitas calcareas, calsita, entre otros materiales de construcción					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES	no se tiene ninguna medida de seguridad, los trabajadores no tienen capasitación, no se tiene majejo de aguas residuales, , se extrae material por temporada				
AREA DE EXPLOTACIÓN 10 hectareas	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: se calcula para 5-10 años				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO Hace 35 años	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL: 10.000 mt³	MENSUAL	SEMANAL: 2700 mts3			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL	SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION			
	Registro Minero No. 275					
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					

USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO	X	X	X	X	
	X	X					

AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CUANDO LLUEVE CORE SEDIMENTO HACIA ABAJO	LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCA VEGETACIÓN	RUIDO POR MOV DE MAQUINARIA	DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	RUIDOS POR MOV DE MAQUINARIA

REGISTRO FOTO GRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRÁFIA : N-S





FICHA No. 7	EXPLOTACIONES MINERAS						
FECHA 25/09/03	COORDENADAS		MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N	E	PURÍSIMA	EL HUESO			145 MTS
	9º19´47,37"	75º40´20,68"					
	1523570.82	825156.206					
UBICACIÓN	MINA EL HUESO						
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X		SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA		CON VOLADURA		MANUAL		
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	Mat de recevo, lodolitas siliceas,chert.						
ESTADO ACTUAL	ACTIVO		INACTIVO	ABANDONADA X		MEDIDAS CORRECTIVAS NINGUNA	
	OBSERVACIONES		SE ENCUENTRA ENCHARCAMIENTO EN EL AREA DE EXPLOTACIÓN				
AREA DE EXPLOTACIÓN 4000 MTS 2	AREA DE PERMISO MINERO				RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS:		
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO				VENCIMIENTO		
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL		MENSUAL		SEMANAL		
	5400 MT³						
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL			SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.			X			
	Lic. Amb. Resolución No.						
	Otro permiso cual??						
USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO	X		X	X	
	X						
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	ENCHARCAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS		LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRÁFIA : N-S



FICHA No. 8	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA 25/09/03	COORDENADAS		MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N	W	LORICA	SAN SEBASTIAN			
	9º13´38,56"	75º47´30,05"					
	1512290.38	811974.107					
UBICACIÓN	MINA SAN SEBASTIAN						
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X		SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA		CON VOLADURA	MANUAL			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	Mat de recevo, losolitas siliceas,chert.						
ESTADO ACTUAL	ACTIVO		INACTIVO	ABANDONADA X	MEDIDAS CORRECTIVAS NINGUNA		
	OBSERVACIONES		SE ENCUENTRA ENCHARCAMIENTO EN EL AREA DE EXPLOTACIÓN				
AREA DE EXPLOTACIÓN 1500 MTS 2	AREA DE PERMISO MINERO				RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS:		
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO				VENCIMIENTO HACE 3 AÑOS		
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL		MENSUAL		SEMANAL		
	APROX 5000 MT³						
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL			SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.			X			
	Lic. Amb. Resolución No.						
	Otro permiso cual??						
USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO	X		X	X	
	X						
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	ENCHARCAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS		LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRÁFIA : N-S



FICHA No. 10	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA 25/09/03	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 9º19´57,37" / 1512290.38 — W: 75º40´20,68" / 825157.591	PURÍSIMA	EL HUESO			
UBICACIÓN	MINA EL HUESO					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA	MANUAL			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	Mat de recevo, lo dolitas siliceas y areniscas lodosas					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES					
AREA DE EXPLOTACIÓN 1000 MTS 2	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS:				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO HACE 3 MESES	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL			
			900MT³			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL	SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION			
	Registro Minero No.	X				
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN X / VERTIMIENTO X	FAUNA Y FLORA: X	AIRE	SUELO: X	PAISAJE: X	COMUNIDAD
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CORRE SEDIMENTOS CUANDO LLUEVE	LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRÁFIA : SE-NW



FICHA No. 11	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA 25/09/03	COORDENADAS		MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N	W	PURÍSIMA	EL HUESO			
	9º19´46,92"	75º40´20,55"					
	1523540.08	825156.068					
UBICACIÓN	MINA SANTA FÉ, EN LA VIA EL HUESO - MOMIL						
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X			SUBTERRANEA			
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA		CON VOLADURA		MANUAL		
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	Arena fina y lodo						
ESTADO ACTUAL	ACTIVO		INACTIVO	ABANDONADA X		MEDIDAS CORRECTIVAS NINGUNA	
	OBSERVACIONES						
AREA DE EXPLOTACIÓN 3 HECTAREAS	AREA DE PERMISO MINERO				RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS:		
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO hace 15 años				VENCIMIENTO hace 7 años		
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL		MENSUAL		SEMANAL		
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL			SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.			X			
	Lic. Amb. Resolución No.						
	Otro permiso cual??						
USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO	X		X	X	
		X					
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CORRE SEDIMENTOS CUANDO LLUEVE Y EN ALGUNOS SECTORES SE PRODUCE ENCHARCAMIENTO		LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRÁFIA : E-W



FICHA No. 13	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA 25/09/03	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 9º10´1,47" (1505773.58) / W: 75º32´11,34" (840011.601)	SAN ANDRES DE SOTAVENTO		LA ARENA		
UBICACIÓN	CANTERA LA ARENA, VIA ENTRE SAN ANDRES Y TUCHIN, MAL UBICADA					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA	MANUAL X			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENAS Y ARENAS CONGLOMERATICAS					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO	INACTIVO	ABANDONADA X	MEDIDAS CORRECTIVAS NINGUNA		
	OBSERVACIONES	SE CERRO POR RECOMENDACIÓN DE LA CVS				
AREA DE EXPLOTACIÓN 4 HECTAREAS	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS:				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO 30 ÑOS	VENCIMIENTO HACE 1 AÑO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL: 9000MT³	MENSUAL	SEMANAL			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL: Registro Minero No. / Lic. Amb. Resolución No. / Otro permiso cual??		SIN PERMISO AMBIENTAL: X	ACCION		
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN X / VERTIMIENTO X	FAUNA Y FLORA: X	AIRE	SUELO: X	PAISAJE: X	COMUNIDAD
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CORRE SEDIMENTOS CUANDO LLUEVE Y EN ALGUNOS ECTORES HAY ENCHARCAMIENTO	LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	RESERVA INDIGENA, HAY UNA ESCUELA Y CASAS ALREDEDOR

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA : N-S

FICHA No. 23	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1515797 / W: 805554	LORICA	SAN NICOLAS			27 MTS
UBICACIÓN	SOBRE LA VIA QUE VA A SAN BERNARDO DEL VIENTO					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X		SUBTERRANEA			
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA	MANUAL			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	LODOLITAS SILICIAS Y CHERT					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO	INACTIVO	ABANDONADA X	MEDIDAS CORRECTIVAS NINGUNA		
	OBSERVACIONES					
AREA DE EXPLOTACIÓN 400 MTS 2	AREA DE PERMISO MINERO		RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS:			
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO		VENCIMIENTO			
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL		SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.		X			
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN / VERTIMIENTO	FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	X / X	X		X	X	
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA NEE – SWW



FICHA No. 28	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1463456 / W: 825306	SAN CARLOS	EL RETORNO			58 MTS
UBICACIÓN	CANTERA EL RETORNO					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA	MANUAL			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	LODOLITAS SILICIAS Y CHERT					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO	INACTIVO X	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS NINGUNA		
	OBSERVACIONES					
AREA DE EXPLOTACIÓN 6000MT2	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS:				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL: 5000 MTS 3			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL	SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION			
	Registro Minero No.	X				
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA	FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN: X	X		X	X	
	VERTIMIENTO: X					
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA N - S



FICHA No. 29	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1459190 / W: 823633	SAN CARLOS	ARROYO BURGOS			66 MTS
UBICACIÓN	SAN CARLOS VIA SAN MARTIN, FINCA OLIMPIA					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA	MANUAL			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	LODOLITAS SILICIAS Y CHERT					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO	INACTIVO X	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS NINGUNA		
	OBSERVACIONES					
AREA DE EXPLOTACIÓN 5600 MTS	AREA DE PERMISO MINERO		RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: 7000 MTS3			
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO		VENCIMIENTO			
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL			
			500 MTS 3			

SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL			SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION
	Registro Minero No.			X	
	Lic. Amb. Resolución No.				
	Otro permiso cual??				

USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO	X		X	X	X
		X					

AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA N – S



FICHA No. 31	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS		MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N	W	MONTERIA	PURGATORIO			27 MTS
	1455294	805834					
	1455447	805774					
UBICACIÓN							
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X		SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X		CON VOLADURA		MANUAL		
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	LODOLITAS SILICIAS Y CHERT						
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X		INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS NINGUNA		
	OBSERVACIONES		EL BASURERO QUEDA SIGIUIENDO LA CANTERA				
AREA DE EXPLOTACIÓN 10 ha	AREA DE PERMISO MINERO				RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS:		
PERIODO DE EXPLOTACIÓN			INICIO HACE 50 AÑOS		VENCIMIENTO		
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL		MENSUAL		SEMANAL		
					1700 MTS 3		
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL			SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.						
	Lic. Amb. Resolución No.		0,0214 (26/6/98)				
	Otro permiso cual??						
USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO	X	X	X	X	
	X	X					
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES Y ENCHARCAMIENTO DE LAS AGUAS		LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES	CONTAMINACION POR LA MAQUINARIA Y POR GASES EMITIDOS DEL BASURERO	DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	
REGISTRO FOTOGRAFICO							

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA NW - SE



DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA SE - NW



FICHA No. 32	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1453055 / W: 806070	MONTERIA		LOMA GRANDE		80 MTS
UBICACIÓN	CANTERA LOMA GRANDE					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA	MANUAL			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	LODOLITAS SILICEAS, CHERT					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES					
AREA DE EXPLOTACIÓN HECTAREAS: 5	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: SE TIENE CALCULADA UNAS 10 HECTAREAS MAS				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO HACE 10 AÑOS	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL: 2000 MTS 3			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL		SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.					
	Lic. Amb. Resolución No.	00,404 (15/11/96)				
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN	AGUA: VERTIMIENTO: X	FAUNA Y FLORA: X	AIRE: X	SUELO: X	PAISAJE: X	COMUNIDAD: X
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES	CONTAMINACION POR GASES A LA ATMOSFERA	DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	RUIDO, AUMENTO EN LAS PARTICULAS DE POLVO

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA NW - SE



DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA NE – SW



FICHA No. 33	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1453844 / W: 806737	MONTERIA		LAS PULGAS		79 MTS
UBICACIÓN	CANTERA VILLA CARMEN					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA	MANUAL			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	LODOLITAS SILICEAS, CHERT					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES	TALUDES MUY ALTOS, SOCAVAN PARTE INFERIOR Y POR GRAVEDAD EL MATERIAL CAE A TIERRA, MUY INSEGURO PARA LOS TRABAJADORES				
AREA DE EXPLOTACIÓN 3 HECTAREAS	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE SABE				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO HACE 25 AÑOS	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL: 4900 MTS 3			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL	SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION			
	Registro Minero No.					
	Lic. Amb. Resolución No.	00,035 (15/02/96)				
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN / VERTIMIENTO: X	FAUNA Y FLORA: X	AIRE: X	SUELO: X	PAISAJE: X	COMUNIDAD: X
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES	CONTAMINACION POR GASES A LA ATMOSFERA	DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	RUIDO, AUMENTO EN LAS PARTICULAS DE POLVO

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA NW - N - S



DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA NW– SE



FICHA No. 34	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1443319 / W: 811489	MONTERIA	LA VICTORIA			93 MTS
UBICACIÓN	CANTERA SIBERIA					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA	MANUAL			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	CALIZAS LUMAQUELICAS					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES	SE EMPLEAN PARA CEMENTO Y PARA ADOQUINES				
AREA DE EXPLOTACIÓN 2 HECTAREAS	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: SE TIENE CALCULADO UNAS 30 HECTAREAS MAS				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO HACE 50 AÑOS	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL			
			490 MTS 3			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL	SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION			
	Registro Minero No.					
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					
	plan de manejo ambiental: 00,412 (26/11/96)					
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN / VERTIMIENTO (X)	FAUNA Y FLORA: X	AIRE: X	SUELO: X	PAISAJE: X	COMUNIDAD
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES	CONTAMINACION POR GASES A LA ATMOSFERA	DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA NE - SW



DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA N - S



FICHA No. 35	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1443043 / W: 817304	MONTERIA	PATIO BONITO			71 MTS
UBICACIÓN	SE ENCUENTRA UBICADA SOBRE LA VIA QUE CONDUCE A PLANETA RICA					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA	MANUAL			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENITAS CONGLOMERATICAS					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO	INACTIVO	ABANDONADA X	MEDIDAS CORRECTIVAS NINGUNA		
	OBSERVACIONES	NO SE TUBO NINGUNA MEDIDA DE CONTROL DESPUES DEL ABANDONO				
AREA DE EXPLOTACIÓN 1 HECTAREAS	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE SABE				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL: 490 MTS 3			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL	SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION			
	Registro Minero No.	X				
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN	AGUA: VERTIMIENTO	FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
		X			X	X	
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	EMPIEZA A VERSE PASTO E INSECTOS		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA E – W



FICHA No. 36	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1455520 / W: 800072	MONTERIA				29 MTS
UBICACIÓN	CANTERA EL SOCORRO, SE ENCUENTRA UBICADA SOBRE LA VIA A GUATEQUE					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA	MANUAL X			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENAS					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES	TALUDES MUY ALTOS Y NEGATIVOS				
AREA DE EXPLOTACIÓN 2 HECTAREAS	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE SABE				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO 20 AÑOS	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL: 200 MTS 3			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL		SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.					
	Lic. Amb. Resolución No.	00,279 (6/08/96)				
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN X / VERTIMIENTO X	FAUNA Y FLORA: X	AIRE	SUELO: X	PAISAJE: X	COMUNIDAD: X
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIDAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	SE ENCUENTRA MUY CERCA DE LA VEREDA

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA NW - SE



FICHA No. 37	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1470069 / W: 833208	CIENAGA DE ORO	LA ARENA			72 MTS
UBICACIÓN	CANTERA EL CUBANO, EN EL SECTOR LLAMADO EL CARRETO					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA	MANUAL X			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENAS					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES	TALUDES MUY ALTOS Y NEGATIVOS				
AREA DE EXPLOTACIÓN HECTAREAS 2	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE SABE				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO 40 AÑOS	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL			
			196 MTS 3			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL	SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION			
	Registro Minero No.					
	Lic. Amb. Resolución No. 00,336 (24/09/96)					
	Otro permiso cual??					

USO DE RECURSOS	AGUA	FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN / VERTIMIENTO X	X	X	X	X	X
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIDAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES	CONTAMINACIÓN POR PARTICULAS EN SUSPENCIÓN	DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	SE ENCUENTRA MUY CERCA DE LA VEREDA

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA NE - SW



DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA N - S



FICHA No. 40	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1454336 / W: 825563	SAN CARLOS		COLOMBIA		79 MTS
UBICACIÓN	FINCA MONTERREY , CANTERA MONTERREY					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA	MANUAL X			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	LODOLITAS SILICEAS					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES					
AREA DE EXPLOTACIÓN HECTAREAS 1	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE SABE				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO 5 AÑOS	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL			
			140 MTS 3			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL		SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.		X			
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA	FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN / VERTIMIENTO X	X		X	X	
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIDAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	
REGISTRO FOTOGRAFICO						

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA NE – SW



FICHA No. 41	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1473721 / W: 826526	CIENAGA DE ORO	PALMITO			15 MTS
UBICACIÓN	PALMITO					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA	MANUAL X			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENISCA CONGLOMERATICA Y ARENISCA					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO	INACTIVO	ABANDONADA X	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES					
AREA DE EXPLOTACIÓN HECTAREAS 1	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE SABE				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO 7 AÑOS	VENCIMIENTO HACE 1 AÑO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL		SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.		X			
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO	X		X	X	X
		X					
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIDAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	EN LA POBLACIÓN

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA N – S



FICHA No. 42	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1439564 / W: 792817	MONTERIA	SANTA ISABEL	EL PORVENIR		47 MTS
UBICACIÓN	CANTERA GALLO CRUDO					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA X	MANUAL			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	CALIZAS LUMAQUELICAS					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES	SE UTILIZA PARA ADOQUINES Y BALDOSAS				
AREA DE EXPLOTACIÓN HECTAREAS 1	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: NO SE SABE				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO 3 AÑOS	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL			
			10 MTS 3			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL		SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.					
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO	X	X	X	X	
		X					
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIDAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES	CONTAMINANTES A LA ATMOSFERA	DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE		

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA N - S



DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA NW - SE



FICHA No. 43	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1437741 / W: 792475	MONTERIA	SANTA ISABEL	SANTA ISABEL	RIO SINU	60 MTS
UBICACIÓN	MINERIA SANTA ISABEL					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA X	MANUAL			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	CALIZAS LUMAQUELICAS					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES	SE UTILIZA PARA TRITURADO				
AREA DE EXPLOTACIÓN 10 HECTAREAS	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: 300 AÑOS CONTINUOS A LA TASA ACTUAL DE EXPLOTACIÓN				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO 3 AÑOS	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL: 2500 MTS 3	SEMANAL			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL	SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION			
	Registro Minero No.	SE ESTA GESTIONANDO LA LICENCIA AMBIENTAL				
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN / VERTIMIENTO (X)	FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
		X		X	X	
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIDAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA N E - SW



DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA NE– SW



FICHA No. 44	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1394995 / W: 784199	TIERRA ALTA				88 MTS
UBICACIÓN						
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA X	MANUAL			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENISCAS CONGLOMERATICAS					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES	SE UTILIZA COMO MATERIAL DE CONSTRUCIÓN				
AREA DE EXPLOTACIÓN HECTAREAS: 1	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: 300 AÑOS CONTINUOS A LA TASA ACTUAL DE EXPLOTACIÓN				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO 2 AÑOS	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL: 1000 MTS3			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL	SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION			
	Registro Minero No. / Lic. Amb. Resolución No. / Otro permiso cual??	X				
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN X; VERTIMIENTO X	FAUNA Y FLORA: X	AIRE: X	SUELO: X	PAISAJE: X	COMUNIDAD
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIDAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES	CONTAMINANTES A LA ATMOSFERA	DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA N E - SW



DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA NW - SE



FICHA No. 48	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1395346 / W: 796515	TIERRA ALTA	BONITO VIENTO	NUEVA GRANADA		72 MTS
UBICACIÓN						
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA X	MANUAL			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	LODOLITAS SILICEAS, CHER					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS		
	OBSERVACIONES					
AREA DE EXPLOTACIÓN HECTAREAS 3	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS: 300 AÑOS CONTINUOS A LA TASA ACTUAL DE EXPLOTACIÓN				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO 3 AÑOS	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL: 10000 MTS3			

SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL		SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION
	Registro Minero No.		X	
	Lic. Amb. Resolución No.			
	Otro permiso cual??			

USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO	X	X	X	X	
	X						
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIDAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES	CONTAMINANTES A LA ATMOSFERA	DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA N - S



FICHA No. 50	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1458452 / W: 838213	SAHAGUN				118 MTS
UBICACIÓN	CANTERA CANTA GALLO					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA	MANUAL			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	CALIZAS LUMAQUELICAS					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO	INACTIVO	ABANDONADA X	MEDIDAS CORRECTIVAS NINGUNA		
	OBSERVACIONES	LAS VIAS ESTAN TOTALMENTE DISECTADAS POR LOS ARROYOS				
AREA DE EXPLOTACIÓN HECTAREA 4	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS:				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO HACE 2 AÑOS	VENCIMIENTO HACE 1 AÑO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL: 21000	MENSUAL	SEMANAL			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL	SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION			
	Registro Minero No.					
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN / VERTIMIENTO X	FAUNA Y FLORA: X	AIRE	SUELO: X	PAISAJE: X	COMUNIDAD
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA : NE – SW



FICHA No. 51	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1470125 / W: 838112	CIENAGA DE ORO				77 MTS
UBICACIÓN	CANTERA EL SILENCIO QUEDA UBICADA EN UNA FINCA TAMBIEN DEL NOMBRE EL SILENCIO					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA X	MANUAL			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENISCAS Y CONGLOMERADOS					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS NINGUNA		
	OBSERVACIONES	SE UTILIZA PARA BALASTRO				
AREA DE EXPLOTACIÓN HECTAREAS 1	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS:				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO HACE 25 AÑOS	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL	SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION			
	Registro Minero No. / Lic. Amb. Resolución No. / Otro permiso cual??	X				
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN / VERTIMIENTO (X)	FAUNA Y FLORA: X	AIRE	SUELO: X	PAISAJE: X	COMUNIDAD
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA : E – W



FICHA No. 52	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 846150 / W: 1481102	SAHAGUN				67 MTS
UBICACIÓN	CANTERA CARACOLI II					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA	MANUAL X			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENISCAS Y CONGLOMERADOS					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS NINGUNA		
	OBSERVACIONES	SE UTILIZA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION				
AREA DE EXPLOTACIÓN 2 HECTAREAS	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS:				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO 1987	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL			
			200 MTS 3			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL	SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION			
	Registro Minero No.	X				
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA	FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN / VERTIMIENTO X	X		X	X	X
AFECTACION SOBRE EL MEDI O	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	MUY CERCA DE LA POBLACIÓN

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA : NWW-SEE



FICHA No. 53	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1441349 / W: 792903	MONTERIA	SANTA ISABEL		RIO SINU	41 MTS
UBICACIÓN	FINCA EL PORVENIR, CANTERA LOS ANDES					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA X	MANUAL			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	CALIZAS LUMAQUELICAS					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS NINGUNA		
	OBSERVACIONES	SE UTILIZA PARA ADOQUINES Y BALDOSAS, ESTA UBICADO SOBRE UN BOSQUE SECUNDARIO, LOS TALUDES SON MUY ALTOS				
AREA DE EXPLOTACIÓN 1 HECTAREAS	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS:				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO 1999	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL: 45 - 60 MTS 3			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL		SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.					
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN X / VERTIMIENTO X	FAUNA Y FLORA: X	AIRE: X	SUELO: X	PAISAJE: X	COMUNIDAD
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES	CONTAMINACIÓN A LA ATMOSFERA	DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA : E - W



FICHA No. 54	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N 1442181 / W 792870	MONTERIA	SANTA ISABEL		RIO SINU	32 MTS
UBICACIÓN	HACIENDA LA FLORESTA, FRENTE DE EXPLOTACIÓN CANTERA LOS ANDES					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X		SUBTERRANEA			
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA X	MANUAL			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	CALIZAS LUMAQUELICAS					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS NINGUNA		
	OBSERVACIONES	SE UTILIZA PARA ADOQUINES Y BALDOSAS, ESTA UBICADO SOBRE UN BOSQUE SECUNDARIO, LOS TALUDES SON MUY ALTOS				
AREA DE EXPLOTACIÓN HECTAREAS 1	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS:				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO 1999	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL 55 - 70 MTS 3			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL: Registro Minero No.; Lic. Amb. Resolución No.; Otro permiso cual??		SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN X / VERTIMIENTO X	FAUNA Y FLORA X	AIRE X	SUELO X	PAISAJE X	COMUNIDAD
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES	CONTAMINACIÓN A LA ATMOSFERA	DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA : E - W



FICHA No. 55	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1470799 / W: 835179	CIENAGA DE ORO				81 MTS
UBICACIÓN	CANTERA EL TOPACIO, SOBRE LA VIA QUE CONDUCE DE CIENAGA A LA YE, EN LA CURVA EL PAPAYO.					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA	MANUAL X			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	CONGLOMERADO POLIMICTICO					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS NINGUNA		
	OBSERVACIONES	LOS CANTOS SON DEMACIADO GRANDES POR LO QUE NO SE RE COMIENDA LA EXTRACCIÓN				
AREA DE EXPLOTACIÓN HECTAREAS 2	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS:				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL			

SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL			SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION
	Registro Minero No.			X	
	Lic. Amb. Resolución No.				
	Otro permiso cual??				

USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO	X	X	X	X	
	X	X					

AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES	CONTAMINACIÓN A LA ATMOSFERA	DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA : E - W



FICHA No. 56	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1478517 / W: 825051	CIENAGA DE ORO		LAS BALSAS		36 MTS
UBICACIÓN	CANTERA LAS BALSAS					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA	MANUAL X			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENISCA ,ARENISCAS CONGLOMERATICAS Y CONGLOMERADOS					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS NINGUNA		
	OBSERVACIONES	SE UTILIZA COMO MATERIAL PARA CARRETERAS Y CONSTRUCCIONES				
AREA DE EXPLOTACIÓN HECTAREAS 3	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS:				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO 1990	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL			

SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL	SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION	
	Registro Minero No.	ESTA EN TRAMITE		
	Lic. Amb. Resolución No.			
	Otro permiso cual??			

USO DE RECURSOS	AGUA	FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN X / VERTIMIENTO X	X	X	X	X	X
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES	CONTAMINACIÓN A LA ATMOSFERA	DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	CAUSA DE RUIDO

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA : E - W



FICHA No.57	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA 24/10/2003	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N 1440410 / W 801921	MONTERIA	SAN ANTERITO			83 MTS
UBICACIÓN	SE ENCUENTRA UBICADA CERCA DE LA ENTRADA DEL CORREGIMIENTO SAN ANTERITO EN LA FINCA EL CALICHAL					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA	MANUAL			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	LODOLITAS SILICEAS					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO	INACTIVO X	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS NINGU NA		
	OBSERVACIONES	SE UTILIZA COMO MATERIAL PARA CARRETERAS,				
AREA DE EXPLOTACIÓN 2 HECTAREAS	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS:				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO 1995	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL			
	1000 MTS 3		1000 MTS 3			

SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL			SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION
	Registro Minero No.			X	
	Lic. Amb. Resolución No.				
	Otro permiso cual??				

USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO	X	X	X	X	
		X					

AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES	CONTAMINANTES A LA ATMOSFERA COMO POLVO	DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA : E - W



FICHA No.58	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1419926 / W: 794315	TIERRA ALTA	EL CARAMELO	PUEBLO BICHO		26 MTS
UBICACIÓN	3 - 4 KILOMETRSO DESPUES DE LA ENTRADA AL CARAMELO					
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X		SUBTERRANEA			
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA	MANUAL X			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	CONGLOMERADO POLIMICTICO					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO	INACTIVO	ABANDONADA X	MEDIDAS CORRECTIVAS NINGUNA		
	OBSERVACIONES					
AREA DE EXPLOTACIÓN 3 HECTAREAS	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS:				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO 1993	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL			

SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL			SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION
	Registro Minero No.			X	
	Lic. Amb. Resolución No.				
	Otro permiso cual??				

USO DE RECURSOS	AGUA		FAUNA Y FLORA	AIRE	SUELO	PAISAJE	COMUNIDAD
	CAPTACIÓN	VERTIMIENTO	X		X	X	
	X	X					
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES		LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA : NE - SW



FICHA No59	EXPLOTACIONES MINERAS					
FECHA	COORDENADAS	MUNICIPIO	CORREGIMIENTO	VEREDA	SUBCUENCA	ALTURA
LOCALIZACION	N: 1393196 / W: 779064	TIERRA ALTA	LA UNION	MATADERO		
UBICACIÓN						
TIPO DE MINERIA	CIELO ABIERTO X	SUBTERRANEA				
FORMA DE EXPLOTACIÓN	CON MAQUINARIA X	CON VOLADURA	MANUAL X			
MATERIAL QUE SE EXPLOTA	ARENISCA					
ESTADO ACTUAL	ACTIVO X	INACTIVO	ABANDONADA	MEDIDAS CORRECTIVAS NINGUNA		
	OBSERVACIONES					
AREA DE EXPLOTACIÓN HECTAREAS 1,5	AREA DE PERMISO MINERO	RESERVAS ESTIMADAS O PROBADAS:				
PERIODO DE EXPLOTACIÓN	INICIO 1993	VENCIMIENTO				
VOLUMEN DE EXTRACCION	ANUAL	MENSUAL	SEMANAL: 15 MTS 3			
SITUACIÓN LEGAL	CON LICENCIA AMBIENTAL		SIN PERMISO AMBIENTAL	ACCION		
	Registro Minero No.		X			
	Lic. Amb. Resolución No.					
	Otro permiso cual??					
USO DE RECURSOS	AGUA: CAPTACIÓN X / VERTIMIENTO X	FAUNA Y FLORA: X	AIRE	SUELO: X	PAISAJE: X	COMUNIDAD
AFECTACION SOBRE EL MEDIO	CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	LA ACTIVIAD MINERA NO PERMITE QUE CREZCAN ARBOLES		DEGRADACIÓN DEL SUELO	ALTERACIÓN DEL PAISAJE	

REGISTRO FOTOGRAFICO

DIRECCION DE LA FOTOGRAFIA : SW - NE



Capitulo 10 AMENAZAS NATURALES EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ

TABLA DE CONTENIDO

10. AMENAZAS NATURALES EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 12
10.1 AMENAZA SÍSMICA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 13
10.1.1 Introducción 13
10.1.2 TECTÓNICA DE LA REGION 13
10.1.2.1 Fallas Regionales 14
10.1.2.2 La Cordillera Occidental 15
10.1.3 SISMICIDAD DEL TERRITORIO COLOMBIANO 17
10.1.3.1 Emplazamiento tectónico regional de la cuenca hidrográfica del río Sinú 26
10.1.4 AMENAZA SÍSMICA 36
10.1.4.1 Atenuación de las ondas sísmicas. 46
10.1.5 RESULTADOS. 89
10.1.6 AMPLIACIÓN A ORDENADAS ESPECTRALES 103
10.2 AMENAZA POR INUNDACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RÍO SINÚ 106
10.2.1 ANTECEDENTES 106
10.2.2 METODOLOGÍA 107
10.2.3 ANALISIS DE LA INFORMACION OBTENIDA 108
10.2.3.1 Climatología: 108
10.2.3.2 Cartografía 108
10.2.3.3 Geomorfología: 109
10.2.3.4 Hidrología 110
10.2.4 Modelo Hidráulico del Río Sinú 125
10.2.4.1 Introducción 125
10.2.4.2 Descripción del Software HEC-RAS 126
10.2.4.3 Configuración del modelo hidráulico del río Sinú 129
10.2.4.4 Curvas de capacidad de las ciénagas de Betancí y Grande del Bajo Sinú 130
10.2.4.5 Hidrogramas de entrada 131
10.2.4.6 Condiciones de frontera 131
10.2.4.7 Calibración del modelo 132
10.2.4.8 Verificación del modelo 135
10.2.4.9 Simulaciones Realizadas con el Modelo 136
10.2.5 Zonificación de la amenaza por inundación a escala 1: 100000. 152
10.2.5.1 Consideraciones Generales 152
10.2.5.2 Amenaza por inundación alta: 153
10.2.5.3 Amenaza por inundación media: 155

10.2.5.4 Amenaza por inundación baja: 156
10.3 AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 157
10.3.1 ANTECEDENTES 160
10.3.2 PARAMETROS PARA LA EVALUACION DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO SINU 163
10.3.2.1 Clima 163
10.3.2.2 Litología 166
10.3.2.3 Geomorfología 170
10.3.2.4 Uso y cobertura del suelo 174
10.3.2.5 Unidades de Suelos 177
10.3.2.6 Pendientes 181
10.3.2.7 Densidad de drenaje 184
10.3.3 FACTORES Y CAUSAS DE LA INESTABILIDAD DEL TERRENO EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 190
10.3.3.1 Factores internos y externos 190
10.3.3.2 Condiciones climáticas 193
10.3.3.3 Condiciones litológicas 194
10.3.3.4 Perfil de meteorización 195
10.3.3.5 Vegetación como protección a la erosión 196
10.3.4 ZONIFICACION DE AMENAZAS POR MOVIEMIENTOS EN MASA DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO SINU 197
10.3.4.1 Amenaza muy alta 198
10.3.4.2 Amenaza alta 199
10.3.4.3 Amenaza media 199
10.3.4.4 Amenaza baja 201
10.3.4.5 Amenaza muy baja 203
10.4 CONCLUSIONES 205
10.4.1 Amenaza Sísmica 205
10.4.2 Amenaza por inundación 206
10.4.3 Amenaza por Remoción en Masa 208
10.5 RECOMENDACIONES 208
10.5.1 Amenaza Sísmica 208
10.5.2 Amenaza por inundación 209
10.5.3 Amenaza por remoción en masa 210
10.5.4 Otras amenazas naturales 211
10.6 BIBLIOGRAFIA 212

INDICE DE TABLAS

TABLA . 10.1: SISMOS CON MAGNITUD MAYOR O IGUAL QUE 7.0 EN EL CATÁLOGO COLOMBIANO 26
TABLA 10.2. PARÁMETROS DE SISMICIDAD DE LAS FUENTES ACTIVAS DE COLOMBIA (ADAPTADA DE AIS, 1996) 40
TABLA 10.3. EVENTOS SÍSMICOS REGISTRADOS EN LA REGIÓN DE LA CUENCA DEL SINÚ 41
TABLA 10.4. RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN DE PARÁMETROS PARA CADA CASO ANALIZADO 83
TABLA 10.5. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LAS DIFERENTES LEYES USADAS. SE ANALIZA EL DESEMPEÑO DE DIVERSAS LEYES DE ATENUACIÓN (FILAS DE LA TABLA) CUANDO SE UTILIZAN DIVERSAS BASES DE DATOS (COLUMNAS DE LA TABLA) 84
TABLA 10.6. RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN DE PARÁMETROS PARA CADA CASO ANALIZADO 87
TABLA 10.7. LOCALIZACIÓN DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES UTILIZADAS EN EL MODELO HIDRÁULICO DEL RÍO SINÚ EN HEC-RAS 111
TABLA 10.8. ESTACIONES HIDROMÉTRICAS UTILIZADAS PARA LA AMENAZA POR INUNDACIÓN. 112
TABLA 10.9. MATRIZ DE CORRELACIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS UTILIZADAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA 113
TABLA 10.10 ESTACIONES HIDROMÉTRICAS UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS DE FRECUENCIA. 120
TABLA 10.11. RESULTADO DE LA PRUEBA EFECTUADA SOBRE LA SERIE DE CAUDAL MÁXIMO ANUAL DE LA ESTACIÓN MONTERÍA 122
TABLA 10.12. LOCALIZACIÓN DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES UTILIZADAS EN EL MODELO HIDRÁULICO DEL RÍO SINÚ EN HEC-RAS 130
TABLA 10.13. CURVA DE COTA – ÁREA – VOLUMEN PARA LA CIENAGA DE BETANCÍ. 131
TABLA 10.14. CURVA DE COTA – ÁREA – VOLUMEN PARA LA CIENAGA DE GRANDE DEL BAJO SINÚ 131
TABLA 10.15. CONDICIONES PARA LA CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO DEL RÍO SINÚ. 133
TABLA 10.16 ALTURA DE LA LÁMINA DE AGUA PARA EL EVENTO EXTREMO OCURRIDO EL 27 DE JULIO DE 2003 CUYO CAUDAL PICO REGISTRADO FUE DE 3262 M^3/S. 141
TABLA 10.17. DIFERENCIA ENTRE EL CAUDAL DE BANCA LLENA Y EL CAUDAL MÁXIMO EN LAS ESTACIONES DONDE SE PRESENTA DESBORDE DE LA PRIMERA BARRERA. 142
TABLA 10.18 ALTURA DE LA LÁMINA DE AGUA PARA LA SEGUNDA BARRERA. 142
TABLA 10.19 CAUDALES DE DESBORDE PARA CADA UNA DE LAS ESTACIONES EMPLEADAS EN LA AMENAZA POR INUNDACIÓN. 145
TABLA 10.20 CAUDALES DE DESBORDE ASOCIADOS A UN PERIODO DE RETORNO PARA CADA UNA DE LAS ESTACIONES EMPLEADAS EN LA AMENAZA POR INUNDACIÓN. 146

TABLA 10.21 ALTURAS DE LAS LAMINAS DE AGUA EN LAS ESTACIONES DONDE SE PRESENTAN DESBORDES PARA EL EVENTO OCURRIDO EN NOV DE 2001 149
TABLA 10.22 ALTURAS DE LAS LÁMINAS DE AGUA EN LAS ESTACIONES DONDE SE PRESENTAN DESBORDES PARA EL EVENTO DE JUL DE 2002 152
TABLA 10.23. RESULTADO DEL CRUCE DE MAPA DE INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA CON UNIDADES CLIMÁTICAS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 164
TABLA 10.24. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CRUCE DEL MAPA DE INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA CON LAS UNIDADES DE CLIMA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 165
TABLA 10.25. VALORES DE PESO PARA LAS UNIDADES DE CLIMAS SEGÚN DENSIDAD DE MOVIMIENTOS EN MASA 165
TABLA 10.26. CRUCE UNIDADES LITOLÓGICAS VS. INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA CON DENSIDADES PROMEDIO 167
TABLA 10.27. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CRUCE DEL MAPA DE INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA CON LAS UNIDADES LITOLÓGICAS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 168
TABLA 10.28. RESULTADO DEL CRUCE DE MAPA DE INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA CON UNIDADES LITOLÓGICAS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 169
TABLA 10.29. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CRUCE DEL MAPA DE INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA CON LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 172
TABLA 10.30. RESULTADO DEL CRUCE DE MAPA DE INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA CON UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 173
TABLA 10.31. RESULTADO DEL CRUCE DE MAPA DE INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA CON UNIDADES DE COBERTURA Y USO ACTUAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 176
TABLA 10.32. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CRUCE DEL MAPA DE INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA CON LAS UNIDADES DE COBERTURA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 177
TABLA 10.33. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CRUCE DEL MAPA DE INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA CON LAS UNIDADES DE SUELO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 179
TABLA 10.34. DENSIDADES DE MOVIMIENTOS EN MASA Y VALORES DE PESO PARA LAS UNIDADES DE SUELO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 180
TABLA 10.35. CLASIFICACIÓN UTILIZADA PARA ELABORAR EL MAPA DE PENDIENTES (CIAF, 1991) 181
TABLA 10.36. RESULTADO DEL CRUCE DE MAPAS DE DESLIZAMIENTOS Y PENDIENTES DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 182
TABLA 10.37. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CRUCE DEL MAPA DE INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA CON LAS UNIDADES DE PENDIENTES EN PORCENTAJE DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 183
TABLA 10.38. CÁLCULO DE LA LONGITUD DE DRENAJES EN CADA SUBCUENCA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ ELABORADA BAJO AMBIENTE ARCVIEW 3.3 185

TABLA 10.39. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CRUCE DEL MAPA DE INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA CON LA DENSIDAD DE DRENAJES DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 186
TABLA 10.40. RESULTADO DEL CRUCE DE MAPA DE INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA CON MICROCUENCAS Y DENSIDAD DE DRENAJES DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ..... 187
TABLA 10.41. PROCESOS DE EROSIÓN HÍDRICA Y SU CONTRIBUCIÓN A LA INESTABILIDAD DEL TERRENO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ. 202

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 10.1: PRINCIPALES FALLAS GEOLÓGICAS Y SISTEMAS DE FALLAS DE COLOMBIA Y EL OCCIDENTE DE VENEZUELA; TABOADA, FUENZALINDA, ET AL (1996) 15
FIGURA 10.2: IZQUIERDA: DISTRIBUCIÓN DE LAS FUENTES CONTINENTALES QUE GENERAN AMENAZA EN EL TERRITORIO COLOMBIANO; DERECHA: DISTRIBUCIÓN DE ZONAS DE SUBDUCCIÓN Y DE BENNIOFF EN EL TERRITORIO QUE GENERAN AMENAZA SIGNIFICATIVA 16
FIGURA 10.3. SISMICIDAD DEL SUBCONTINENTE SURAMERICANO; FUENTE USGS 18
FIGURA 10.4. DISTRIBUCIÓN DE HIPOCENTROS SÍSMICOS A NIVEL NACIONAL EN LOS ÚLTIMOS SIGLOS 20
FIGURA 10.5. DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE EPICENTROS SÍSMICOS A NIVEL NACIONAL EN LOS ÚLTIMOS SIGLOS 21
FIGURA 10.6. DISTRIBUCIÓN DE LAS MAGNITUDES MÁXIMAS DE LOS EPICENTROS SÍSMICOS A NIVEL NACIONAL EN LOS ÚLTIMOS SIGLOS 22
FIGURA 10.7. SISMICIDAD EN LA ZONA DE SUBDUCCIÓN COLOMBIANA 23
FIGURA 10.8. PLANTA Y ALZADO DE LA SISMICIDAD DE LA ZONA DE BENNIOFF Y ZONA DE SUBDUCCIÓN EN LA COSTA DEL PACÍFICO DE COLOMBIA 24
FIGURA 10.9. ZONA DE CONVERGENCIA DEL NOROCCIDENTE DE SUR AMÉRICA Y PLACAS TECTÓNICAS 28
FIGURA 10.10. CONCENTRACIÓN DE EPICENTROS Y DESARROLLO DE LÍMITE DIFUSO DE LA PLACA CARIBE 31
FIGURA 10.11. MAPA DE AMENAZA SÍSMICA DE COLOMBIA 35
FIGURA 10.12: DISTRIBUCIÓN DE LAS FUENTES QUE PUEDEN GENERAR SISMOS EN LA ZONA NORORIENTAL COLOMBIANA 37
FIGURA 10.13. DISTRIBUCIÓN DE LOS TRAZOS DE LAS FUENTES QUE PUEDEN GENERAR SISMOS EN LA ZONA DE LA CVS CUENCA DEL RÍO SINÚ. 38
FIGURA 10.14. TASAS DE EXCEDENCIA DE FUENTES PARA EL MODELO DE SISMICIDAD DE POISSON. 39
FIGURA 10.15. DISTRIBUCIÓN DE EVENTOS SÍSMICOS EN EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA .. 44
FIGURA 10.16. DISTRIBUCIÓN DE EVENTOS SÍSMICOS EN PROFUNDIDAD EN EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA. 44
FIGURA 10.17. HISTOGRAMA DE MAGNITUDES DE EVENTOS INSTRUMENTALES EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ. 45
FIGURA 10.18. SISMICIDAD DE EVENTOS INSTRUMENTALES EN LA REGIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ. 45
FIGURA 10.19. VARIACIÓN DE UNO DE LOS PARES EN EL ORIGEN 49
FIGURA 10.20. IZQUIERDA: COMBINACIONES DE CARGAS PUNTUALES PARA UN CENTRO DE DILATACIÓN; CENTRO: MISMAS CONSIDERACIONES PARA UN PAR SIMPLE; DERECHA: MISMAS CONSIDERACIONES PARA UN PAR DOBLE "MECANISMO SÍSMICO" 50

FIGURA 10.21. SISMOGRAMAS TÍPICOS EN EL CAMPO LEJANO DEBIDO AL MODELO DE PAR DOBLE. 51
FIGURA 10.22. IZQUIERDA: PATRÓN RADIACIÓN DE ONDAS P PARA MODELO DE DOBLE PAR MODULADO POR LAS ECUACIONES 11-13; DERECHA: PATRÓN DE RADIACIÓN DE ONDAS S PARA MODELO DE DOBLE PAR. 51
FIGURA 10.23 IZQUIERDA: SEMIESPACIO CON s_{12} = S; DERECHA: CORTE PROFUNDIDAD D ... 52
FIGURA 10.24. IZQUIERDA: DIAGRAMA DE FALLA RECTANGULAR DE HASKELL; DERECHA: SISTEMAS DE REFERENCIA LOCALES PARA UNA FALLA RECTANGULAR. 58
FIGURA. 10.25. ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER DE DESPLAZAMIENTO TÍPICO EN UN LUGAR CERCANO LA FALLA 61
FIGURA 10.26. ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER DE ACELERACIONES TÍPICO EN UN LUGAR CERCANO A LA FALLA. 62
FIGURA 8.27. ESPECTRO DE AMPLITUDES DE ACELERACIÓN EN CAMPO LEJANO 65
FIGURA 10.28. CRUCES DE UN NIVEL DE INTENSIDAD UMBRAL PARA UN PROCESO ESTOCÁSTICO. 68
FIGURA 10.29. CRUCES DE UN NIVEL DE INTENSIDAD UMBRAL PARA UN PROCESO ESTOCÁSTICO. DERECHA: REGIÓN FAVORABLE PARA LOS CRUCES DE X=A. 69
FIGURA 10.30. VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PARA UN PROCESO ESTACIONARIO. 72
FIGURA 10.31 VOLUMEN FAVORABLE PARA UN MÁXIMO POSITIVO EN EL INTERVALO DE TIEMPO τ+$D\tau$ 73
FIGURA 10.32. IZQUIERDA: MODELOS DE FUENTE PUNTUAL Y FUENTE FINITA PARA UNA COMBINACIÓN DE MAGNITUD Y DISTANCIA; DERECHA: LEYES DE ATENUACIÓN PARA DIFERENTES DISTANCIAS EN UNA MISMA MAGNITUD. 82
FIGURA 10.33. IZQUIERDA: MODELOS DE FUENTE PUNTUAL Y FUENTE FINITA PARA UNA COMBINACIÓN DE MAGNITUD Y DISTANCIA; DERECHA: LEYES DE ATENUACIÓN PARA DIFERENTES DISTANCIAS EN UNA MISMA MAGNITUD. 84
FIGURA 10.34. IZQUIERDA: MODELOS DE FUENTE PUNTUAL Y FUENTE FINITA PARA UNA COMBINACIÓN DE MAGNITUD Y DISTANCIA; DERECHA: LEYES DE ATENUACIÓN PARA DIFERENTES DISTANCIAS EN UNA MISMA MAGNITUD. 85
FIGURA 10.35. LEYES DE ATENUACIÓN DE A_{MAX} PARA LAS ZONAS TECTÓNICAS DEL TERRITORIO COLOMBIANO 86
FIGURA 10.36: DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA LA FUENTE BOLIVAR CON PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS 90
FIGURA 10.37: DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA LA FUENTE BOLIVAR CON PERIODO DE RETORNO DE 1000 AÑOS 90
FIGURA 10.38. DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA LA FUENTE BOLIVAR CON PERIODO DE RETORNO DE 1500 AÑOS 91
FIGURA 10.39. DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA LA FUENTE DE ARCO DE DABEIBA CON PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS 91
FIGURA 10.40. DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA LA FUENTE DE ARCO DE DABEIBA CON PERIODO DE RETORNO DE 250 AÑOS 92
FIGURA 10.41. DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA LA FUENTE DE ARCO DE DABEIBA CON PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS 93

FIGURA 10.42. DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA LA FUENTE DE ARCO DE DABEIBA CON PERIODO DE RETORNO DE 1000 AÑOS 93
FIGURA 10.43. DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA LA FUENTE DE ARCO DE DABEIBA CON PERIODO DE RETORNO DE 1500 AÑOS 94
FIGURA 10.44.: DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA LA FUENTE DE MURINDÓ CON PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS 94
FIGURA 10.45. DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA LA FUENTE DE MURINDÓ CON PERIODO DE RETORNO DE 250 AÑOS 95
FIGURA 10.46. DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA LA FUENTE DE MURINDÓ CON PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS 95
FIGURA 10.47. DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA LA FUENTE DE MURINDÓ CON PERIODO DE RETORNO DE 1000 AÑOS 96
FIGURA 10.48.: DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA LA FUENTE DE MURINDÓ CON PERIODO DE RETORNO DE 1500 AÑOS 96
FIGURA 10.49. DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA LA FUENTE DE ROMERAL CON PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS 97
FIGURA 10.50. DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA LA FUENTE DE ROMERAL CON PERIODO DE RETORNO DE 1000 AÑOS 97
FIGURA 10.51 DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA LA FUENTE DE ROMERAL CON PERIODO DE RETORNO DE 1500 AÑOS 98
FIGURA 10.52. DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA LA FUENTE DE SINÚ CON PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS 98
FIGURA 10.53. DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA LA FUENTE DE SINÚ CON PERIODO DE RETORNO DE 1000 AÑOS 99
FIGURA 10.54. DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA LA FUENTE DE SINÚ CON PERIODO DE RETORNO DE 1500 AÑOS 99
FIGURA 10.55. DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA TODAS LAS FUENTES CON PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS 100
FIGURA 10.56. DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA TODAS LAS FUENTES CON PERIODO DE RETORNO DE 250 AÑOS 100
FIGURA 10.57. DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA TODAS LAS FUENTES CON PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS 101
FIGURA 10.58. DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA TODAS LAS FUENTES CON PERIODO DE RETORNO DE 1000 AÑOS 101
FIGURA 10.59. DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM/S^2) PARA TODAS LAS FUENTES CON PERIODO DE RETORNO DE 1500 AÑOS 102
FIGURA 10.60. DISTRIBUCIÓN DE LA VELOCIDAD MÁXIMA DEL SUELO (CM/S) PARA TODAS LAS FUENTES CON PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS 102
FIGURA 10.61 DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO (CM) PARA TODAS LAS FUENTES CON PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS 103
FIGURA 10.62. LEYES DE ATENUACIÓN DE ORDENADAS ESPECTRALES PARA DIFERENTES MECANISMOS FOCALES. 105

FIGURA 10.63: ESPECTROS DE AMENAZA UNIFORME PARA DIFERENTES TIPOS DE FUENTE, PERIODOS DE RETORNO Y DIFERENTES INTENSIDADES DE INTERÉS EN EL DISEÑO DE EDIFICACIONES, SITIO MONTERÍA. 105
FIGURA 10.64. ESQUEMA DEL CAUCE Y BASINES PROPIOS DEL CAUCE DEL RÍO SINÚ 110
FIGURA 10.65 CAUDALES Y PERIODOS DE RETORNO ASOCIADOS PARA LAS ESTACIONES SOBRE EL RÍO SINÚ. 123
FIGURA 10.66 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE CAUDAL MÁXIMO MENSUAL PARA LA ESTACIÓN ANGOSTURA DE URRÁ. 124
FIGURA 10.67 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE CAUDAL MÍNIMO MENSUAL PARA LA ESTACIÓN ANGOSTURA DE URRÁ. 125
FIGURA 10.68 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS TÉRMINOS DE LA ECUACIÓN DE ENERGÍA 128
FIGURA 10.69 RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN DEL N DE MANNING (N = 0.028 EN EL FONDO DEL LECHO Y N = 0.050 EN LAS BANCAS) PARA CAUDAL BAJO. 133
FIGURA 10.70 RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN DEL N DE MANNING (N = 0.028 EN EL FONDO DEL LECHO Y N = 0.050 EN LAS BANCAS) PARA CAUDAL MEDIO. 134
FIGURA 10.71 RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN DEL N DE MANNING (N = 0.028 EN EL FONDO DEL LECHO Y N = 0.050 EN LAS BANCAS) PARA CAUDAL ALTO 134
FIGURA 10.72 RESULTADO DE LA VERIFICACIÓN DEL MODELO. 135
FIGURA 10.73. ESQUEMA DEL MODELO HIDRÁULICO CONFIGURADO EN HEC-RAS PARA EL RÍO SINÚ. 138
FIGURA 10.74 HIDROGRAMA DE ENTRADA EN ANGOSTURA DE URRÁ DEL EVENTO EXTREMO OCURRIDO EL 27 DE JULIO DE 2003 CUYO CAUDAL PICO REGISTRADO FUE DE 3262 M^3/S. 139
FIGURA 10.75 HIDROGRAMAS RESULTADO DE LA SIMULACIÓN DE LA CRECIENTE OCURRIDA EL 27 DE JULIO DE 2003 SI NO EXISTIERA EL EMBALSE DE URRÁ. 140
FIGURA 10.76 HIDROGRAMA DE ENTRADA EN ANGOSTURA DE URRÁ DEL EVENTO EXTREMO OCURRIDO EL 8 DE OCTUBRE DE 1988 CUYO CAUDAL PICO REGISTRADO FUE DE 1815 M3/S 143
FIGURA 10.77. HIDROGRAMAS RESULTADO DE LA SIMULACIÓN DE LA CRECIENTE OCURRIDA EL 8 DE OCTUBRE DE 1988. 144
FIGURA 10.78. HIDROGRAMAS RESULTADO DE LA SIMULACIÓN DE LA CRECIENTE OCURRIDA EL MES DE NOVIEMBRE DE 2001. 148
FIGURA 10.79. HIDROGRAMAS RESULTADO DE LA SIMULACIÓN DE LA CRECIENTE OCURRIDA EL MES DE JULIO DE 2002. 150
FIGURA 10.80. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL CÁLCULO DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA 158
FIGURA 10.81. MAPA CLIMÁTICO E INVENTARIO DE PROCESOS EROSIVOS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 163
FIGURA 10.82. HISTOGRAMA RESULTADO PARA LA VALORACIÓN DE LAS UNIDADES DE CLIMA EN LA AMENAZA DE MOVIMIENTOS EN MASA A ESCALA 1:100000 164
FIGURA 10.83. MAPA CLIMÁTICO CLASIFICADO CON LOS VALORES DE PESO DE ACUERDO AL CRUCE CON LE MAPA DE INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA 166

FIGURA 10.84. VISTA DE LAS UNIDADES LITOLÓGICAS E INVENTARIO DE PROCESOS EROSIVOS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ. SECTOR DEL EMBALSE DE URRÁ, MUNICIPIO DE TIERRALTA 167
FIGURA 10.85. HISTOGRAMA RESULTADO PARA LA VALORACIÓN DE LAS UNIDADES LITOLÓGICAS EN LA AMENAZA DE MOVIMIENTOS EN MASA A ESCALA 1:100000 168
FIGURA 10.86. MAPA RESULTADO DEL CRUCE DE LAS UNIDADES LITOLÓGICAS CON EL MAPA DE INVENTARIO DE PROCESOS EROSIVOS DE LA CUENCA DEL RÍO SINÚ, CLASIFICADO SEGÚN VALORES DE PESO 170
FIGURA 10.87. VISTA DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS E INVENTARIO DE PROCESOS EROSIVOS DE LA CUENCA ALTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 171
FIGURA 10.88. HISTOGRAMA RESULTADO PARA LA VALORACIÓN DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS EN LA AMENAZA DE MOVIMIENTOS EN MASA A ESCALA 1:100000 171
FIGURA 10.89. MAPA RESULTADO DEL CRUCE DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS CON EL MAPA DE INVENTARIO DE PROCESOS EROSIVOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO SINÚ, CLASIFICADO SEGÚN VALORES DE PESO 172
FIGURA 10.90. VISTA DE LAS UNIDADES DE COBERTURA ACTUAL E INVENTARIO DE PROCESOS EROSIVOS DE LA CUENCA ALTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 175
FIGURA 10.91. MAPA RESULTADO DEL CRUCE DE LAS UNIDADES DE COBERTURA ACTUAL CON EL MAPA DE INVENTARIO DE PROCESOS EROSIVOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO SINÚ, CLASIFICADO SEGÚN VALORES DE PESO 175
FIGURA 10.92. HISTOGRAMA RESULTADO PARA LA VALORACIÓN DE LAS UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL EN LA AMENAZA DE MOVIMIENTOS EN MASA A ESCALA 1:100000 176
FIGURA 10.93. VISTA DE LAS UNIDADES DE SUELO E INVENTARIO DE PROCESOS EROSIVOS DE LA CUENCA ALTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 178
FIGURA 10.94 MAPA RESULTADO DEL CRUCE DE LAS UNIDADES DE SUELO CON EL MAPA DE INVENTARIO DE PROCESOS EROSIVOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO SINÚ, CLASIFICADO SEGÚN VALORES DE PESO 178
FIGURA 10.95. HISTOGRAMA RESULTADO PARA LA VALORACIÓN DE LAS UNIDADES DE SUELO EN LA AMENAZA DE MOVIMIENTOS EN MASA A ESCALA 1:100000 179
FIGURA 10.96. VISTA DE LAS UNIDADES DE PENDIENTES E INVENTARIO DE PROCESOS EROSIVOS DE LA CUENCA ALTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 182
FIGURA 10.97. HISTOGRAMA RESULTADO PARA LA VALORACIÓN DE LAS UNIDADES DE PENDIENTE EN LA AMENAZA DE MOVIMIENTOS EN MASA A ESCALA 1:100000 183
FIGURA 10.98. MAPA RESULTADO DEL CRUCE DE LAS UNIDADES DE PENDIENTES CON EL MAPA DE INVENTARIO DE PROCESOS EROSIVOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO SINÚ, CLASIFICADO SEGÚN VALORES DE PESO 183
FIGURA 10.99. HISTOGRAMA RESULTADO PARA LA VALORACIÓN DE LAS UNIDADES DE DENSIDAD DE DRENAJES EN LA AMENAZA DE MOVIMIENTOS EN MASA A ESCALA 1:100000 185
FIGURA 10.100. VISTA DE LAS SUBCUENCAS E INVENTARIO DE PROCESOS EROSIVOS DE LA CUENCA ALTA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ 189

FIGURA 10.101. MAPA RESULTADO DEL CRUCE DE LAS SUBCUENCAS CON EL MAPA DE INVENTARIO DE PROCESOS EROSIVOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO SINÚ, CLASIFICADO SEGÚN VALORES DE PESO 189
FIGURA 10.102. HISTOGRAMA RESULTADO DE LA SUMA ALGEBRAICA ENTRE LOS MAPAS TEMÁTICOS RENOMBRADOS, NÓTESE LA DISTRIBUCIÓN DE VALORES DE PESO PARA LA ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ. 198

10. AMENAZAS NATURALES EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ

Como propósito del ordenamiento ambiental del territorio, la identificación de las amenazas naturales permite definir zonas con restricciones de uso y de manejo de acuerdo con el tipo de amenaza natural, la duración, la frecuencia y la persistencia de la misma.

La cuenca hidrográfica del río Sinú en distintas oportunidades ha sido objeto de fenómenos naturales que han ocasionado perdidas humanas y económicas, principalmente por inundaciones producidas por desbordamientos de las corrientes y por encharcamientos en épocas de altas precipitaciones.

Dentro del presente capitulo se evaluó la información existente referente a estudios y eventos de amenazas naturales ocurridos en la cuenca del río Sinú. Los estudios realizados hacen énfasis principalmente al tema de amenaza por inundación, salvo las establecidas en el mapa escala 1:250000 del Departamento de Córdoba donde se aprecia de manera general la amenaza sísmica y eólica en Córdoba, temas que incorporó el proyecto piloto de ordenamiento territorial departamental elaborado por el IGAC en el año de 1997.

Los análisis elaborados para el tema de inundaciones corresponden a estudios elaborados antes de la entrada en operación de la Hidroeléctrica Urra I, por lo cual fue necesario realizar la modelación hidráulica del río bajo esta nueva condición, con el objeto de establecer la amenaza por inundación actual. De igual forma fue necesario actualizar la red de drenaje de la cuenca y la red vial, debido a la inexistencia de cartografía actualizada en el área geográfica de la cuenca del río Sinú.

Dado el alcance de la información recopilada fue necesario realizar en este estudio un análisis de distintos tipos de amenaza bajo las condiciones actuales de la cuenca, en tal sentido se evaluó la amenaza sísmica, por fenómenos de remoción en masa y por inundación, tales análisis fueron cartografiados bajo la escala del proyecto y representaron insumos para la determinación de unidades de manejo en la zonificación ambiental de la cuenca hidrográfica del río Sinú.

10.1 AMENAZA SÍSMICA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SINÚ

10.1.1 Introducción

Aunque gran parte de la cuenca del río Sinú se localiza en nivel intermedio a la luz del mapa de amenaza sísmica elaborado para Colombia, existen zonas localizadas en la cuenca alta que se clasifican dentro de amenaza alta. Tal estudio se considera como la primera aproximación para establecer la amenaza sísmica, sin embargo, y con la intención de obtener un mejor detalle para la escala de trabajo, en el presente documento se identifican y analizan con detalle las fuentes sismogenicas que pueden tener influencia en el territorio en términos de la aceleración máxima del suelo.

El análisis es presentado mediante la derivación de espectros de amplitudes de Fourier (EAF); y el enfoque se basa en la teoría sismológica clásica y el uso de leyes de atenuación de EAF generadas para Colombia y los registros de sismicidad de las fuentes del territorio.

El resultado de este tipo de análisis son tasas de excedencia que permiten evaluar las intensidades para un periodo de retorno en términos de aceleración máxima del suelo.

El proceso es extendido geográficamente a la región de la cuenca del río Sinú para visualizar la distribución de las intensidades según la posición de las fuentes y su sismicidad con respecto a la zona de interés. Con dichas intensidades y las leyes de atenuación de aceleración de cada tipo de mecanismo focal es posible identificar para las distancias más representativas valores de magnitud y energía liberada. Variables como distancia y magnitud son usadas en la teoría sismológica para evaluar EAF de cada tipo de mecanismo focal.

10.1.2 TECTÓNICA DE LA REGION

El territorio colombiano comprende un dominio continental deformado situado en el límite de tres placas tectónicas mayores Suramericana, Nazca y Caribe. Los movimientos relativos de estas placas durante el período Cenozoico dieron origen al sistema orogénico de los Andes del Norte, compuesto por distintas cadenas de montañas separadas por valles y depresiones intramontañosas. En la actualidad las tres placas mencionadas se están acercando entre sí a velocidades variables como se ilustra en DeMets, C. Gordon, R., Argus, D. & Stein, S. 1990. “Current plate

motions". Geoph. Journ. Int., 101, pp. 425-478. 1990. Freymueller, J., Kellogg, J. & Vega, V. "Plate motions in the North Andean Region". Journ. Geoph. Res., Vol. 98, No. B12, pp. 21853-21863. 1993, lo cual constituye la causa de la actividad sísmica y tectónica registrada en nuestro territorio.

10.1.2.1 Fallas Regionales

Las principales fallas geológicas de la esquina noroccidental de Suramérica se aprecian en la figura 10.1, la tendencia general es a trazas con dirección N-S, sin embargo hay algunas fallas con alineamientos más o menos transversales a las fallas N-S. Las fallas principales y más significativas desde el punto de vista de sus posibles efectos sobre las construcciones están concentradas en un territorio limitado por la costa del Pacífico al occidente y al oriente por el piedemonte de la cordillera Oriental. De las fallas geológicas que se aprecian en la figura 10.1, las dos de mayor importancia regional son las correspondientes a los sistemas Romeral y Frontal de la Cordillera Oriental. La importancia de estos dos sistemas, además de conformar dos componentes básicos de riesgo sísmico local en una buena parte del territorio colombiano, corresponde a algunos de los aspectos anteriormente mencionados.

El cratón Suramericano comprende la plataforma continental estable situada al este de la Cordillera Oriental (i.e. Llanos Orientales de Colombia y Venezuela), de la cual hace parte el escudo Guyanés. Desde el punto de vista litológico está compuesto de rocas ígneas y metamórficas del Precámbrico, suprayacidas por rocas sedimentarias del Paleozoico, ocasionalmente con un metamorfismo de bajo grado. Este basamento presenta al nivel de las cuencas hidrográficas del Amazonas y del Orinoco, una secuencia de pliegues suaves y muy amplios de dirección vecina de N-NW, y cuyo origen podría atribuirse a un bandeo de la cobertura continental asociado con los esfuerzos compresivos que afectaron la esquina noroccidental de la placa Suramericana durante el Neógeno. Las zonas correspondientes a los sinclinales están recubiertas por una capa relativamente delgada de rocas sedimentarias del Cenozoico.

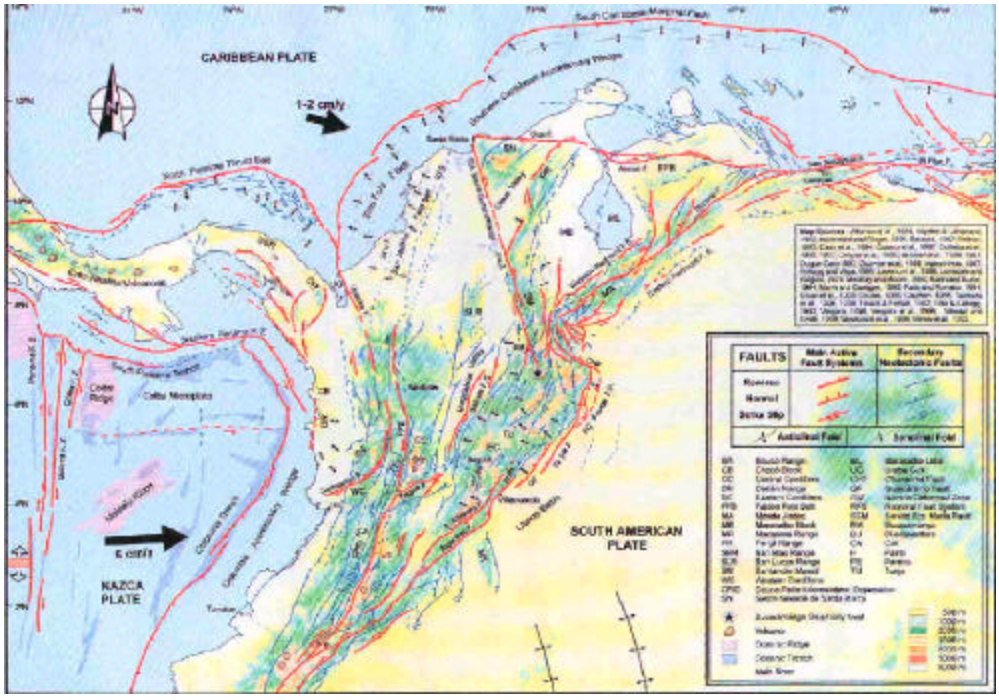


Figura 10.1: Principales fallas geológicas y sistemas de fallas de Colombia y el Occidente de Venezuela; Taboada, Fuenzalinda, et al (1996)

10.1.2.2 La Cordillera Occidental

Constituida esencialmente de rocas ofiolíticas del cretáceo superior deformadas en épocas recientes por la convergencia de Nazca en dirección del continente. Presenta un relieve relativamente estrecho cuya altitud promedio es de 2,700 m y está limitada al oriente por el Valle del Patía y del Cauca y al occidente por la faja costera del Pacífico.

- **El Flanco Occidental De La Cordillera**

Está limitado por diversos segmentos de falla inversa con buzamiento al este en dirección del relieve cordillerano. Al suroccidente de Colombia se observan los sistemas de El Tambor y Junín - Sambiambí, los cuales cabalgan con vergencia al occidente. Al norte de la cordillera aparece el segmento de falla del Atrato, el cual corresponde a un cabalgamiento con vergencia al oeste y buzamiento intermedio hacia el este. La falla del Atrato presenta una componente sinestral en el extremo norte de la Cordillera, donde se observan otros accidentes activos tales como la falla de Murindó. Este último accidente de dirección N-S corresponde a una falla de

alto ángulo al oriente y de movimiento dominante sinetrolateral (con una ligera componente inversa), que fue activada durante el sismo de Murindó en 1992.

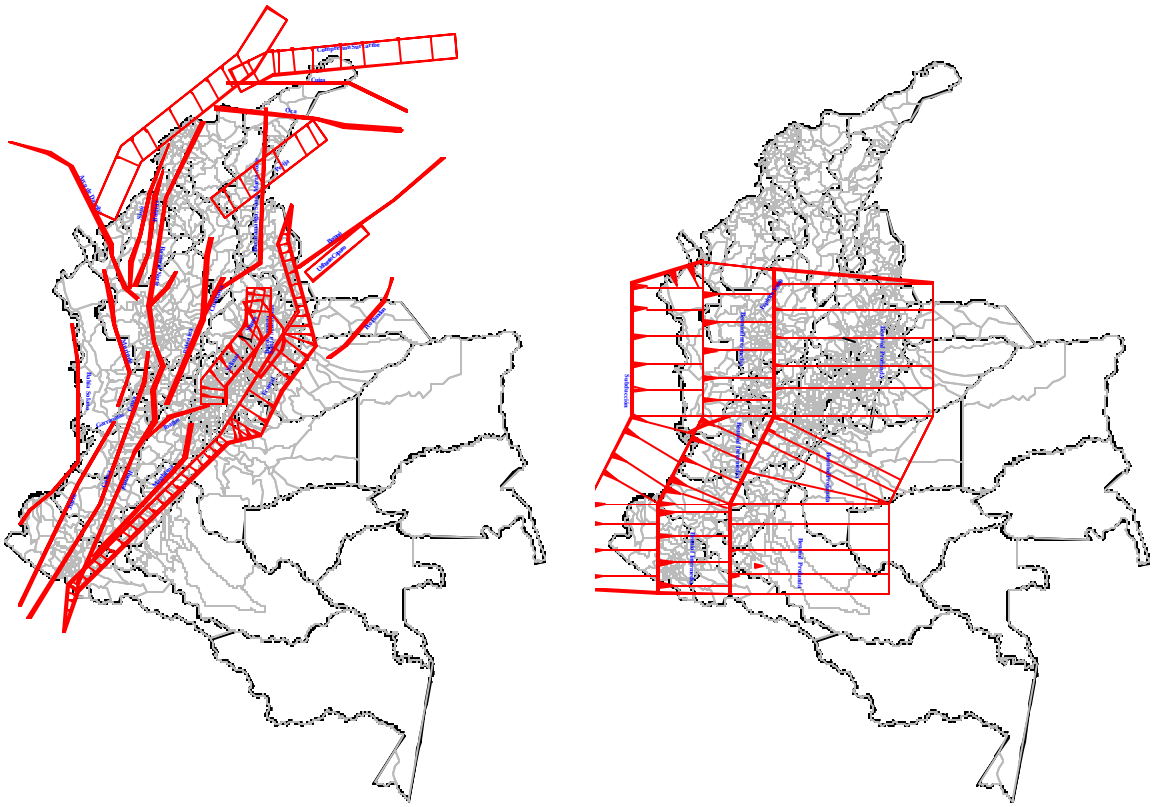


Figura 10.2: Izquierda: Distribución de las fuentes continentales que generan amenaza en el territorio colombiano; derecha: Distribución de zonas de subducción y de Bennioff en el territorio que generan amenaza significativa

- **El Cinturón Plegado Del Sinú - San Jacinto**

El Caribe Colombiano presenta, al igual que el Occidente, terrenos de afinidad oceánica que fueron acrecionados a las rocas que conformaban la antigua margen continental. Los cinturones plegados del Sinú y San Jacinto corresponden a relieves cordilleranos someros situados paralelamente a la costa Caribe de Colombia. El límite entre rocas continentales y oceánicas en este sector, corresponde a la prolongación hacia el norte del sistema de Romeral descrito anteriormente. En este sector estas fallas tienen tasas de actividad probablemente bajas en razón de la escasez de rasgos de actividad tectónica en superficie.

- **El Prisma de Acrecimiento del Caribe**

El acercamiento de la placa Caribe en dirección SE-E ha generado la formación de un prisma de acreción oceánico que presenta rasgos de actividad tectónica inversa con vergencia hacia el Caribe, la subducción de la placa Caribe bajo los cinturones plegados del Sinú y de San Jacinto es lenta y de bajo ángulo. Sin embargo, no se tiene registro de actividad sísmica que indique la geometría del plano de subducción en vecindad de la costa Caribe.

10.1.3 SISMICIDAD DEL TERRITORIO COLOMBIANO

El número de sismos con características particulares que ocurren en un sitio en determinado periodo se conoce como sismicidad. La concentración de focos de sismos en zonas determinadas y el conocimiento de la tectónica regional permiten delimitar fuentes sísmicas. Cada fuente queda definida en función de dos características: geometría y actividad. Por ello, después de que se ha definido la geometría de una fuente, los análisis probabilísticos de evaluación de amenaza sísmica requieren los datos que describan su sismicidad, es decir, parámetros que describan aproximadamente el número y tamaño de sismos con características particulares que se originan durante cierto tiempo en una región.

La estimación de sismicidad se lleva a cabo con técnicas estadísticas a partir de catálogos de sismos e información geológica. Estimar la sismicidad equivale a determinar la distribución de probabilidad del tiempo entre sismos y la distribución de sus magnitudes de manera determínistica con una ventana de información instrumental reducida (Ward, 1994).

Los análisis más comunes están divididos en dos modelos de ocurrencia, cuya diferencia principal estriba en que la ocurrencia de sismos es independiente del tiempo en el primero (modelo de Poisson), mientras que en el segundo la concentración de los sismos sí depende del tiempo (proceso de deslizamiento predecible).

Se han estudiado los datos disponibles en catálogos de sismos. Al hacerlo se ha llegado a diversas conclusiones, una de ellas es que en muchos casos el proceso estocástico de Poisson permite modelar adecuadamente la ocurrencia de sismos. En el modelo de Poisson los tiempos entre eventos se encuentran exponencialmente distribuidos. Su distribución no se altera al aumentar el tiempo sin sismos. Por ello, frecuentemente se dice que el modelo de Poisson se caracteriza por no tener memoria. De manera que la ocurrencia de un sismo el

primer día de septiembre no tiene ningún efecto en el número de sismos que pueden ocurrir en el resto del mes. Aun cuando el número total de sismos que ocurren en un mes es aleatorio, durante el transcurso del año el número total de temblores, dividido por el tiempo, será aproximadamente constante. Es decir, los sismos arriban aleatoriamente, pero a una tasa uniforme.

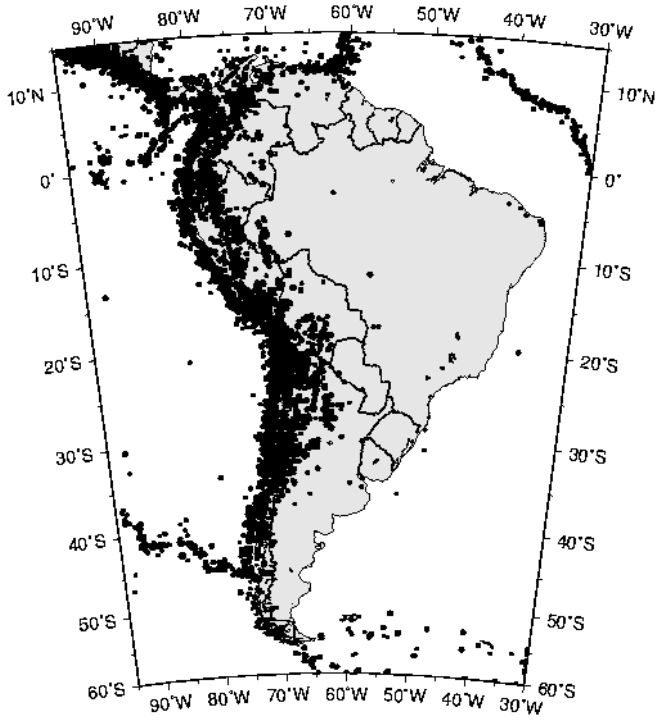


Figura 10.3. Sismicidad del subcontinente suramericano; fuente USGS

Los distintos parámetros que definen la sismicidad local se estiman principalmente a partir de los datos contenidos en catálogos, donde se indica la fecha, el sitio, la profundidad y el tamaño de los sismos que se han registrado o que se han estimado. Sin embargo, la estimación de la sismicidad está aún limitada por insuficiencia y en ciertos casos ausencia de datos. Los registros de sismos con mayor confiabilidad en Bogotá datan de cerca de 80 años para sismos grandes. En el caso de Estados Unidos el periodo es similar. Periodos que en la escala del tiempo geológico (5 mil millones de años del origen de la tierra), son muy pequeños. Por lo tanto, son insuficientes para hacer estimaciones netamente estadísticas.

Para resolver la ausencia de datos se ha recurrido principalmente a dos procedimientos complementarios, por un lado se emplean técnicas novedosas para obtener más datos de sismicidad, esto se realiza con la ayuda de la geología,

paleosismología, geodesia espacial, sismología y estadística bayesiana, es decir, la basada en el teorema hecho por el matemático llamado Bayes (Ward, 1994).

Por todo lo mencionado anteriormente, resulta fácil aceptar que el uso de los catálogos para la determinación de los parámetros de sismicidad requiere de especial cuidado, pero es necesario cuando no existen datos confiables. Por tal motivo, existen métodos para identificar los cambios producidos por el hombre en los catálogos (Habermann, 1987), que pueden provocar estimaciones erróneas de sismicidad.

Por ejemplo: Si en una región ocurrieron 50 sismos de magnitud mayor a 4, en 100 años, entonces la tasa de excedencia de la magnitud 4 es aproximadamente λ (4) = 50/100 = 0.5. El periodo de recurrencia para este mismo ejemplo, es igual a $1/\lambda$ (4) = 1/0.5 =2. Es decir, aproximadamente cada dos años ocurrirá un sismo de magnitud mayor a 4.

Las magnitudes de los sismos de subducción son considerables, habiéndose registrado cuatro sismos de magnitudes superiores o vecinas de 8.0 en el último siglo. Estos sismos, cuyos epicentros están situados al Suroccidente de Colombia (zona de Tumaco), se sitúan a lo largo de la falla que separa la placa oceánica que subduce de la placa continental suprayacente. La profundidad de estos sismos considerados “interplaca” está en el rango comprendido entre 10 y 60 Km. Nótese la presencia de sismos de profundidad mayor de 60 Km en la Zona de Subducción de Nazca y en particular bajo las cordilleras Occidental y Central de Colombia y pueden tener magnitudes superiores a 7 Ms.

Igualmente se observa una sismicidad de profundidad intermedia bajo la zona norte de la Cordillera Oriental. Esta última sismicidad se interpreta como el resultado de un proceso de subducción continental activo, bajo la cordillera.

Hipocentros de los eventos sísmicos en el lapso 1700-1999

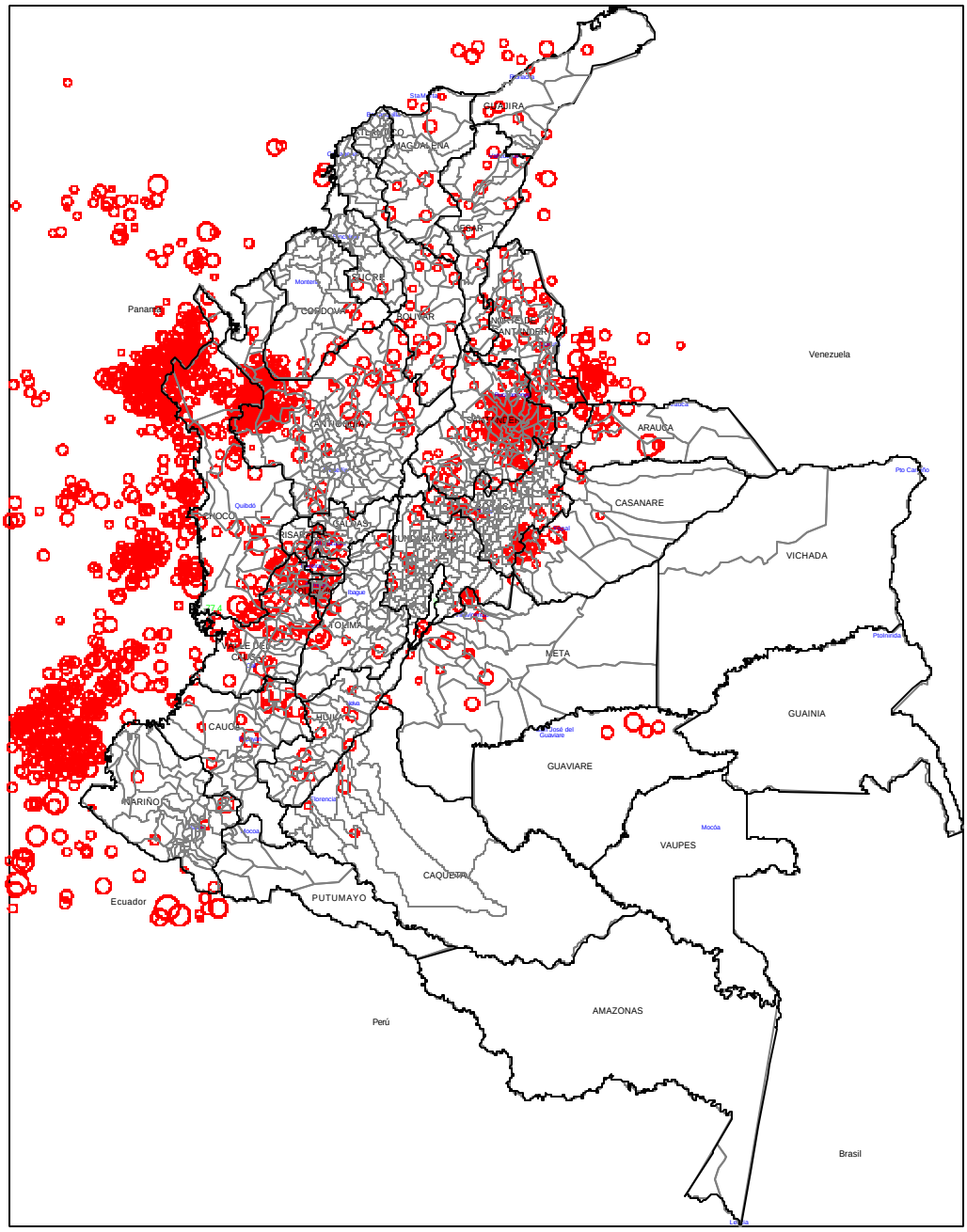


Figura 10.4. Distribución de hipocentros sísmicos a nivel nacional en los últimos siglos

Numero de eventos con magnitudes mayores de 3.5 desde 1700

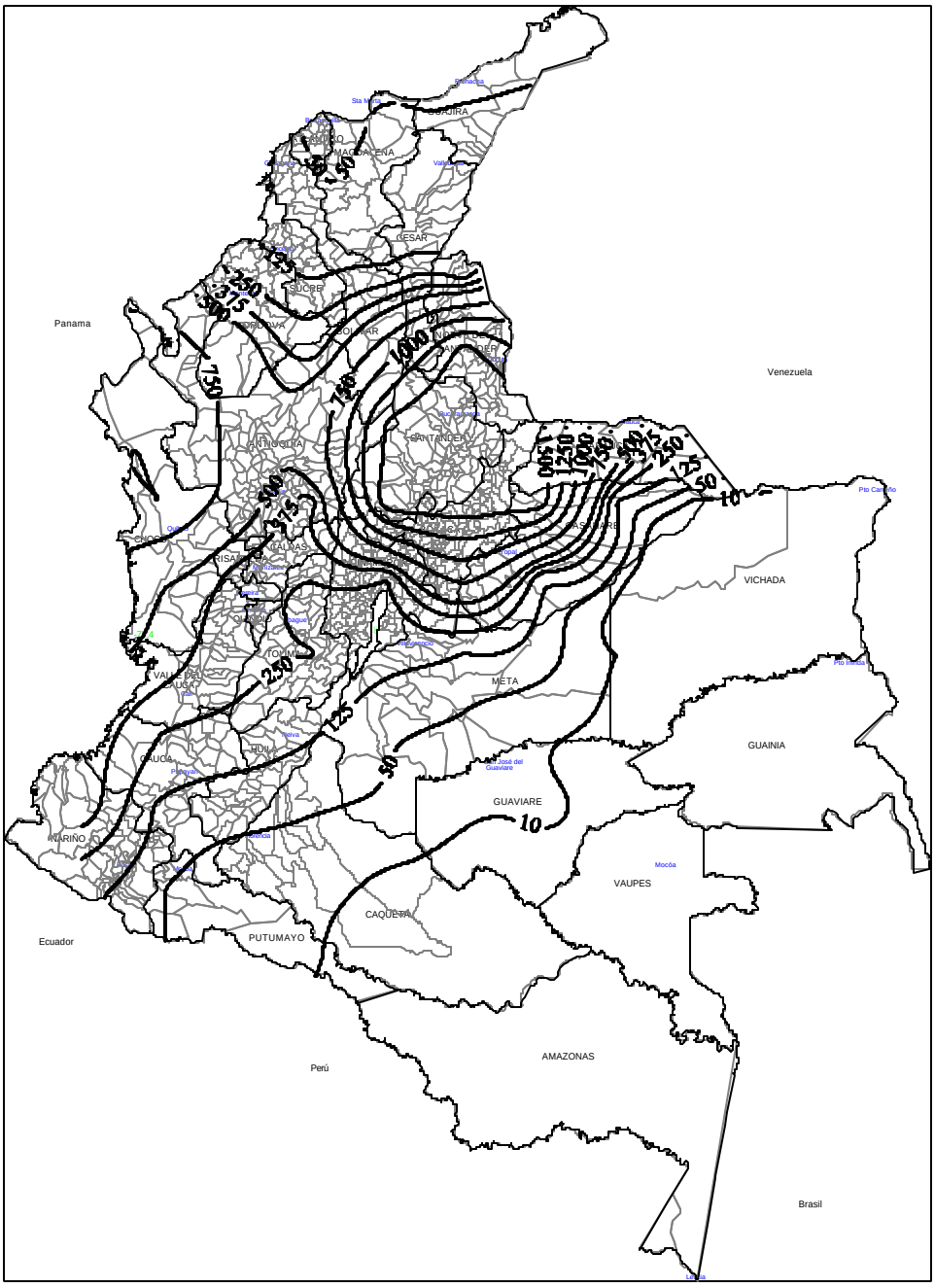


Figura 10.5. Distribución del número de epicentros sísmicos a nivel nacional en los últimos siglos

Magnitude máximas Mb en el territorio

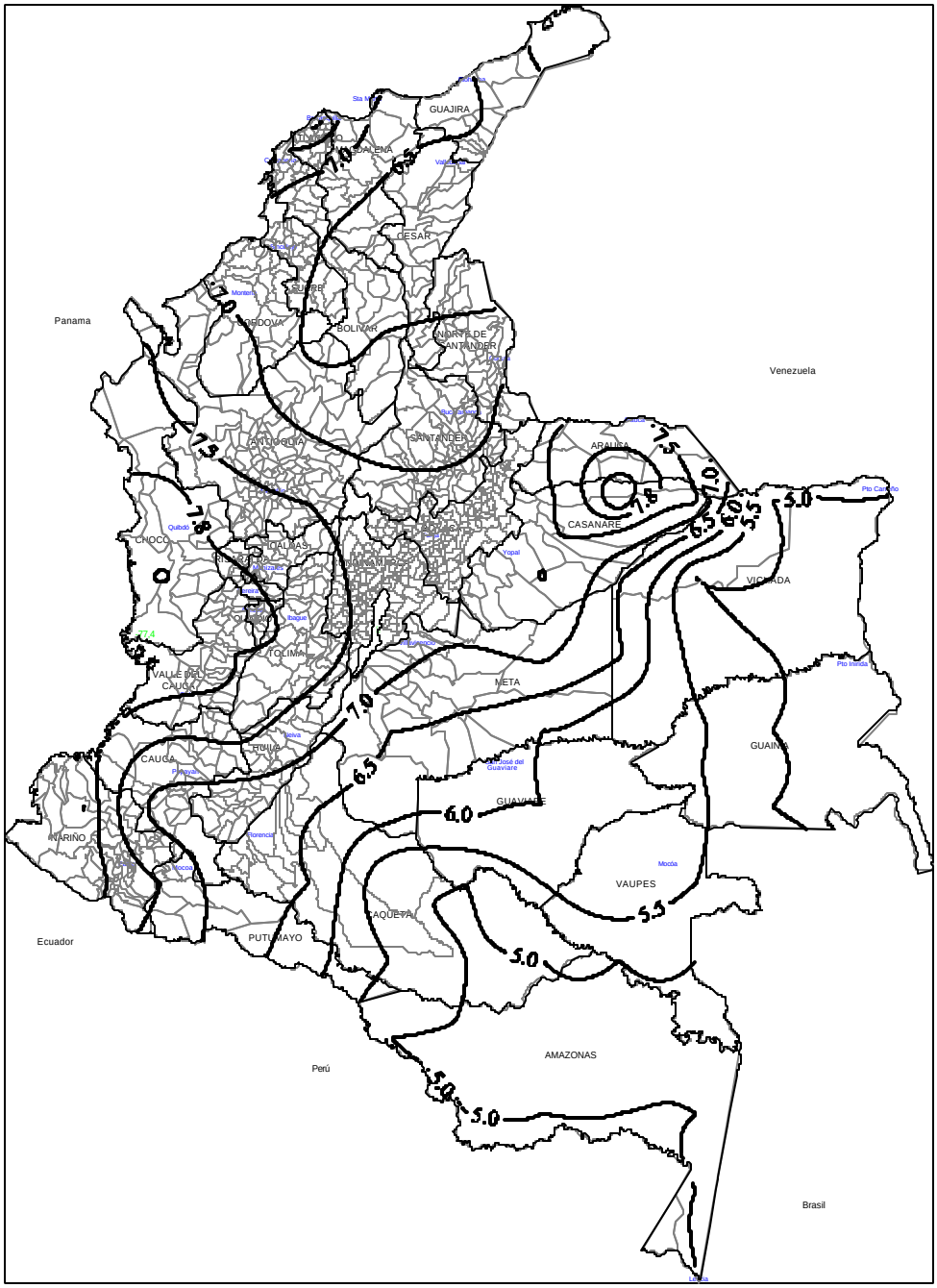


Figura 10.6. Distribución de las magnitudes máximas de los epicentros sísmicos a nivel nacional en los últimos siglos

Los sismos de corteza en el territorio Colombiano han devastado distintas regiones del País a lo largo de la historia. Se destacan entre éstos los de Honda, el Borde Llanero, Cúcuta, Popayán y Armenia ocurridos en 1805, 1827, 1875, 1983, 1999 respectivamente. Estos sismos están relacionados con sistemas activos que afectan a la corteza superior y generan daños sustanciales en la zona epicentral, debido a la poca profundidad del hipocentro (menor de 20 Km). Los sismos históricos mencionados están asociados respectivamente a los sistemas de falla del Magdalena, del Piedemonte Llanero, probablemente de Boconó y los últimos dos probablemente al sistema Romeral.

En el siglo XX se registraron 16 sismos de magnitud mayor a 7.0, muchos de los cuales corresponden a fallas continentales de corteza. Se destacan, además de los sismos de subducción, el sismo del Borde Llanero de 1967 y el de Murindó (Chocó) de 1992.

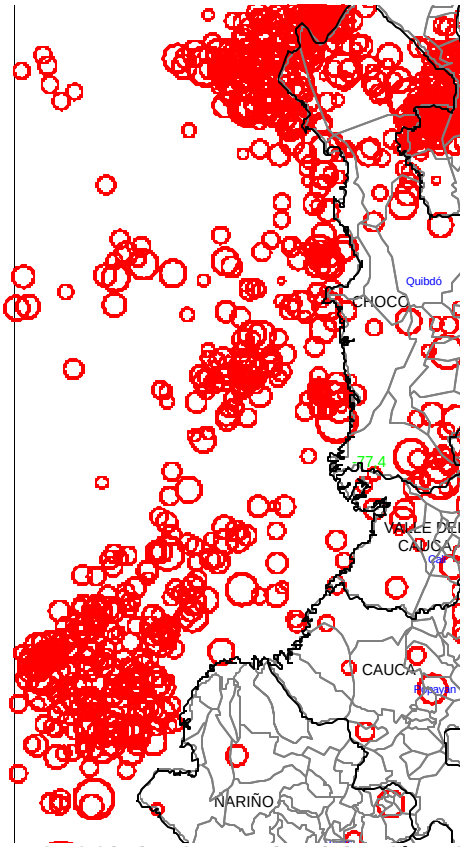


Figura 10.7. Sismicidad en la zona de subducción colombiana

La *Figura 10.8*. sintetiza una visión general de la actividad sísmica de la zona de Bennioff. La Figura está conformada por tres partes. A la izquierda se muestra la sismicidad en planta y a la derecha tres secciones transversales. En la izquierda la

sismicidad al norte de AA' se proyecta sobre esta sección. En el centro la sismicidad entre AA' y BB' se proyecta sobre BB'. A la derecha, la sismicidad entre BB' y CC' se proyecta sobre CC'. Las líneas punteadas muestran una posibilidad de ubicación de la placa subducida. Obsérvese el cambio en el ángulo de buzamiento.

En el supuesto de que la calidad de la información empleada en las tres secciones analizadas fuera similar y efectivamente parece que lo es, se podría pensar que a pesar de los errores de ubicación de los focos existiría una tendencia consistente en que los eventos tienen dispersión más o menos sistemática. La posición de la placa puede variar pero su ángulo puede resultar aceptablemente bien representado por los focos de los sismos.

De la observación de las Figuras indicadas se deduce que la zona de Bennioff tiene una sismicidad importante. Conviene resaltar que de una latitud entre 7.5°N y 8°N la zona de Bennioff no es identificable, hacia esta latitud tienden a desaparecer las cordilleras Central y Occidental. Es evidente entonces, la relación regional entre la sismicidad y la presencia de las cordilleras.

De acuerdo con los estudios de García et al, la zona de Bennioff podría dar origen a sismos de importancia con altos valores de la magnitud. No obstante, consideran que entre más hacia el oriente ocurra el epicentro la magnitud máxima posible disminuye debido a la profundidad elevada.

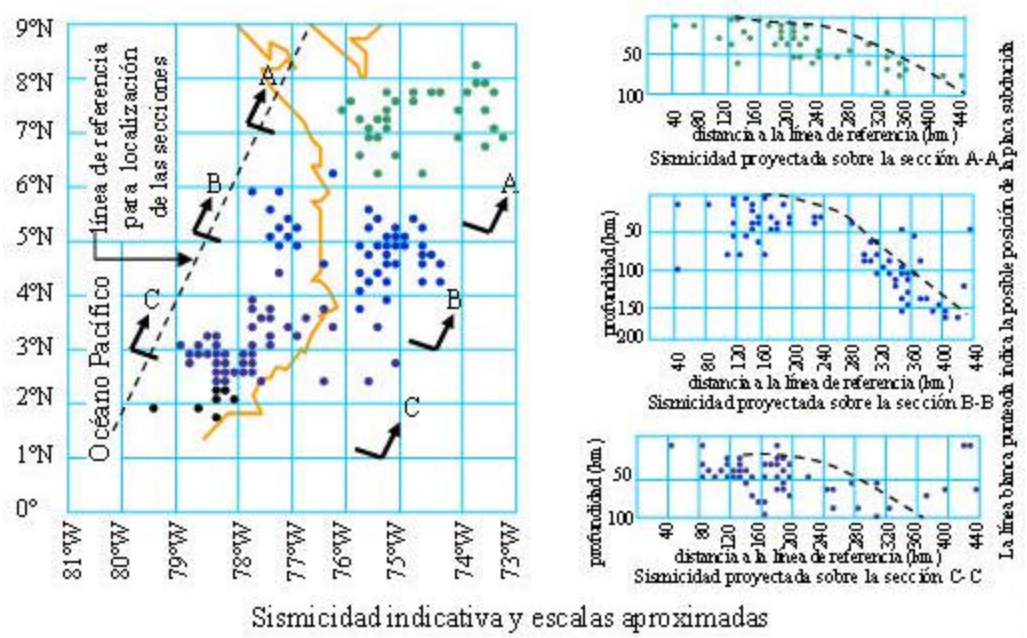


Figura 10.8. Planta y alzado de la sismicidad de la zona de Bennioff y Zona de Subducción en la Costa del Pacífico de Colombia

De acuerdo con la información disponible en los catálogos de sismicidad colombiana, numerosos sismos de magnitud superior a 7.0 han sido atribuidos a los sistemas de fallas del territorio Colombiano. La *Tabla 10.1* ilustra los mayores eventos sísmicos compilados a partir de sismicidad histórica e instrumental.

El análisis de esta información muestra que existen fundamentalmente dos tipos de eventos sísmicos dentro del contexto tectónico de nuestro País, primero, los sismos relacionados con la zona de subducción de Nazca cuyas profundidades aumentan progresivamente desde la Costa Pacífica hacia la Cordillera de Los Andes y segundo los sismos relacionados con los sistemas de fallas que afectan la corteza continental plegada y deformada a lo largo y ancho de las cordilleras colombianas.

FECHA			EPICENTRO	LAT N	LONG W	PROF	Immi	M_l
AÑO	MES	DIA						
1644	Enero	16	Herrán (Norte de Santander)	7.4	72.7	0	IX	7.0
1644	Marzo	16	Chipaque (Cundinamarca)	4.5	74.0	0	IX	7.0
1724	Noviembre	0	Chita (Boyacá)	6.2	72.5	0	X	7.7
1785	Julio	12	Páramo de Chingaza (Cund)	4.7	73.8	0	IX	7.0
1805	Junio	16	Honda (Tolima)	5.3	74.5	0	IX	7.0
1827	Noviembre	16	Queb. Santa Ana (Caquetá)	1.9	75.6	0	X	7.7
1834	Enero	20	Sibundoy (Putumayo)	1.3	76.9	0	X	7.7
1868	Agosto	15	Tulcán (Ecuador)	0.8	77.7	0	IX	7.0
1875	Mayo	19	Cúcuta (Norte de Santander)	7.9	72.5	0	X	7.7
1904	Enero	20	O. Pacífico (Lim Col-Ecua)	7.0	79.0	0	---	7.8
1906	Enero	31	O. Pacífico (Lim Col-Ecua)	1.0	81.5	25	IX	8.6
1911	Abril	10	Límite Colombia - Venezuela	9.0	74.0	100	IX	7.2
1911	Abril	28	Amazonía Colombiana	0.0	71.0	600	VIII	7.1
1917	Agosto	31	Páramo de Sumapaz (Cund.)	4.3	74.2	0	IX	7.3
1924	Enero	13	Cumbal (Nariño)	0.9	77.8	0	IX	7.0
1938	Febrero	5	Támesis (Antioquia)	4.5	76.3	160	VIII	7.0
1942	Mayo	14	O. Pacífico (lim Col-Ecua)	0.8	81.5	25	IX	7.9
1943	Mayo	2	O. Pacífico (Sur Panamá)	6.5	80.0	0	---	7.1
1947	Julio	14	Río Pasto (Nariño)	1.4	77.3	0	IX	7.0
1950	Julio	9	Cerro El Viejo (Norte Sant)	7.9	72.6	41	IX	7.0
1958	Enero	19	O. Pacífico (Sur Panamá)	1.4	79.3	60	IX	7.8
1967	Febrero	9	Vegalarga (Huila)	2.9	74.8	36	X	7.1
1970	Septiem	26	Bahía Solano (Chocó)	6.4	77.5	8	VIII	7.0
1970	Septiem	27	Bahía Solano (Chocó)	6.4	77.4	8	VIII	7.0
1974	Julio	13	Juradó (Chocó)	7.8	77.6	12	VIII	7.3
1976	Julio	11	Límite Colombia -Panamá	7.4	78.0	3	---	7.0
1979	Diciembre	12	O. Pacífico (lim Col-Ecua)	1.6	79.4	24	IX	7.7

1991	Noviembre	19	Orupá (chocó)	4.6	77.4	15	---	7.1
1992	Octubre	18	Murindó (Chocó)	7.1	76.8	10	X	7.3
1994	Junio	06	Paez (Cauca)	2.85	76.07	1	---	7.0

Tabla. 10.1: Sismos con magnitud mayor o igual que 7.0 en el Catálogo Colombiano

10.1.3.1 Emplazamiento tectónico regional de la cuenca hidrográfica del río Sinú

En este informe se presentan los rasgos relevantes de la sismotectónica del territorio que corresponde a la cuenca hidrográfica del río Sinú y zonas aledañas, sin analizar la sismicidad regional o local. El emplazamiento tectónico está gobernado por la convergencia de las placas, Nazca al occidente, Caribe al norte y Suramericana al oriente. La región analizada puede considerarse como de riesgo sísmico intermedio y varias fallas conforman los mayores elementos a los cuales correspondería sistemas contribuyentes de amenaza sísmica local futura.

- **Aspectos generales**

La esquina noroccidental de América del Sur se ha conformado a lo largo de centenares de millones de años desde cuando América del Norte y Suramérica se separaron y la parte sur comenzó a desplazarse hacia el occidente empujada por la zona de expansión de un océano Atlántico. Este desplazamiento se llevó a cabo con la presencia de una zona de subducción que se ha desplazado desde entonces hacia el occidente.

Como consecuencia de las fuerzas tectónicas y los procesos orogénicos que intervinieron hasta llegar a la actual situación territorial, se generaron fallas geológicas. Algunas de estas fallas son activas en la actualidad y su posible ruptura representa una fuente de amenaza sísmica regional con posibles efectos sobre diferentes poblaciones y obras civiles construidas en el Departamento.

- **Zona de subducción frente al emplazamiento tectónico regional**

En la zona de convergencia interactúan las placas: Nazca con dirección predominante de oeste al este y una velocidad regional media en el orden de 65 mm/año. La placa Caribe que se desplaza hacia el oriente con una velocidad regional media en el orden de 15 mm/año y la placa Suramericana que se desplaza en dirección oriente occidente y velocidad regional media en el orden de 20 mm/año. Este emplazamiento tectónico se aprecia en la figura 8.1 en la cual se destaca una hipótesis de límite difuso de la placa Caribe al cual se hace referencia

más adelante. La placa Caribe genera una componente de movimiento hacia el sur en la zona de convergencia del noroccidente de Sur América.

Desde el punto de vista de la litosfera terrestre en la esquina noroccidental de América del Sur, debe deducirse que la interacción de las tres grandes fuerzas tectónicas involucradas produce regiones de compresión y de extensión en la cuenca hidrográfica del río Sinú.

En un medio elástico, los esfuerzos representan acumulación de energía potencial a lo largo del tiempo. Por otra parte, la presencia de fuerzas internas con manifestaciones superficiales no son uniformes en el territorio bajo consideración. Hay concentraciones preferenciales en zonas montañosas, aunque no necesariamente debe haber montañas para estas concentraciones. Debe tenerse en cuenta que lo ocurrido en el territorio donde se encuentra la cuenca del río Sinú cubre los últimos ciento treinta millones de años aproximadamente, lapso que se extiende desde la era Paleozoica hasta la actualidad.

En las condiciones que actualmente se conocen, se estima que la subducción de la placa oceánica bajo la continental ha venido ocurriendo desde el Cretácico temprano hasta la época actual. Hace aproximadamente veintiún millones de años la placa Caribe se desplazaba hacia el oriente entre el espacio que se había abierto al separarse las placas Suramericana y Norteamericana. Parte de la actual América Central no existía. En la zona continental del actual territorio colombiano varios arcos generaron proceso extrusivos que alimentaron los terrenos que poco a poco fueron conformando y estabilizando lo que en la actualidad es Panamá.

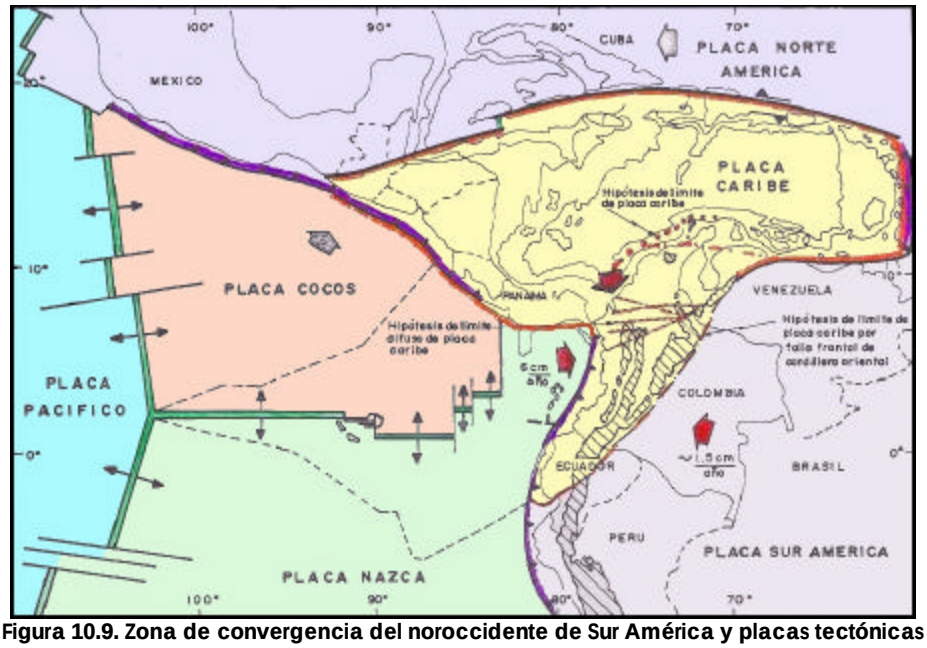


Figura 10.9. Zona de convergencia del noroccidente de Sur América y placas tectónicas

- **Límites de placa Caribe y su incidencia en la amenaza sísmica local**

La sismología considera que los sismos de mayor magnitud conocida tienden a ocurrir principalmente a lo largo de los límites de placa. Esta conclusión bastante robusta es muy importante en la aproximación preliminar general necesaria para establecer la amenaza sísmica local en partes de una región, para el caso de la cuenca hidrográfica del río Sinú, localizada al noroccidente de Colombia.

Como se muestra en la *figura 10.9*, la interacción entre las placas Nazca, Caribe y Suramericana conforma unos límites que en la actualidad se consideran bien definidos en algunos tramos pero pobremente conocidos en otros. Por el norte los límites de placa conforman una zona donde dominan los movimientos de transcurrencia de componente sinestrolateral.

El límite norte entre la placa Caribe y la Norteamericana se inicia en Guatemala y se prolonga pasando por el costado sur de Cuba formando un arco poco pronunciado que llega hasta la cadena de islas Barbuda, Saint Kitts, Guadalupe, María Galante, Dominica, Martinica, Santa Lucía, Trinidad y Tobago. El análisis de la sismicidad histórica indica que en el tramo que separa la placa Caribe de la Norteamericana han ocurrido sismos de los cuales uno notable, por ser el primero del cual se tiene noticia en el nuevo continente, ocurrió en la isla la Hispaniola,

actual territorio de la República Dominicana y Haití. Un gran sismo reciente en este alineamiento limítrofe fue el de Guatemala en 1976, con magnitud 7.4 el cual causó la muerte a más de veinte mil personas.

En el costado oriental que separa la placa Caribe de la Norte América, el desplazamiento adquiere una característica de subducción en el cual ya no hay dominancia y prácticamente tampoco presencia de movimientos transcurrentes en los cuales las deformaciones son horizontales con una dirección en un lado del límite y dirección contraria en el otro lado. En este costado de la placa la subducción genera una notable actividad sísmica y la presencia de un número elevado de volcanes. Algunos de los volcanes activos ha generado grandes catástrofes recientes, tal es el caso de Monte Pele a comienzos del siglo XX.

- Límite sur

En el territorio venezolano el límite está bien definido mediante una larga cadena de fallas geológicas entre las cuales se menciona las siguientes: El Soldado, Los Bajos, El Pilar, La Victoria y San Sebastián. Este sistema de fallas se extiende hacia el occidente hasta llegar aproximadamente a la longitud de 68 °W en la costa venezolana. Todo el sistema se desarrolla con una dirección general este-oeste. Hacia el occidente de la longitud anotada algunos proponen que el límite corresponda al arco de compresión que por trabajos de batimetría se puede observar por el mar Caribe, más o menos bordeando los territorios continentales de Venezuela y Colombia. Otros sostienen que desde la longitud de 68 °W el límite se desvía en dirección S-E mediante el sistema de fallas geológicas con traza sensiblemente paralela a los Andes Venezolanos hasta llegar prácticamente a la ciudad de Cúcuta. La falla dominante en este sistema es la Boconó. En la actualidad la hipótesis preferida corresponde a la última anotada.

- Límite oriental en el territorio nacional de Colombia

En el territorio oriental de la República de Colombia, el límite oriental de la placa Caribe puede desarrollarse mediante uno de dos mecanismos. El primero corresponde un límite difuso señalado en la *figura 10.10*. El límite difuso se iniciaría con una serie de fracturas no detectables en superficie que se abren en una especie de abanico y llegan hasta la zona del Darién colombiano. La sismicidad no asociable a sistemas de falla conocida con dirección dominante E-W en la zona

central de Colombia es un indicio de actividad tectónica relativamente superficial que permitió al geólogo William Page, en la época de la empresa consultora Wooward and Clyde de Estados Unidos, proponer un límite difuso de la placa.

En la figura 10.10 se aprecia una parte de la sismicidad de la zona norte de Colombia, dando énfasis a las agrupaciones de epicentros. Como se aprecia al analizar la figura, la hipótesis de límite difuso resulta más significativa desde el punto de vista de la amenaza sísmica para el territorio que cubre la cuenca hidrográfica del Río que la hipótesis que sigue la gran falla Frontal de la Cordillera Oriental a la cual se hace referencia enseguida.

Otra hipótesis a la cual se acogen muchos de los geofísicos y geólogos que han estudiado los limites de la placa Caribe en el oriente de Colombia es que este se desarrolla a lo largo del sistema de fallas cuyas trazas resultan sensiblemente paralelas a la Cordillera Oriental de Colombia. Colectivamente, este sistema que tiene muchas fallas con diferentes nombres se denomina Sistema Frontal de la Cordillera Oriental. Este se prolonga hasta el Golfo de Guayaquil y allí empata con el límite occidental de la placa Caribe.

El límite occidental de la placa Caribe se desarrolla desde el Golfo de Guayaquil y llega hasta el territorio guatemalteco para cerrar allí el contorno de la placa.

Falla Espíritu Santo: Es una de las principales fallas de la Cordillera Central de Colombia. Se extiende en una longitud total aproximada de 300 Km a partir de la falla Sabanalarga cerca de Santa Fe de Antioquia. Algunos geólogos consideran que la falla Espíritu Santo es la prolongación septentrional de la falla Romeral que recorre el territorio nacional de sur a norte. Evidencias de desplazamientos geológicamente recientes indican que la falla tiene actividad. Además, cambios de la pendiente del río Cauca son indicios poderosos para apoyar la actividad de la falla. Por otra parte, campañas sismológicas han detectado actividad microsísmica en parte de esta falla con movimiento horizontal izquierdo como componente dominante.

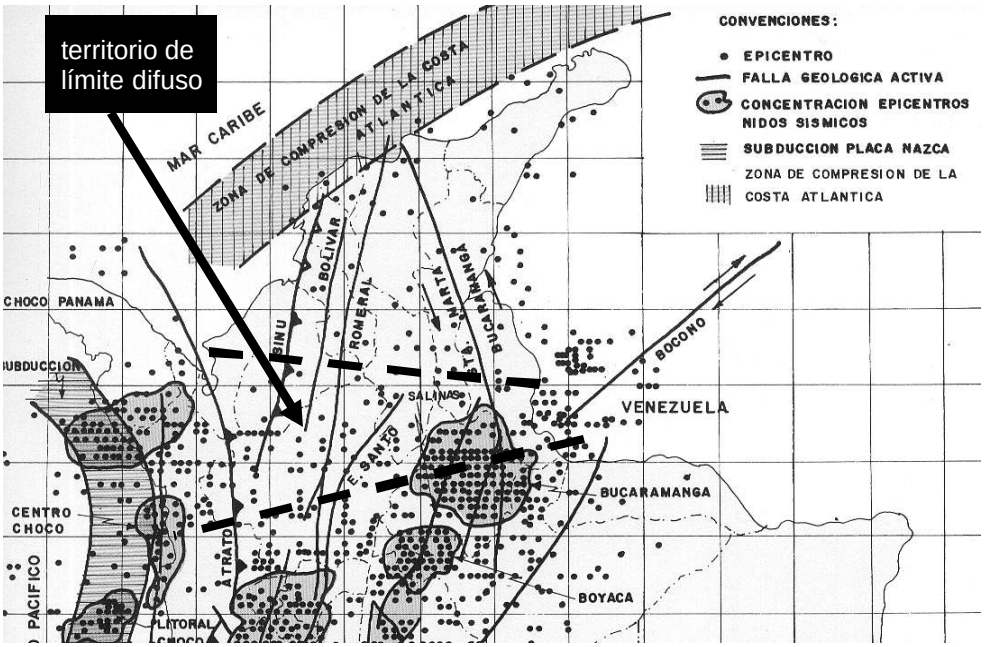


Figura 10.10. Concentración de epicentros y desarrollo de límite difuso de la placa Caribe

Falla Santa Rita: Conforma un sistema de dos fallas sensiblemente paralelas separadas aproximadamente dos kilómetros. La Santa Rita este y la Santa Rita oeste. La longitud aproximada es de unos 70 Km El estudio fotogeológico y el registro de actividad microsísmica detectados en campañas de campo permiten suponer que las fallas Santa Rita son activas, aunque de acuerdo con Page, tienen un muy bajo grado de actividad.

Zona de falla de Romeral: Conforma uno de los sistemas de falla más importantes del país. Los sismos de Popayán en 1983 y del Eje Cafetero en 1999 ocurrieron como consecuencia de la ruptura de ramales del sistema Romeral. El sistema se extiende desde los límites con Ecuador al sur y su extremo septentrional llega hasta las inmediaciones de la ciudad de Barranquilla. Entre Cali e Ituango se desarrolla por el flanco occidental de la Cordillera Central. Más al norte atraviesa la cuchilla del Mocho y pasa a lo largo del río San Jorge continuando aproximadamente por el costado oriental de la serranía de San Jerónimo. La traza de la falla coincide con la zona de sutura de Dolores, correspondiente a una subducción Cretácica hoy extinta dadas las migraciones de la zona de subducción hacia el occidente a las cuales se ha hecho referencia. Aunque en el pasado algunos geólogos consideraron que a pesar de su gran longitud y rasgos muy definidos, la zona de falla era inactiva, en la actualidad estudios de microsismicidad, el registro de numerosos sismos menores y mayores como el de Páez en 1994, indican que la falla es activa y conforma uno de los

elementos más significativos de amenaza sísmica en la república de Colombia. Esta consideración se extiende a la cuenca hidrográfica del río Sinú, aunque conviene anotar que la capacidad de liberación de magnitudes elevadas debido a las rupturas de la falla, va disminuyendo con su latitud lo cual indica que en la jurisdicción la máxima magnitud resultaría menor que en el tramo sur de la falla.

Falla Sardinas: Se desprende de la falla Espíritu Santo prolongándose hacia el norte por una longitud superior a 60 Km hasta cruzar el río San Jorge zona en la cual está cubierta por sedimentos cuaternarios. En su desarrollo la falla muestra varias trazas. Principalmente basados en observaciones morfológicas de campo y estudios fotogeológicos restringidos indican que la falla tiene un bajo grado de actividad.

Falla Cauca: Se desarrolla en una longitud aproximada de 800 Km iniciándose en los límites Ecuador-Colombia y prolongándose hasta cerca de Montería. En su parte sur, se ha detectado su actividad no solo a partir de registros sísmicos sino también por la expresión morfológica la cual ha sido muy estudiada especialmente en el Valle del Cauca y el Cauca. Su actividad en la cuenca es de bajo grado.

Falla Peque: Con una longitud aproximada de 140 Km, se extiende entre la población de Buriticá y la cabecera del río San Jorge cruzando por la parte más baja de la cuchilla del Mocho. Las expresiones morfológicas y algunos registros de sismos menores indican que su grado de actividad es bajo.

Falla San Jorge: Con rumbo noreste se extiende en una longitud aproximada de 60 Km con traza al oriente de la falla Alto Sinú, manteniendo dirección más o menos paralela. La falla se desarrolla al oriente del cauce del río San Jorge y los rasgos morfológicos tiende a indicar que en la parte baja del río la falla muestra un grado de actividad bajo.

Falla Alto Sinú: Con rumbo nordeste, se desarrolla en una longitud aproximada de 60 Km extendiéndose desde el Alto de Paramillo hasta el frente norte de la Cordillera Occidental en una traza muy marcada a lo largo de la parte superior del valle del río Sinú y posiblemente se une a la falla Bolívar. Page anota que su grado de actividad es desconocido.

Falla Tucurá: Se desarrolla desde la parte más septentrional de la Cordillera Occidental y se interna en el valle del río Sinú con una longitud total de unos 240 Km Cerca de la población de Tucurá forma dos ramales más o menos paralelos en

donde se han medido desplazamientos medios en el orden de 0.2 mm./año lo cual conduce a estimar un grado de actividad bajo.

Zona de falla Murrí-Mutatá: Se extiende en dirección norte-sur en una longitud aproximada de 300 Km desde el río Penderisco en el sur hasta la costa Caribe en el norte. En varios tramos de su traza hay expresiones morfológicas de clara actividad sísmica lo cual coincide con registros de sismos menores con foco de poca profundidad.

Falla Murindó: Localiza en la parte occidental de la Cordillera Occidental, tiene una traza con dirección más o menos norte sur que se extiende por aproximadamente 100 Km No obstante que Page anota que el grado de actividad se desconoce, es presumible que los sismos de octubre 17 y 18 de 1992 con magnitudes 6.6 y 7.2 deban asociarse a una ruptura de esta falla. En las cercanías del epicentro de estos sismos hubo licuación de suelos, desplazamientos apreciables que causaron daños a las pocas construcciones, especialmente en la población de Murindó.

Falla Bolívar: Se la considera como parte del sistema de fallas del Cauca extendiéndose entre el norte de la Cordillera Central y la costa del Caribe con traza que recorre parte del valle del río Sinú en una longitud total aproximada de 450 Km El extremo sur de la falla posiblemente se une con la Alto Sinú. Page estima que el grado de actividad de la falla es desconocido y posiblemente resulta muy bajo.

Falla Sincelejo: Hace parte del sistema Romeral y se extiende desde Chinú hasta la margen oriental del río Magdalena con una longitud total aproximada de 160 Km Page considera que el sismo del 26 de diciembre de 1942, que tuvo un foco superficial y produjo intensidades locales MM en el orden de VIII, podría asociarse a una ruptura de ese ramal de la Falla Romeral. A pesar de lo anotado, Page estima que el grado de actividad parece bajo.

Falla Montería: Su traza se desarrolla parcialmente por el valle del río Sinú en una longitud aproximada de 200 Km que se inicia en el río Manso y sigue por el valle del río Sinú pasando al este de Montería y Lorica. Con características de fallamiento inverso, buza hacia el este. Según Page, el grado de actividad de la falla Montería es bajo. Otras fallas menores: En la zona costera aparecen las trazas de fallas menores cuya actividad es desconocida o posiblemente con bajo grado de actividad. Entre estas fallas se mencionan la Sanjuán de Urabá, la Puerto Escondido, la Punta de la Cruz y la falla Punta Mangle. Como posible elemento

contribuyente a la amenaza sísmica regional se menciona la zona de compresión de la costa atlántica que forma un amplio arco, el cual es considerado por algunos investigadores como una posibilidad para fijar el límite de la placa Caribe.

- **Elementos cualitativos de la amenaza sísmica local**

La cuenca hidrográfica del río Sinú no puede considerarse particularmente activa desde el punto de vista sísmico en el contexto general del territorio colombiano y sus vecindades inmediatas. Sin embargo, hay elementos que indican que en la zona pueden ocurrir sismos en el futuro con magnitudes y profundidad focal que pueden causar daños a edificaciones. La actividad de las fallas a la cual se ha hecho referencia, la ocurrencia de sismos pasados y la posibilidad de que el límite de la placa Caribe se desarrolle en una forma difusa son aspectos que se combinan con la zona de convergencia en la cual se encuentra Colombia. Esto combinado indica que no se pueden descartar los sismos en la cuenca hidrográfica del Río Sinú.

En el contexto regional que considera la norma sismo resistente NSR-98, la cuenca hidrográfica del Río se desarrolla parcialmente en zona de riesgo sísmico alto al sur occidente, riesgo sísmico intermedio en su zona central y algo de territorio en zona de riesgo sísmico bajo en la parte norte de su jurisdicción.

Como la mayoría de las fallas no cuentan con sismos asociables a posibles rupturas, la amenaza sísmica local debe considerarse condicionada en buena parte por las fallas mayores del territorio, mostradas en la *figura 10.11.* Tal es el caso del sistema Romeral, la falla Murindó, y las fallas que se desarrollan o pasan por los valles de los ríos Sinú y San Jorge.

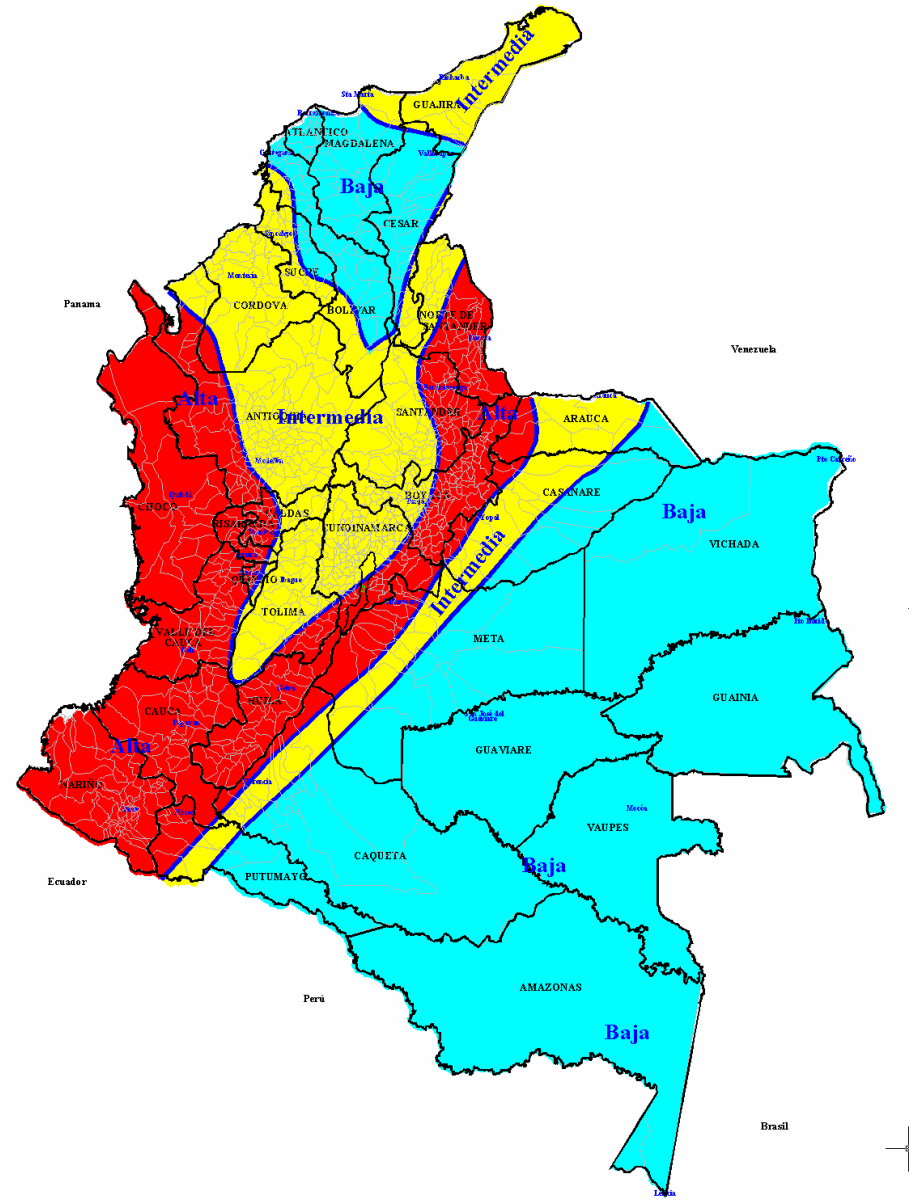


Figura 10.11. Mapa de amenaza sísmica de Colombia

10.1.4 AMENAZA SÍSMICA

La amenaza sísmica se cuantifica en términos de los periodos de retorno (o sus inversos, las tasas de excedencia) de intensidades sísmicas relevantes en el comportamiento de las estructuras. La tasa de excedencia de una intensidad sísmica se define como el número medio de veces, por unidad de tiempo, en que el valor de esa intensidad sísmica es excedido.

Es posible determinar la amenaza sísmica contando las veces en que se han excedido valores dados de intensidad en el sitio de interés. Sin embargo, la determinación directa rara vez se puede realizar porque no se dispone de catálogos completos de las aceleraciones que han producido en un sitio los sismos pasados. Por lo anterior, resulta necesario calcular la amenaza sísmica de manera indirecta. Para ello, se evalúa primero la tasa de actividad sísmica en las fuentes generadoras de temblores, y después se integran los efectos que producen, en un sitio dado, los sismos que se generan en la totalidad de las fuentes. A continuación se describe, la manera de hacer la evaluación de amenaza sísmica. La primera parte a investigar es la tectónica del territorio y la sismicidad que las fuentes generan en una región determinada.

Zona de Subducción: presenta muchos hipocentros de sismos con M>5, esta Subducción se ha dividido en dos zonas principales.

Segmento Sur: corresponde a la zona en las inmediaciones de la frontera de Colombia y Ecuador, aproximadamente desde la latitud 1N hasta la latitud 5.5N.

Segmento Norte: desde la latitud 6.5N hasta 7.4N, en su extremo norte encuentra la prolongación de la Fosa centroamericana;. A esta actividad se le debe la fuerte actividad en la zona limítrofe de Colombia y Panamá. Son notables las concentraciones de epicentros en las zonas como el limite Colombia-Panamá, región del antiguo Caldas y el Nido de Bucaramanga; estas son las zonas del país donde existe el mayor peligro sísmico actualmente. Han sido localizadas zonas de Benniof en el ambiente de subducción (figura 10.1), las cuales han sido identificadas mediante la ubicación de los hipocentros, esto ha llevado a establecer que dichas zonas son más superficiales mientras más al norte se encuentren, y más profundas mientras más al sur, lo cual involucra necesariamente un cambio en buzamiento de las zonas subducidas.

Sobre los mecanismos focales no existe aun un estudio detallado de las fallas en el territorio y esto constituye motivo de investigación actual. De todas formas a pesar

de la escasa información recogida, varios investigadores han planteado la posibilidad de un límite sur oriental de la placa Caribe a lo largo del flanco oriental de la cordillera oriental de Colombia, justamente en la falla Frontal. En el país desde hace más de tres décadas se han realizado trabajos de investigación de las diferentes fallas para la evaluación de la amenaza y peligro sísmico; para el primer código sismorresistente de Colombia (CCCSR-84) se realizó un primer estudio de estas, que permitió definir 32 sistemas de fallas.

Para el caso de la región de la cuenca del río Sinú, las fuentes que generan mayor amenaza se encuentran en 2 tipos. El primero se debe a fuentes cercanas que establecen una amenaza significativa como el caso de la falla de Bolívar, Sinú y Romeral cuyo trazo pasa apenas a Kilómetros de la ciudad de Montería y que ha sido causante en muchos de sus ramales generadora de eventos como el de Popayán en 1983 y más recientemente el de Armenia (1999); esta fuente aunque no es generadora de grandes sismos se encuentra a una distancia los suficientemente pequeña como para generar medianas intensidades, además existen otras fuentes como la falla Palestina, Bolívar o Murindó que contribuyen a la amenaza de la región de estudio.

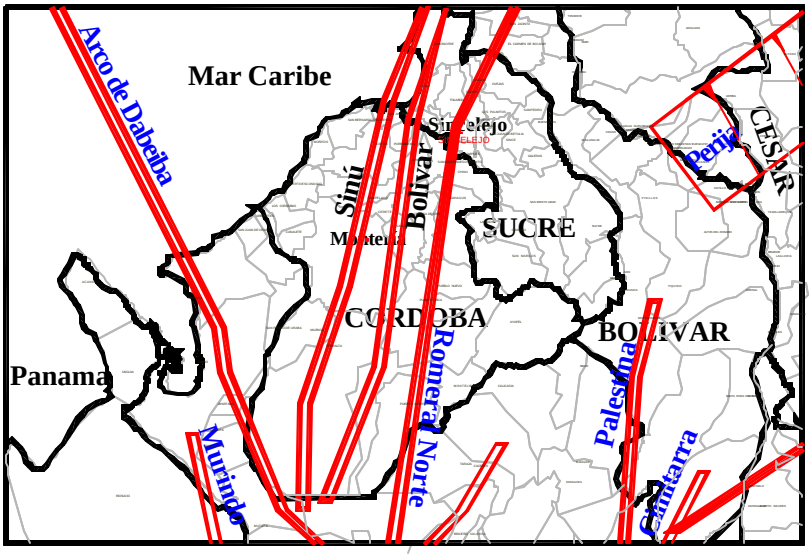


Figura 10.12: Distribución de las fuentes que pueden generar sismos en la zona nororiental colombiana.

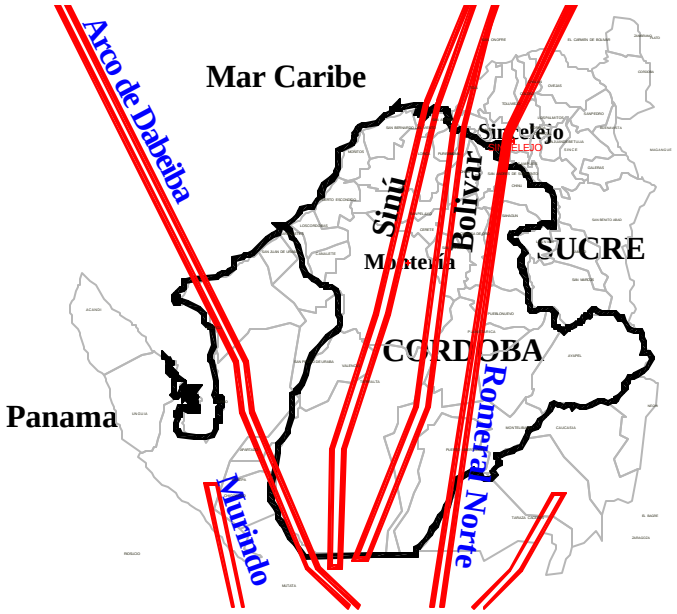


Figura 10.13. Distribución de los trazos de las fuentes que pueden generar sismos en la zona de la CVS cuenca del río Sinú.

El segundo tipo de Amenaza se debe a fuentes con distancias intermedias pero con gran capacidad de liberación de energía como son el caso de la zona de subducción y la poderosa región de Murindó, estas se encuentran al suroccidente pero además se encuentran subduccidas bajo la cuenca alta del Sinú; estas fuentes han causado muchos movimientos en la región y se hallan documentados, de hecho, en 1995 una de estas fuentes generó un sismo de magnitud considerable que causo pérdidas apreciables en la ciudad de Medellín durante 1992; este fue sentido en todo el valle del Sinú hasta Montería.

Además las zonas de Subducción en la costa Pacifica son potencialmente generadoras de sismos de gran magnitud que pueden llegar a afectar la región de estudio. En la *figura 10.12* es posible visualizar las fuentes potencialmente generadoras de sismos en la región de la cuenca hidrográfica del río Sinú. *La figura 10.13* muestra un acercamiento a la zona de la cuenca del río Sinú y con un mayor nivel de detalle el trazo de los corredores de las fuentes que se encuentran cerca de la cuenca para la comprensión de la amenaza generada posteriormente.

Las fallas más cercanas generadoras de sismicidad son la falla Sinú, la falla Bolívar, fallas del sistema Romeral norte, las fallas del Murindó y las fallas correspondientes al Arco de Dabeiba.

- **Modelo de sismicidad local de Poisson**

En un modelo de sismicidad de Poisson, la actividad de la i-ésima fuente sísmica se especifica como función de la tasa de excedencia de las magnitudes, $\lambda(M)$, que ahí se generan. La tasa de excedencia de magnitudes mide qué tan frecuentemente se generan en una fuente de temblores con magnitud superior a una dada. En el presente estudio, para todas las fuentes sísmicas la función $\lambda(M)$ es una versión modificada de la relación de Gutenberg y Richter (1944). En estos casos, la sismicidad queda descrita de la siguiente manera (Cornell y Vanmarcke, 1969):

$$l(M) = l_0 \frac{e^{-bM} - e^{-bM_u}}{e^{-bM_0} - e^{-bM_u}} \qquad (10.1)$$

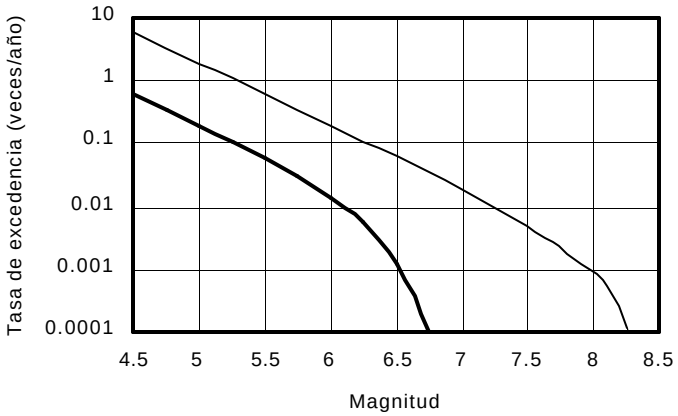


Figura 10.14. Tasas de excedencia de fuentes para el modelo de sismicidad de Poisson.

Donde M_0 es la mínima magnitud relevante, tomada igual a 4.0 en este estudio. λ_0, b, y M_u son parámetros que definen la tasa de excedencia de cada una de las fuentes sísmicas. Estos parámetros, tomados del estudio AIS (1996) se presentan en la tabla 10.2. En la *figura 10.14* se muestran dos tasas de excedencia para zonas sísmicas distintas, una para una zona de alta sismicidad capaz de generar sismos con M>8 y otra de baja sismicidad.

Con base en información tectónica y sismológica, el estudio de amenaza sísmica de Colombia AIS (1996) realizó un análisis para determinar los parámetros de sismicidad más relevantes tales como, frecuencia de sismos (*l*? pendiente de la curva de recurrencia beta (*b*? magnitudes máximas (M_u) y mínimas (M_o) de cada fuente; en todos los casos se usó una base de datos correspondiente al lapso de 1957 a 1995. En la derivación de estas variables se introduce una primera

incertidumbre correspondiente a la asignación de eventos a las fuentes; sobre todo en la zona andina donde muchas fuentes se encuentran superpuestas (*figura 10.2*).

FUENTE	M_0	M_u	λ (eventos / año)	β	Prof. Prom.(Km)
Arco de Dabeiba	4.0	6.5	0.21	1.043	30
Bahia Solano	4.0	7.5	0.606	0.988	28
Benniof intermedia 1*	4.0	8.0	0.228	0.945	72
Benniof intermedia 2*	4.0	8.0	0.152	0.945	72
Benniof intermedia 3*	4.0	8.0	0.380	0.945	72
Benniof profunda	4.0	7.5	6.45	1.643	165
Boconó	4.0	8.0	0.052	0.770	38
Bolivar	4.0	6.0	0.051	0.464	16
Bucga-Sta Marta Norte	4.0	6.5	0.105	1.732	29
Bucga-Sta Marta sur	4.0	6.5	0.264	1.474	39
Cauca	4.0	7.0	0.132	1.709	26
Cimitarra	4.0	6.5	0.078	1.637	16
Compresión Sur Caribe-E	4.0	6.0	0.105	2.188	27
Compresión S. Caribe-O	4.0	6.0	0.131	1.209	27
Cuiza	4.0	7.0	0.105	1.274	24
Espiritu Santo	4.0	6.5	0.105	1.339	32
Fallas del Magdalena	4.0	7.0	0.078	1.852	19
Frontal Cordillera Oriental	4.0	8.0	1.16	0.988	22
Garrapatas	4.0	6.5	0.105	2.123	30
Junin-Sambiambi	4.0	7.0	0.052	1.384	33
Murindó-Atrato	4.0	7.5	0.843	1.057	18
Normal Panamá Pacifico	4.0	7.0	0.184	1.583	24
Oca	4.0	7.4	0.053	1.113	23
Palestina	4.0	6.5	0.132	1.344	21
Perijá	4.0	6.5	0.157	1.415	24
Puerto Rondón	4.0	6.5	0.078	0.616	19
Romeral	4.0	7.6	0.215	1.037	28
Romeral-Norte	4.0	6.5	0.052	0.849	40
Salinas	4.0	6.5	0.158	1.997	30
Sinú	4.0	6.0	0.105	0.531	23
Subducción	4.0	8.6	7.89	1.393	26

Tabla 10.2. Parámetros de sismicidad de las fuentes activas de Colombia (adaptada de AIS, 1996)

* Fuentes modificadas en este estudio.

El Estudio AIS (1996) realizó los análisis de regresión para los parámetros siguiendo un modelo de regresión simple, sin considerar el tratamiento bayesiano que es usado en muchos países. Esto no es un inconveniente mayor en las fuentes con mucha información; sin embargo, en las fuentes de pocos registros la variación puede ser grande. El estudio propuso los valores para 34 fuentes reconocidas como activas en el territorio colombiano. Estas fuentes se pueden observar en la *figura 10.1.* Donde se aprecia una gran afluencia de fallas en el territorio andino de la nación, las cuales efectivamente son las que generan una

gran concentración de epicentros. En la *tabla 10.3.* se muestran los valores de los parámetros de sismicidad de las fuentes activas usadas en la presente investigación; estos parámetros son los mismos que los determinados en el estudio AIS (1996) con la excepción de la zona de Bennioff intermedia, que fue subdividida por razones que van más allá del alcance de este estudio.

- **Sismicidad local en la cuenca hidrográfica del río Sinú**

Los eventos sísmicos significativos para magnitud mayor de 4 registrados por redes en la región de la cuenca del río Sinú se enumeran en la siguiente tabla desde 1834 cuando aparece primera referencia de un movimiento en la zona.

Latitud	Longitud	Magnit	Tipo	Prof. (Km)	Año	mes	día	hora	minuto	Fuente
-74.90346	7.396544	4.5	Ms		1834	6	8	9	30	Sisra
-74.00004	8.999964	5.5	Ms		1869	2	14	0	30	Sisra
-73.99926	9.000744	6	Ms		1869	3	6	10	30	Sisra
-76.99883	9.001168	6.5	Ms		1882	9	7	7	50	Sisra
-76.89664	7.403367	6	Ms		1883	3	8	0	0	Sisra
-76.89683	7.403169	5.5	Ms		1883	3	23	0	0	Sisra
-76.89668	7.403323	5	Ms		1883	3	23	11	0	Sisra
-73.99807	9.001932	7.2	Ms	100	1911	4	10	18	42	Sisra
-74.49636	7.003643	6	Ms	220	1930	5	29	8	30	Sisra
-77.50183	6.998165	5.6	Ms		1932	6	29	22	20	Sisra
-76.0014	8.998604	5.5	Ms	100	1937	9	24	2	40	Sisra
-74.99675	7.503251	5.8	Ms	100	1938	5	2	23	40	Sisra
-75.49979	8.500209	6.5	Ms		1942	12	26	12	31	Sisra
-75.30228	9.497724	5	Ms		1945	6	30	18	18	Sisra
-77.39886	7.501141	5	Ms		1948	7	26	3	33	Sisra
-75.00206	7.197941	5	Ms	96	1951	10	7	6	0	Sisra
-76.38699	7.433005	6.7	Ms	18	1952	2	14	21	2	Sisra
-77.00324	8.496758	4.4	Ms	96	1952	6	3	12	24	Sisra
-76.29743	8.702571	5.7	Ms		1952	10	30	13	13	Sisra
-73.49832	7.501677	4.5	Ms	183	1954	3	9	19	38	Sisra
-73.50405	8.195946	4.5	Ms		1954	9	16	5	55	Sisra
-76.99793	8.002069	5	Ms		1955	9	8	3	31	Sisra
-77.00197	7.498034	4.5	Ms		1956	9	6	1	30	Sisra
-74.4845	7.875504	5	Ms	52	1957	11	10	10	21	Sisra
-77.5038	6.996203	4.5	Ms		1958	2	3	14	2	Sisra
-73.49859	7.201413	4.5	Ms	218	1958	11	26	14	11	Sisra

Tabla 10.3. Eventos sísmicos registrados en la región de la cuenca del Sinú

Latitud	Longitud	Magnit	Tipo	Prof. (Km)	Año	mes	día	hora	minuto	Fuente
-77.00207	6.997931	4.5	Ms		1958	12	5	14	19	Sisra
-74.00168	6.99832	4.5	Ms	209	1958	12	9	15	13	Sisra
-73.59939	7.10061	5	Ms	168	1959	5	28	4	6	Sisra
-76.99788	9.002117	5	Ms	100	1960	1	18	19	30	Sisra
-77.00459	7.495416	6.1	Ms	60	1960	3	13	23	53	Sisra
-76.99867	7.501326	4.5	Ms	60	1960	3	14	0	40	Sisra
-77.19807	7.201936	4.5	Ms	56	1960	9	22	15	11	Sisra
-74.87487	8.075127	5.6	Ms	24	1962	2	18	17	25	Sisra
-74.49786	7.502137	4.4	Ms	33	1963	1	16	3	52	Sisra
-74.80458	8.395419	4.2	Ms	34	1963	6	2	22	26	Sisra
-77.30352	7.396477	4.1	Ms	33	1963	12	5	11	29	Sisra
-75.39089	7.619107	4.4	Ms	47	1964	3	25	10	8	Sisra
-77.1431	8.676898	4.2	Ms	33	1966	4	14	2	48	Sisra
-77.04357	7.556432	4.6	Ms	30	1966	5	30	3	9	Sisra
-73.96779	9.31221	4.3	Ms	132	1970	9	12	18	7	Sisra
-76.08235	7.397646	6	Ms	5	1970	12	3	4	59	Sisra
-77.62862	7.121377	4.3	Ms	22	1970	12	7	12	14	Sisra
-76.94047	7.049535	4.1	Ms	5	1972	4	15	17	37	Sisra
-77.17447	7.495532	4.4	Ms	28	1973	10	17	20	24	Sisra
-74.43475	7.205249	4.3	Ms	16	1973	11	3	1	46	Sisra
-77.65837	7.091627	4.4	Ms	19	1974	7	13	1	40	Sisra
-77.49513	7.514871	5.2	Ms	54	1974	7	13	2	20	Sisra
-77.67062	7.639382	4.5	Ms	35	1974	7	13	3	51	Sisra
-77.63947	7.470523	4.6	Ms	33	1974	7	13	13	0	Sisra
-77.54649	7.253514	4.3	Ms	23	1974	7	13	23	8	Sisra
-77.55995	7.520045	4.4	Ms	23	1974	7	15	23	11	Sisra
-77.18996	8.490033	4.2	Ms	49	1974	12	7	1	21	Sisra
-74.95119	7.428802	4.5	Ms	61	1976	5	12	16	42	Sisra
-76.20932	7.380677	6.4	Ms	30	1977	8	31	0	42	Sisra
-76.3074	7.4326	4.2	Ms	94	1977	8	31	1	18	Sisra
-76.142	7.388001	4.2	Ms	56	1977	8	31	1	34	Sisra
-76.04383	7.346171	4.6	Ms	72	1977	8	31	3	56	Sisra
-76.22555	7.384453	4.9	Ms	59	1977	9	1	17	37	Sisra
-77.08844	7.421562	5	Ms	25	1978	8	2	23	59	Sisra
-76.93741	7.352589	4.1	Ms	35	1978	10	5	23	22	Sisra
-77.56788	8.32212	4.6	Ms	36	1979	3	20	19	3	Sisra
-74.15282	8.037186	4.3	Ms	123	1979	10	31	0	6	Sisra
-74.0947	7.935308	4.4	Ms	33	1980	1	18	23	37	Sisra
-73.93587	7.484124	4.3	Ms	101	1980	3	9	3	34	Sisra
-77.29549	8.264507	4.2	Ms	47	1980	5	2	23	8	Sisra
-77.64771	8.052285	4.2	Ms	33	1980	9	3	5	34	Sisra
-74.76321	7.256795	4.4	Ms	69	1980	10	28	23	19	Sisra
-76.06162	7.508374	4.1	Ms	48	1980	12	19	10	39	Sisra
-76.61807	7.011928	4.3	Ms	33	1981	4	27	18	50	Sisra
-76.43144	7.018555	4.8	Ms	5	1981	4	27	22	53	Sisra
-76.9276	7.712392	4.1	Ms	33	1981	5	15	21	15	Sisra
-77.21849	7.40151	4.6	Ms	17	1981	5	16	9	4	Sisra
-76.53955	7.050452	5	Ms	4	1981	8	25	17	29	Sisra
-76.54672	6.99328	4.2	Ms	22	1981	8	25	17	40	Sisra
-76.56377	6.986237	4.2	Ms	14	1981	8	27	17	45	Sisra
-73.98959	9.000407	4.4	Ms	100	1983	8	14	5	5	Sisra
-77.13941	7.210591	4.2	Ms	40	1983	12	16	5	55	Sisra
-76.44285	7.037153	4.1	Ms	42	1985	1	11	18	24	Sisra

Latitud	Longitud	Magnit	Tipo	Prof. (Km)	Año	mes	día	hora	minuto	Fuente
-73.68034	9.379661	4.1	Ms	33	1985	4	16	7	59	Sisra
-76.33436	7.15564	4.1	Ms	18	1986	1	29	13	49	Sisra
-76.64355	7.016449	4.9	Ms	26	1986	1	29	14	47	Sisra
-74.96687	7.463132	4.2	Ms	68	1986	9	15	20	5	Sisra
-75.11259	8.607409	4.1	Ms	59	1989	3	8	3	51	Sisra
-77.6457	7.034302	4.2	Ms	10	1989	11	7	3	24	Sisra
-74.98078	8.129221	4.1	Ms	80	1990	11	25	1	52	Sisra
-77.30435	9.395648	5.3	Ms		1991	5	2	7	1	Sisra
-76.83976	7.150239	7.3	Ms	10	1992	10	18	15	11	Sisra
-76.43985	7.680151	4.4	Ms	51	1992	10	18	15	25	Sisra
-76.74892	7.081083	4.2	Ms	10	1992	10	18	15	44	Sisra
-76.46383	7.496168	4.2	Ms	10	1992	10	18	16	2	Sisra
-76.70925	7.120746	5.2	Ms	12	1992	10	18	16	5	Sisra
-76.20703	7.65297	4.1	Ms	10	1992	10	18	17	50	Sisra
-76.75405	7.055952	5.2	Ms	13	1992	10	18	18	27	Sisra
-76.51819	7.481812	4.6	Ms	3	1992	10	18	20	10	Sisra
-76.51373	7.19627	4.3	Ms	15	1992	10	18	20	43	Sisra
-76.26949	7.650509	4.6	Ms	10	1992	10	18	22	19	Sisra
-76.54754	7.352458	4.1	Ms	30	1992	10	19	2	47	Sisra
-76.468	7.461997	4.4	Ms	12	1992	10	19	5	4	Sisra
-76.62259	7.027412	4.1	Ms	15	1992	10	19	6	35	Sisra
-76.49591	7.47409	4.3	Ms	30	1992	10	19	15	23	Sisra
-76.58507	7.194935	4.1	Ms	10	1992	10	20	13	6	Sisra
-76.54522	7.474779	4.4	Ms	2	1992	10	26	4	29	Sisra
-76.62789	7.07211	4.2	Ms	10	1992	10	28	14	10	Sisra
-76.50633	7.313665	4.5	Ms	34	1992	10	29	21	56	Sisra
-76.73254	7.117464	4.3	Ms	6	1992	10	29	22	44	Sisra
-76.20712	7.432879	4.1	Ms	49	1992	11	16	16	32	Sisra
-76.46557	7.524434	4.1	Ms	33	1992	12	6	13	51	Sisra
-75.49	9.180005	4.2	Ms	33	1993	2	8	5	46	Ingeo
-76.86964	7.339356	4.1	Ms	18	1994	9	13	10	12	Ingeo
-76.71466	7.245339	6.1	Ms	28	1994	9	13	10	1	Ingeo
-76.97867	8.19733	4.8	Ms	32.1	1995	3	23	2	8	Ingeo
-77.01678	7.383218	4.1	Ms	0	1996	5	13	4	53	Ingeo
-74.49367	7.445336	4.2	Ms	107.1	1996	6	11	16	57	Ingeo
-77.44049	7.249506	5.7	Ms	0	1996	11	4	17	24	Ingeo
-76.76987	7.837133	4.2	Ms	40.3	2000	7	14	12	59	Ingeo
-74.6816	8.427396	4.2	Ms	0.1	2001	9	8	22	45	Ingeo
-77.5356	9.006399	5.4	Ms	99.3	2002	6	7	0	5	Ingeo
-76.026	7.251	4.8	Mb	33	2003	12	10	19	40	Ingeo

Tabla 10.3. Eventos sísmicos registrados en la región de la cuenca del Sinú

La distribución de dichos eventos a nivel regional se muestra en la *figura 10.15* donde se aprecian los eventos de diferente tamaño teniendo en cuenta la magnitud y el color tiene en cuenta la profundidad.

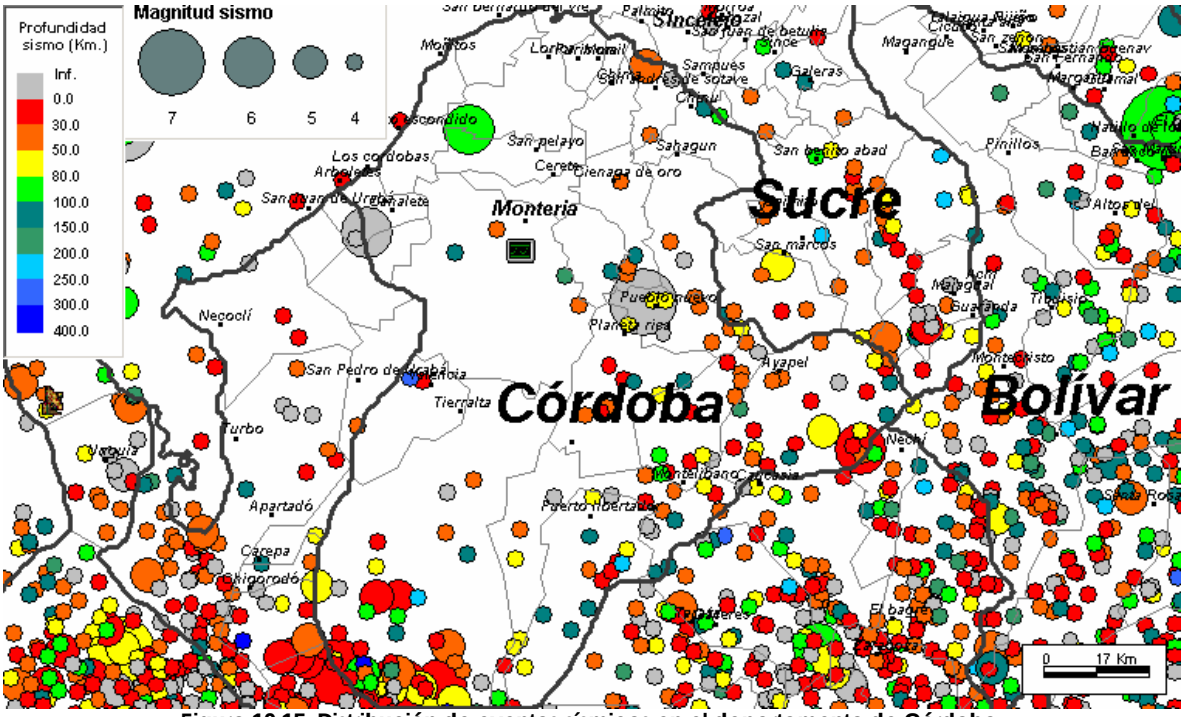


Figura 10.15. Distribución de eventos sísmicos en el departamento de Córdoba.

Estos eventos tienen una distribución con la profundidad dependiendo del tipo de fuente, de su buzamiento y mecanismo focal; dicha distribución se observa en la *figura 10.15*. siguiendo un corte propuesto en la *figura 10.16*.

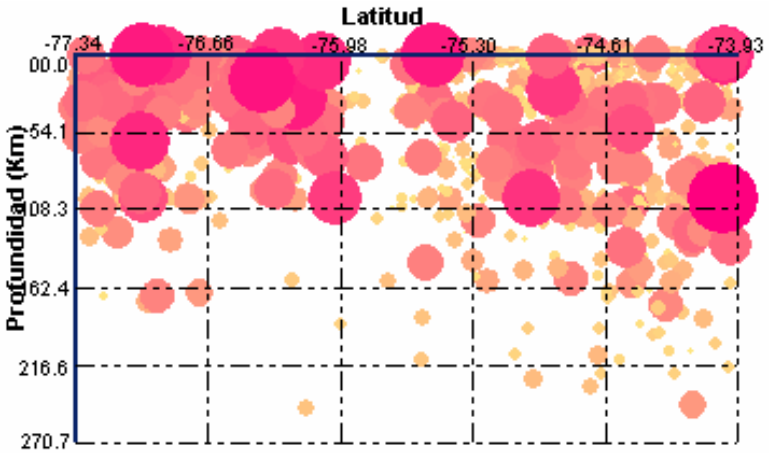


Figura 10.16. Distribución de eventos sísmicos en profundidad en el departamento de Córdoba.

Se observa una distribución de eventos desde los muy superficiales hasta eventos profundos de más de 200 Km que muestran influencia con la zona de subducción, presente hasta la zona de triple convergencia de placas cerca de la frontera con

panama. La distribución histográfica de los eventos, es decir, el número de eventos por cada magnitud desde que existe registro histórico se muestra en la *figura 8.17*., donde se observa preferencia por eventos de magnitud intermedia entre 3 y 4, las magnitudes máximas registradas en la zona corresponden a valores de 6.5 de un evento sentido en 1942 cerca del Municipio de Pueblo Nuevo.

Otro evento con magnitud 5.7 se registró en 1952 cerca de Arboletes y un sismo de tamaño similar afectó el alto Sinú cerca de Tierralta en 1970. Sin embargo, de manera general la sismicidad fuerte se suspende en la región del Paramillo, donde la actividad tectónica se ve fuertemente reducida.

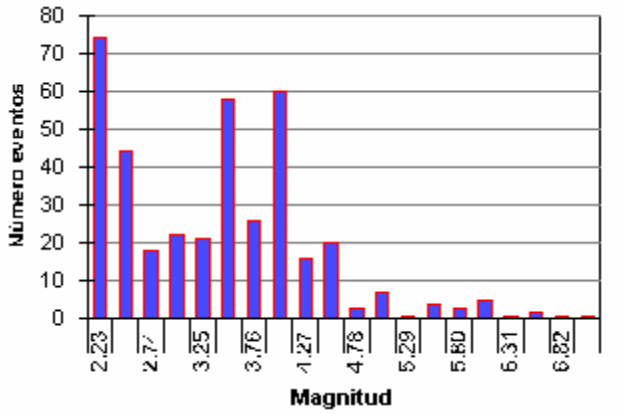


Figura 10.17. Histograma de Magnitudes de eventos instrumentales en la cuenca hidrográfica del río Sinú.

Al ir desagregando la sismicidad de cada una de las magnitudes del gráfico anterior se puede observar el gráfico de sismicidad instrumental que muestra para cada magnitud el número de eventos de igual o mayor tamaño tal como se observa en la *figura 10.18.*

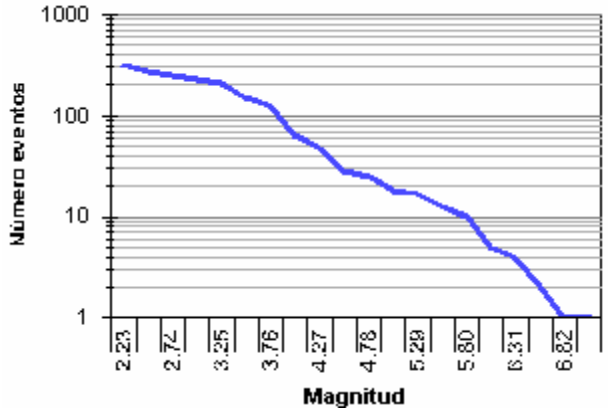


Figura 10.18. Sismicidad de eventos instrumentales en la región de la cuenca hidrográfica del río Sinú.

10.1.4.1 Atenuación de las ondas sísmicas.

Una vez determinada la tasa de actividad de cada una de las fuentes sísmicas, es necesario evaluar los efectos que, en términos de intensidad sísmica, produce cada una de ellas en un sitio de interés. Para ello se requiere saber qué intensidad se presentaría en el sitio en cuestión, hasta ahora supuesto en terreno firme, si en la i-ésima fuente ocurriera un temblor con magnitud dada. A las expresiones que relacionan magnitud, posición relativa fuente-sitio e intensidad se les conoce como leyes de atenuación, a las cuales se pretende evaluar a continuación.

Usualmente, la posición relativa fuente-sitio se especifica mediante la distancia focal, es decir, la distancia entre el foco sísmico y el sitio. Las leyes de atenuación pueden adoptar muy diversas formas. En este estudio se utilizan diferentes leyes de atenuación dependiendo del tipo de sismo o mecanismo focal, esto es, sismos de subducción o sismos continentales. Como se verá más adelante, se considera que las intensidades sísmicas relevantes no son sólo las ordenadas del espectro de respuesta de seudo aceleraciones, sino que además intervienen otras medidas complementarias de intensidad. A continuación se describe el procedimiento de construcción de leyes de atenuación de espectros de amplitudes de Fourier (EAF), las cuales mediante procesos teóricos permiten el cálculo de leyes de atenuación de intensidades sísmicas comúnmente usadas en el diseño de estructuras.

- **Caracterización de los Espectros de Amplitudes de Fourier (EAF).**

Ya que los sismos pueden ser analizados por completo en el dominio de la frecuencia y que los sismólogos han desarrollado teoría suficiente como para crear relaciones predictoras de Espectros de Amplitudes, se hace necesario explicar los detalles de la teoría que permite representar las leyes de atenuación de EAF. Para ello será necesario definir la forma matemática como se definen los desplazamientos de las fuentes cuando ocurre un sismo y el contenido de frecuencia que genera dicho movimiento a partir de mecanismos de dislocación sismologicamente aceptados.

La sacudida de un sismo en un lugar cualquiera puede ocurrir debido a temblores próximos o lejanos. En el primer caso el movimiento es rico en altas frecuencias, mientras que en el segundo caso la mayor parte de la energía del espectro se sitúa en las zonas de periodos largos. La influencia sobre una estructura con un periodo propio característico será, por tanto, muy diferente según sea su distancia al foco sísmico. Por lo cual se impone la necesidad de definir claramente cuándo un sismo

puede considerarse próximo y cuándo no. Con esta finalidad, en sismología se han acuñado los conceptos de campo cercano y campo lejano.

Para grandes longitudes de onda y distancias, similares a las dimensiones de la fuente, los temblores pueden modelarse como fuentes puntuales; el uso de fuentes puntuales ha permitido un considerable avance en la descripción de fuentes más complejas, en particular las de origen tectónico. Desde el punto de vista sismológico un emplazamiento puede considerarse situado en campo lejano cuando su distancia al origen es suficiente como para atenuar las ondas de cuerpo. Desde este punto de vista las ondas, caracterizadas por el predominio de las bajas frecuencias, pueden ser aproximadas con un frente plano y analizadas usando la teoría de rayos. Algunos fenómenos físicos que afectan la propagación de ondas, como la dispersión, la atenuación, y la difracción, cobran gran importancia en este caso y son motivo de investigación por parte de la sismología moderna.

Dado que el tamaño del terremoto es clave para acotar el campo lejano, a veces la otra zona, - el campo cercano -, ha sido definido en ingeniería como la región en torno a la fuente sísmica situada a una distancia más pequeña que la longitud de la fractura, parámetro que como se explicará más adelante se relaciona directamente con la magnitud del sismo. Para este caso el foco dejará de ser puntual y comenzará a tener dimensiones finitas. En cualquier caso, en el campo cercano las ondas sísmicas poseen siempre alta frecuencia y por tanto pequeña longitud de onda.

Los problemas sísmicos fueron abordados inicialmente en el campo lejano, principalmente debido a que los equipos de registro desarrollados fueron sismógrafos, fácilmente saturables a distancias cercanas del foco. Posteriormente se desarrollaron equipos capaces de registrar altas frecuencias, lo cual permitió obtener registros sísmicos que han favorecido el estudio del proceso de fractura en el foco. Se han propuesto muchas teorías y modelos que se han comparado con las observaciones, la mayoría de ellos basados en la teoría de dislocaciones o en teorías generalizadas de fuentes puntuales, en las cuales la propagación de la fuente simula el fenómeno de ruptura.

La comprensión del problema sísmico dio un paso fundamental cuando en 1910 Shida observó que la polaridad del primer impulso de la onda P registrada en una estación sísmica dependía del azimut de la estación respecto al epicentro. En otras palabras, la primera llegada era hacia arriba, indicando compresión del suelo sobre el sismómetro, o hacia abajo indicando dilatación, los detalles se pueden consultar en Sarria (1995).

Esto hizo ver que el mecanismo que origina un terremoto no puede ser de tipo explosivo ya que a este siempre lo corresponderían polaridades compresivas. Observaciones más completas permitieron comprobar que la distribución de polaridades dividía el área alrededor del epicentro en cuatro regiones de similar extensión, de manera que los cuadrantes con predominio de compresiones estaban limitados por los de dilataciones. La distribución de ondas que modela una fuente es comúnmente llamada patrón de radiación y es motivo permanente de investigación por parte de sismólogos.

- **Patrón de Radiación**

La solución para el campo de desplazamientos en un medio elástico, infinito, homogéneo e isotrópico debido a una carga puntual, fue planteada hace mas de un siglo y medio por Stokes (1849); sin embargo, sólo hasta principios del siglo XX Nakano la aplicó para representar eventos sísmicos; fue él, quien considerando una carga puntual con una variación f (t), dedujo el campo de desplazamiento en coordenadas cartesianas de la siguiente forma:

$$u=\frac{1}{4pr}\left\{\frac{\partial^2}{\partial x^2}(f-y)+\nabla^2 y\right\} \qquad (10.2)$$

$$v=\frac{1}{4pr}\left\{\frac{\partial^2}{\partial y^2}(f-y)\right\} \qquad (10.3)$$

$$w=\frac{1}{4pr}\left\{\frac{\partial^2}{\partial x\partial z}(f-y)\right\} \qquad (10.4)$$

Donde u, v y w son los desplazamientos en las direcciones x, y y z respectivamente; las funciones potenciales ϕ yψ están definidas como:

$$f=\frac{1}{r}F\left(t-r/a\right) \qquad (10.5)$$

$$y=\frac{1}{r}F\left(t-r/b\right) \qquad (10.6)$$

Siendo a y b, las velocidades de onda dilatacional (onda P) y cortante (onda S) respectivamente, r la distancia al epicentro y F (t) esta relacionada con f (t) mediante:

$$f(t)=\frac{\partial^2 F(t)}{dt^2} \qquad (10.7)$$

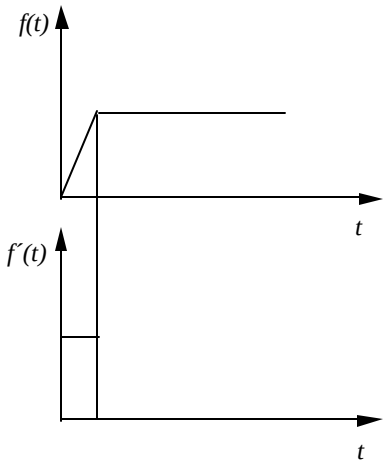


Figura 10.19.Variación de uno de los pares en el origen

El movimiento puede descomponerse en desplazamientos radiales y transversales, y haciendo los respectivos cambios de coordenadas; a partir de la solución de las ecuaciones 10.2-10.4 pueden obtenerse las correspondientes a combinaciones de fuerzas puntuales que dan origen a diferentes mecanismos focales.

Una explosión, por ejemplo, puede ser representada por seis fuerzas que se generan de un punto hacia fuera en cada uno de los ejes coordenados; un sólo par de fuerzas sobre un plano genera equilibrio en desplazamientos pero tiene un momento resultante; asimismo la aplicación de cuatro fuerzas, es decir un doble par sobre cuadrantes (*figura 10.21*) opuestos, genera en un sistema con fuerzas y momentos nulos; este es conocido como fuente puntual de doble par.

Debido a esta característica de resultante nula, la fuente de doble par es empleada con frecuencia para representar temblores, pues en ellos las fuerzas están en equilibrio antes y después del sismo. De las ecuaciones 10.2-10.4 puede obtenerse que la solución para el doble par esta dada por:

$$u=-\frac{1}{4pr}\left\{2\frac{\partial^3}{\partial x^2\partial y}(f-y)+\frac{\partial}{\partial y}\nabla^2 y\right\} \qquad (10.8)$$

$$v=-\frac{1}{4pr}\left\{2\frac{\partial^3}{\partial y^2\partial x}(f-y)+\frac{\partial}{\partial y}\nabla^2 y\right\} \qquad (10.9)$$

$$w = -\frac{1}{4\pi r}\left\{2\frac{\partial^3}{\partial y \partial x \partial z}(f - y)\right\} \qquad (10.10)$$

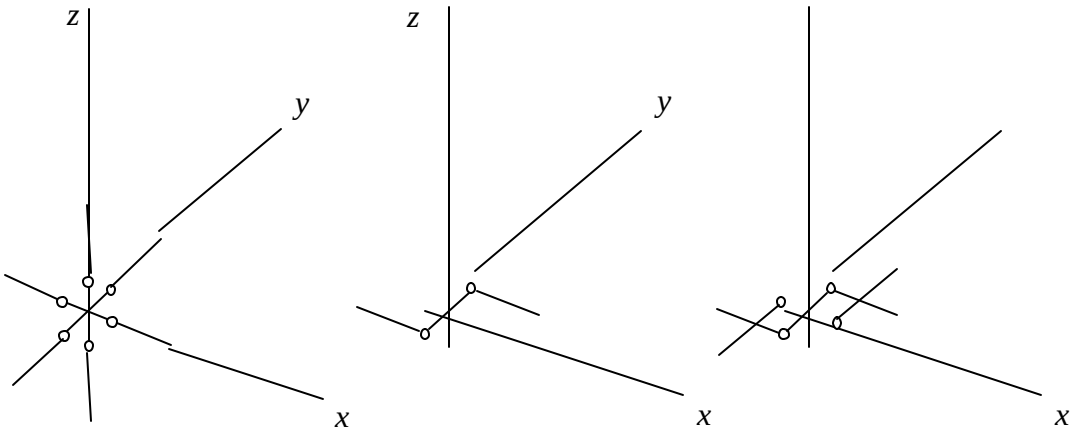


Figura 10.20. Izquierda: Combinaciones de cargas puntuales para un centro de dilatación; centro: mismas consideraciones para un par simple; derecha: mismas consideraciones para un par doble "mecanismo sísmico"

En donde las relaciones 10.8 - 10.10 siguen siendo validas, pero f (t) representa los pares. Para el campo lejano los campos de desplazamientos en coordenadas esféricas pueden escribirse como:

$$u_r = \frac{1}{4\pi r}\frac{1}{\beta^3_r} H_1(t, r, \alpha, \beta)\, Sen^2\theta\, Sen(2\phi) \qquad (10.11)$$

$$u_\theta = \frac{1}{4\pi r}\frac{1}{\beta^3_r} H_2(t, r, \alpha, \beta)\, Sen\theta\, Cos\theta\, Sen(2\phi) \qquad (10.12)$$

$$u_\phi = \frac{1}{4\pi r}\frac{1}{\beta^3_r} H_3(t, r, \alpha, \beta)\, Sen\theta\, Cos(2\phi) \qquad (10.13)$$

Donde u_r, u_θ y u_ϕ son los desplazamientos en coordenadas esféricas y H_1, H_2 y H_3, son funciones que se pueden obtener de forma similar a ϕ y ψ. Los desplazamientos de esta forma generan las amplitudes que terminan denominándose sismogramas en diferentes direcciones, tal y como se muestran en la *figura 10.21* para el caso de f (t) mostrado en la *figura 10.19*.

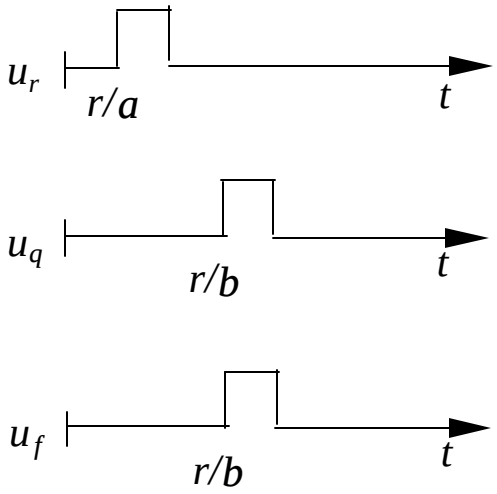


Figura 10.21. Sismogramas típicos en el campo lejano debido al modelo de par doble.

Los patrones de radiación definen la forma en que se distribuyen angularmente las ondas generadas de la fuente. Por ejemplo, considerando el campo lejano y las ecuaciones de desplazamiento 10.11-10.13, si $\theta=90°$ los desplazamientos radiales u_r, provocados en este caso por las ondas P, estarían modulados por la función $sen2\varphi$ y los desplazamientos u_φ, generados por las ondas S, lo serian por la función $cos2\varphi$. De esta forma los patrones de radiación de ondas S y P se encuentran desfasados como se pueden ver en la figura 10.22.

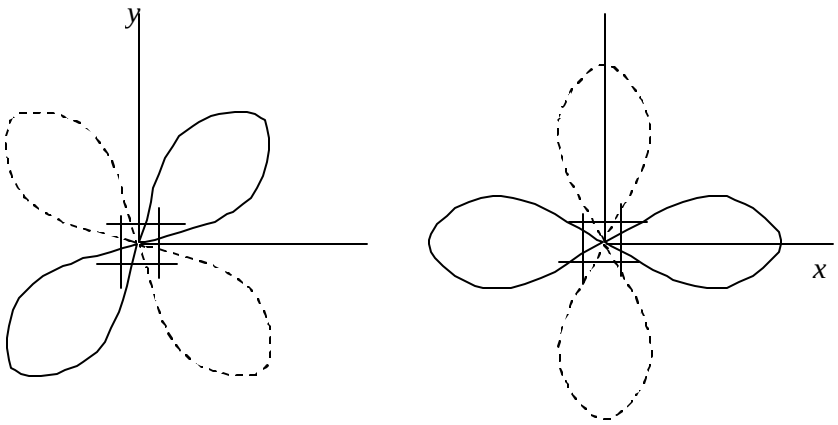


Figura 10.22. Izquierda: Patrón radiación de ondas P para modelo de doble par modulado por las ecuaciones 11-13; Derecha: Patrón de radiación de ondas S para modelo de doble par.

- **Caída de esfuerzos y Momento Sísmico**

Knopoff (1958) mostró la relación entre los desplazamientos permanentes del terreno y algunos parámetros característicos de una fuente en un semiespacio infinito en el cual estableció un campo de desplazamiento $u_2=u_3=0$ y $u_1\neq0$ de manera que en coordenadas cartesianas el único esfuerzo presente es $\sigma_{21}=S$. y que el ancho de la falla se denomina D en el plano x_1-x_3, como se indica en la *figura 8.23.* De esta manera para que el corte este libre de esfuerzos se deberá encontrar un campo de desplazamiento con $\sigma_{21}=-S$ y la ecuación de equilibrio quedará descrita en términos de:

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial x_2^2}+\frac{\partial^2 u_1}{\partial x_3^2}=0 \qquad (10.14)$$

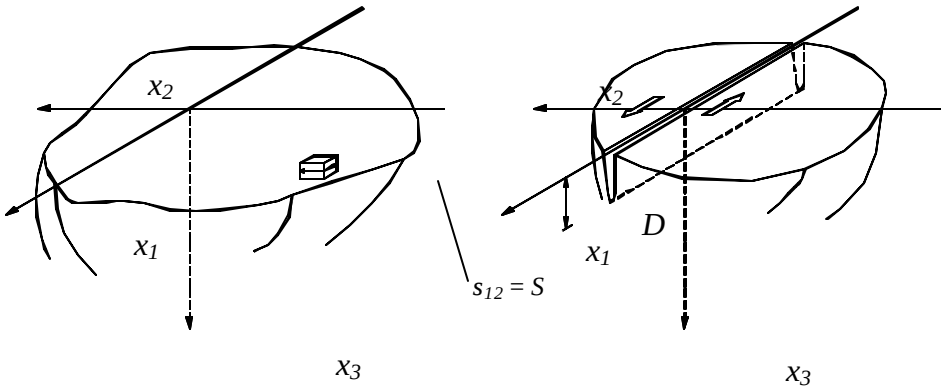


Figura 10.23 Izquierda: Semiespacio con S_{12} = S; Derecha: Corte profundidad D

La solución del desplazamiento según Knopoff será:

$$u_1=\frac{SD}{m}\left(1-\left(\frac{x_3}{D}\right)\right)\rightarrow x_3\leq D$$

$$s_{21}=\left\{\begin{array}{l} -S\rightarrow\rightarrow\rightarrow\rightarrow\rightarrow\rightarrow x_3\leq D \\ S\left[\dfrac{x_3}{\sqrt{x_3^2-D^2}}-1\right]\rightarrow x_3\geq D\end{array}\right\} \qquad (10.15)$$

Introduciendo el concepto del desplazamiento relativo máximo de la superficie igual a:

$$U_m = 2\frac{SD}{m} \qquad (10.16)$$

Es posible estimar el esfuerzo asociado a ese desplazamiento, es decir si Ds = S; entonces la ecuación anterior se transforma en:

$$\Delta s = \frac{1}{2}\frac{U_m m}{D} \qquad (10.17)$$

Donde Ds es un esfuerzo cortante al que se le suele llamar caída de esfuerzos y es la diferencia en los esfuerzos antes y después del movimiento. Para el caso de una falla con ancho D con desplazamiento relativo máximo U_m en la dirección en que se mide D se han encontrado soluciones del tipo:

$$\Delta s = \frac{2(l+m)}{l+2m}\frac{U_m m}{D} \qquad (10.18)$$

Ahora, si $l=m$ el factor de esta ecuación es 4/3; además si la falla es circular con radio r_0 equivalente se tiene que:

$$\Delta s = \frac{7p}{24}\frac{U_m m}{r_0} \qquad (10.19)$$

La teoría de elasticidad estática permite la obtención de soluciones para el campo de desplazamientos dado lo que sucede en una región donde ocurre una dislocación. La teoría de dislocaciones nació con los trabajos de Volterra, pero Steketee (1958) la aplicó a la sismología con buenos resultados que permitieron estimar de manera confiable el valor del momento estadístico del doble par asociado a una dislocación en superficie plana. Usando la equivalencia con las fuerzas de cuerpo que ocasionan un movimiento relativo medio, U se obtiene que el momento mencionado se obtiene tal y como se mencionó en el primer capítulo

como: $M_0 = mUDL$

Donde L es la longitud de dislocación. Este resultado estático ha probado ser de gran utilidad al introducirse como variable en los problemas sismológicos y tiene relación con magnitudes asociadas con la energía liberada; dicha definición se debe a Aki (1966). Teniendo en cuenta que una aproximación valida resulta que:

U_m=3/2U, entonces la caída de esfuerzos se puede determinarse a partir del Momento sísmico y para una falla circular idealizada como:

$$\Delta s = \frac{7}{16}\frac{M_0}{r_0^3} \qquad (10.20)$$

Siguiendo lo anterior la energía total involucrada en la ruptura esta dada mediante:

$$E = \frac{1}{2}(s_1 + s_2)UDL \qquad (10.21)$$

Donde s_1 y s_2 son los esfuerzos antes y después de la ruptura, de tal suerte que $Ds=s_1-s_2$. Ahora bien, parte de la energía, E_s, es radiada como ondas sísmicas y el resto, E_f, se pierde en forma de calor; por lo que la energía total es: $E=E_f+E_s$. Si E_f se define en términos del esfuerzo de fricción promedio de la falla, s_f, mediante $E_f=s_fUA$ entonces se obtendrá que la energía radiada estaría dada por:

$$E_S = \frac{1}{2}(s_1 + s_2 - 2s_f)UDL \qquad (10.22)$$

Esta expresión se puede rescribir introduciendo el concepto de eficiencia sísmica (Ψ) de tal manera que:

$$E_s = y\,E \qquad (10.23)$$

Entonces usando ecuaciones que relacionan momento sísmico y energía se puede deducir que:

$$E_S = \frac{y(s)M_0}{m} \qquad (10.24)$$

Donde $Y(s)=Y/2(s_1+s)$ es igual al esfuerzo promedio aparente. Normalmente la energía sísmica se puede obtener del análisis espectral de sismogramas o de las relaciones energía-magnitud, de esta forma se puede calcular el esfuerzo promedio aparente; la determinación de la eficiencia es un poco más complicada ya que puede requerir determinar los esfuerzos instrumentalmente.

Savage y Wood, (1971) definieron la energía radiada como:

$$E_S = \left[\frac{s_1 - s_2}{2} + (s_2 - s_f)\right] M_0 / m \quad \text{donde} \quad s_a = \left[\frac{s_1 - s_2}{2} + (s_2 - s_f)\right] \qquad (10.25)$$

Por lo que $E_S = s_a M_0 / m$ y s_a a es el denominado esfuerzo aparente; después de los avances en la definición del mecanismo generador de sismos, varios investigadores propusieron hipótesis sobre la magnitud de esfuerzos iniciales y finales con respecto a la caída de esfuerzos.

Orowan (1960) propuso que $s_2 = s_f$ y a partir de esta premisa obtuvo que $Y_f(s) = 1/2 Ds$, donde Ψ_f es la eficiencia sísmica. por lo que la ecuación 10.25 que relaciona energía y momento se transforma en:

$$E_s = \frac{1}{2}\frac{\Delta s\, M_0}{m} \qquad (10.26)$$

El esfuerzo aparente en el modelo de Orowan es: $s_a = \frac{\Delta s}{2} = \frac{m E_S}{M_0}$ (10.27)

Kanamori (1977) acogiendo el modelo de Orowan con relaciones de $Ds/m \approx 10^{-4}$ encontró relaciones de la energía con el momento sísmico de la forma:

$$E_s = \frac{\Delta s}{2m} M_0 \approx 5*10^{-5} \qquad (10.28)$$

Posteriormente Savage y Wood, (1971) propusieron que $s_2 < s_f$ f, modelo que se denominó "overshoot" y en este caso se obtuvo que:

$$\frac{m E_s}{M_0} < \frac{\Delta s}{2} \quad \text{por lo que} \quad s_a < \frac{\Delta s}{2} \qquad (10.29)$$

Y Brune (1970) propuso que el esfuerzo final s_2 fuera mayor el esfuerzo de fricción, s_f ($s_2 > s_f$), en lo que se constituyó el modelo de caída de esfuerzo parcial, para lo que se obtiene una relación entre momento y energía de la forma:

$$\frac{mE_s}{M_0} > \frac{\Delta s}{2} \qquad (10.30)$$

De esta forma el momento sísmico es, entonces, una medida de la energía sísmica liberada y un parámetro útil para la estimación de la magnitud del temblor. Así lo entendió Kanamori (1977) quien desarrolló la escala de Magnitud de momento basada en el momento sísmico. La escala extendió la aplicación de la escala de Richter de manera que se podían medir sismos de grandes magnitudes con mayor precisión. Ya que Richter determinó una expresión que relacionaba magnitud de ondas de superficie y energía radiada como: $\log E_s = 1.5M_s + 11.8$; Kanamori hizó $M_S = M_W$ y supuso de forma aproximada usando el modelo de Orowan que $\frac{\Delta s}{m} \approx 10^{-4}$ para llegar a que: $M_w = 2/3 \log M_0 - 10.73$

La ruptura se inicia en una zona relativamente pequeña que se considera puntual, una vez se sobrepasa la resistencia de los materiales de la corteza empieza un proceso dinámico de relajaciones y concentraciones súbitas de esfuerzos en diferentes regiones que hace que la ruptura se propague. A pesar de que se tenía la idea que ya que eran los esfuerzos cortantes los que generaban la ruptura y que la velocidad de propagación de la ruptura era similar a la velocidad de onda cortante, se ha descubierto por evidencia instrumental que esta parece ser el valor máximo para este fenómeno.

- **Espectro de amplitudes de desplazamiento y aceleración en campo cercano**

Los espectros de amplitudes de Fourier de desplazamiento de sismos reales cerca al origen muestran una tendencia de decrecimiento con la frecuencia, por lo que algunos autores sugirieron la idea de que el decrecimiento fuera proporcional a $?^{-1}$; de esta manera con dicho modelo y teniendo la historia de los desplazamientos en el borde de la falla de la forma:

$$U(t) = \frac{s_a}{m} bt \left(1 - e^{-t/t}\right) \qquad (10.31)$$

Donde t es el tiempo de la ruptura t=L/v L es la longitud de ruptura. La transformada de Fourier de la ecuación anterior permitirá observar que:

$$U(w) = \frac{s_a b}{m} \frac{1}{w\sqrt{w^2 + \frac{1}{t^2}}} \qquad (10.32)$$

Lo cual muestra la forma de decrecimiento espectral propuesta por las tendencias de los sismos reales. Al usar la definición estática de M_0 se tiene en cuenta que este puede determinarse con buena aproximación de espectros de amplitudes de Fourier de campo lejano en bajas frecuencias; esta condición se cumple si las longitudes de onda y la distancia a la fuente es grande. De esta forma los espectros de amplitudes de Fourier de las ondas P cuando a cada uno de los pares se les asigna una variación en el tiempo dada por una función de Heaviside multiplicada por M_o están dados en el campo lejano por:

$$U_P(w) = \frac{1}{4p\,R} \frac{M_0}{r a^3} R_{qfP} \qquad (10.33)$$

Y el espectro de ondas S por:

$$U_S(w) = \frac{1}{4p\,R} \frac{M_0}{r b^3} R_{qfS} \qquad (10.34)$$

Donde R_{qf}P es el valor cuadrático medio del patrón de radiación de ondas P y R_{qf}S el de las ondas S. En 1923, Nakano mediante la teoría de elasticidad, suponiendo una tierra elástica, infinita e isotrópica dedujo los patrones de radiación para los modelos de par sencillo y par doble, esto llevo a la derivación de las primeras ecuaciones de desplazamiento para el modelo de par doble, que finalmente fue aceptado como correcto modelador del fenómeno. Se ha discutido mucho de la bondad de doble par para modelar temblores, debido a que el patrón de radiación en el campo lejano para las ondas P es el mismo que el del par simple; en el caso de ondas S no sucede así, sin embargo, el modelo de doble par fue ganando adeptos y en la década de los 60 era ya el modelo aceptado. De esta forma mediante el estudio de la polaridad de los primeros movimientos, se han podido establecer las características del patrón de radiación para el doble par que aproxima el inicio de un temblor y contar con información del mecanismo en la fuente. Lo anterior fue corroborado mediante estudios de mecanismos basados en las componentes de las ondas S, el ángulo de polarización o en ondas superficiales, que permitieron establecer que el modelo de doble par de fuerzas es el que mejor describe el mecanismo focal de un terremoto.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, Haskell (1966) definió una función de dislocación de la forma D *(z,,t)*, la cual es el desplazamiento de la discontinuidad a lo largo del plano de falla en el punto z y en el tiempo t. El plano de falla se extiende a lo largo del eje z (*figura 10 izquierda*)?y la función de dislocación es considerada como la dislocación promedio sobre el ancho w de la falla; se supone que la falla se acaba cuando z =L, donde L es la longitud de la falla tal y como se muestra en la *figura 10 derecha*. De manera general la dislocación que sufre una falla se genera en un segmento de la misma y no en toda su extensión; mecánicamente es imposible que se genere un sismo de gran magnitud en un punto o segmento de falla corto, entonces, cuanto mayor sea la distancia de fallamiento, mayor será la magnitud y existen correlaciones con datos mundiales que han permitido relacionar la magnitud y la longitud de la falla de la forma: Bolt (1978):

$$M_s = 6.03 + 0.76 \log L \qquad (10.35)$$

Sin embargo, la ruptura que se observa en la superficie no necesariamente representa la extensión del plano fallado, debido a que muchas rupturas solo se extienden parcialmente hasta la superficie y la mayoría no se pueden observar del todo, pues ocurren a grandes profundidades o bajo el fondo oceánico, entonces, es necesario tener en cuenta este tipo de consideraciones; además, los tipos de fallas establecen diferentes formas de comportamiento en la longitudes de la ruptura por lo que son necesarias relaciones para cada tipo de fuente.

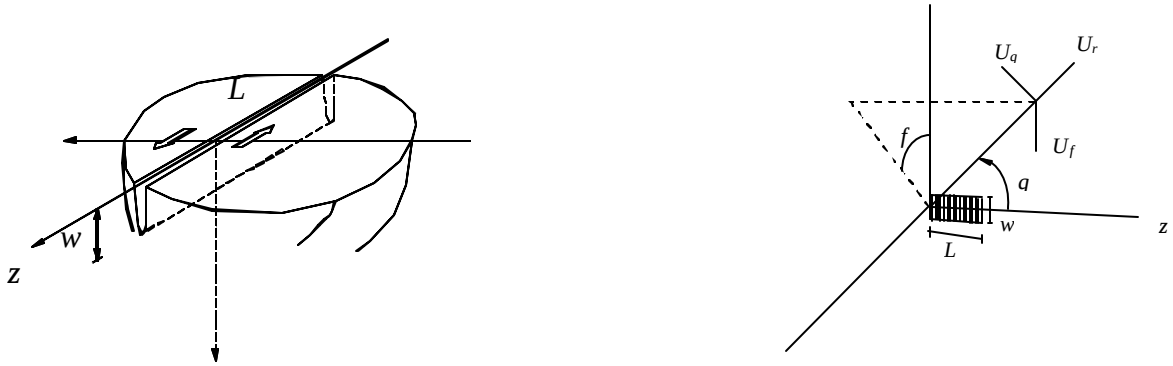


Figura 10.24. Izquierda: Diagrama de falla rectangular de Haskell; Derecha: Sistemas de referencia locales para una falla rectangular.

Para describir la fenomenología de la radiación de alta frecuencia provocada por temblores, a partir de estudios sismológicos, Aki (1967) estudio el modelo de dislocación de Haskell (1964), en el que una ruptura bajo esfuerzo cortante se propaga a través de una falla rectangular, la cual está dentro de un espacio

elástico, isótropo e infinito. Aki dedujo que los desplazamientos en campo lejano debido a las ondas P y S, son, en sistema de coordenadas polares tal como el mostrado en la *figura 10* derecha.

$$U_R = \frac{1}{4pb^3R}\left(\frac{b}{a}\right)^3 Sen(2q)Sen(f)w\int_0^L \dot{D}\left(z, t-\frac{R-z\,Cos(q)}{a}\right)dz \qquad (10.36)$$

$$U_q = \frac{1}{4pb^3R}Cos(2q)Cos(f)w\int_0^L \dot{D}\left(z, t-\frac{R-z\,Cos(q)}{b}\right)dz \qquad (10.37)$$

$$U_f = \frac{1}{4pb^3R}Cos(2q)Sen(f)w\int_0^L \dot{D}\left(z, t-\frac{R-z\,Cos(q)}{b}\right)dz \qquad (10.38)$$

Donde U_R, U_q y U_f son los desplazamientos en dirección radial, angular y longitudinal respectivamente, w es el ancho de la falla, L la longitud. $\dot{D}(x,t)$ es la función de velocidad de dislocación. Tomando el punto inicial de la falla como el origen de las coordenadas cartesianas el sistema de coordenadas es tal que x=Rcos (q), y=Rsen (q) y z=Rsen (q)Cos (q). Las anteriores expresiones tienen la forma común:

$$U = P(r, q, f, a, b)w\int_0^L \dot{D}\left(z, t-\frac{r-\cos q}{(a,b)}\right)dz \qquad (10.39)$$

Aplicando la transformada de Fourier para llevar la anterior expresión al dominio de la frecuencia obtenemos que:

$$U(w) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t)e^{-iwt}dt$$

$$U(w) = w\int_{-\infty}^{\infty} e^{-iwt}dt * \int_0^L \dot{D}\left(z, t-\frac{r-z\,\cos q}{(a,b)}\right)dz \qquad (10.40)$$

Siguiendo el planteamiento inicial de Haskell (1966) fue necesario estimar la función de dislocación en cualquier momento t+t_i y en cualquier punto z+x_i; para ello se necesito introducir una función de autocorrelación $\rho(x_i,t_i)$ de D(z,t) de la forma:

$$r(x_i, t_i) = \int_{-\infty}^{\infty}\int \dot{D}(z,t)\dot{D}(z+x_i, t+t_i)dz\,dt \qquad (10.41)$$

De esta forma es posible según Haskell (1966) establecer que la función temporal (es decir la función de autocorrelación del tiempo) decrece exponencialmente con el log (t_i) y tiene la forma:

$$r(t_i) = \int_{-\infty}^{\infty} D(z,t)D(z + x_i, t + t_i)dt = r_0 e^{-k_T|t_i|} \qquad (10.42)$$

Y la función espacial (es decir la función de auto correlación del espacio) de auto correlación de velocidad de dislocación se describe a partir de

$$r(x_i) = \int_{-\infty}^{\infty} D(z,t)D(z + x_i, t + t_i)dx = r_0 e^{-k_L|x_i| - k_T|t_i - x_i/v|} \qquad (10.43)$$

Donde v es la velocidad de dislocación y $v=k_T/k_L$. Usando las funciones espaciales y temporales de auto correlación descritas, Aki (1967) dedujo que el espectro de amplitudes de Fourier del desplazamiento provocado por las ondas S puede expresarse de la siguiente forma:

$$U(w) = \frac{1}{4\pi\rho b^3 R} \frac{wD_0 L}{\sqrt{1+\left(\frac{Cos(q)}{b}\frac{1}{v}\right)^2\left(\frac{w}{k_L}\right)^2}\sqrt{1+\left(\frac{w}{k_T}\right)^2}} \qquad (10.44)$$

Donde D_0 es el desplazamiento promedio de la falla; Aki estudió el caso particular cuando $q=0$ y además considerando la definición de momento sísmico como: $M_0=\mu wLD_0$ pudo definir el espectro de amplitudes de desplazamiento como sigue a continuación:

$$U(f) = \frac{R_{\theta\phi}}{4\pi\rho b^3}\frac{M_0}{1+\left(\frac{f}{f_c}\right)^2}\frac{1}{R} \qquad (10.45)$$

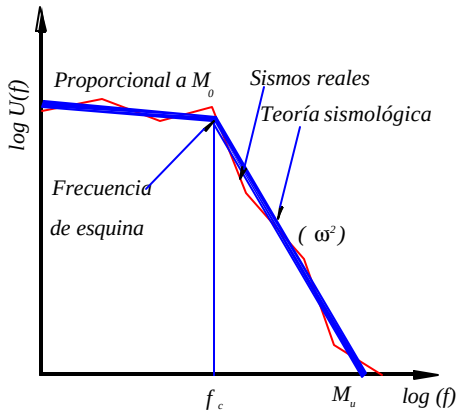


Figura. 10.25. Espectro de amplitudes de Fourier de desplazamiento típico en un lugar cercano la falla.

Donde R_{qf} es el patrón de radiallustración, r es la densidad de masa del material, y f_c es la llamada frecuencia de esquina. El término 1/R modela la atenuación geométrica de las ondas de cuerpo en el campo lejano; después se verá cómo este varía a medida que se aleja de la fuente para reflejar mejor la atenuación de las ondas a grandes distancias. Este espectro contiene una parte plana en la zona de bajas frecuencias, cuya amplitud es proporcional a Mo.

Para altas frecuencias, el espectro decae como función de f^2, por lo que es llamado modelo "omega cuadrada" (w^2) y las dos zonas del espectro se cortan aproximadamente en la frecuencia de esquina, como se puede ver en la *figura 10.24*. Esta frecuencia se relaciona con la dimensión del radio de la fuente de la siguiente forma (Brune, 1970):

$$r_0 = 2.34\frac{b}{w_c} \qquad (10.46)$$

Donde r_0 es el radio equivalente de una falla circular en Km, para la caída de esfuerzos y el momento sísmico que se tiene en consideración y $w_c=2pf_c$. El espectro de la ecuación 10.45, al ser multiplicado por w^2?dará como resultado el espectro de amplitudes de Fourier de aceleraciones:

$$A(f)=CR_{\Theta f}S(f)\frac{1}{R} \qquad (10.47)$$

Donde C es un término constante que depende de las propiedades del material, dado por:

$$C=\frac{1}{4\pi r b^3} \qquad (10.48)$$

El término S(f) es llamado espectro de fuente de Brune (1970), quien suponiendo que la dislocación en el borde de la falla es de la forma $1-e^{-t/t}$ llego a un resultado similar; actualmente esta relación es llamada modelo de Brune, el parámetro t (o $k_T^{-1}=2\pi f_c$ en el modelo de Aki) debe ser de orden r_0/b donde r_0 es una dimensión característica definida anteriormente de la zona de ruptura; Una forma típica del espectro de amplitudes de aceleraciones se muestra en la *figura 11* y el término S(f) puede ser evaluado por la siguiente relación:

$$S(f)=\frac{Mo.f^2}{1+\left(\frac{f}{f_c}\right)^2} \qquad (10.49)$$

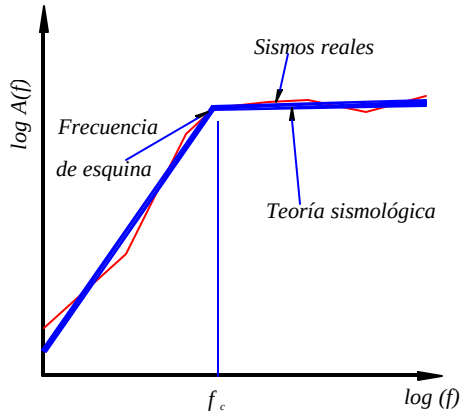


Figura 10.26. Espectro de amplitudes de Fourier de aceleraciones típico en un lugar cercano a la falla.

Brune (1970), con base en un modelo de falla circular encontró relaciones entre la frecuencia de esquina, el momento sísmico y la dimensión de la falla, de tal forma que la frecuencia de esquina para el modelo es:

$$f_c=4.9*10^6 b*\sqrt[3]{\frac{\Delta s}{Mo}} \qquad (10.50)$$

En la expresión 50 Ds es la caída de esfuerzos medida en bares, b está dada en km/seg y Mo en dinas-cm.

Este modelo permitió derivar nuevamente la energía en función del momento sísmico como: (Singh y Ordaz ,1994)

$$E_s \approx 0.46 \frac{\Delta s}{2m} M_0 \qquad (10.51)$$

y al esfuerzo aparente asi:

$$s_a = \frac{m E_s}{M_0} \approx 0.23 \Delta s \qquad (10.52)$$

- **Espectro de amplitudes en campo lejano**

El término A(f) de la ecuación 47 representa el espectro de aceleraciones en un medio ideal; las condiciones bajo las cuales se va modificando este espectro a medida que el movimiento avanza se describen a continuación:

Atenuación Regional. Es llamada también absorción anelástica y puede ser utilizada como un indicador de las posiciones de la litósfera (zona de relativa baja absorción y por tanto elevado valor de Q) y de la astenósfera (alta absorción y Q pequeña) en una determinada región. Para una zona de subducción el valor de Q para las ondas P, Q_p toma valores próximos a 1000 para la litósfera, entre 200 y 500 para la astenósfera y de 1000 a 3000 para la corteza oceánica que se introduce bajo la placa continental. Este parámetro toma en cuenta la energía disipada por procesos viscosos, comportamiento no lineal de la roca o disipación por calor. Esta atenuación depende de las propiedades de la roca, la frecuencia y de la distancia recorrida; está muy ligada a las características tectónicas locales.

Será necesario calibrar este parámetro para nuestro modelo de atenuación en el ambiente colombiano; bajos valores de Q están asociados a regiones sísmicamente activas, mientras que altos valores representan zonas estables. Se ha visto que una forma apropiada de representar este tipo de atenuación es mediante la multiplicación de A(f) por un filtro con término exponencial decreciente con la forma $e^{p*f*R/bQ}$ donde $Q=Qo*f^e$ aquí Qo y e son constantes para una zona de la corteza en análisis; estos últimos parámetros son los que será necesario tabular en función del mejor nivel de correlación que se obtenga de una base de datos de sismos de la región.

Decaimiento de la alta frecuencia. Como se aprecia en la ecuación 47, el espectro de Brune predice amplitud constante para f >> f_c. Esto no puede ser así, en primer lugar por consideraciones energéticas, y además porque, como se observa en los espectros reales, a medida que se avanza en distancia, las altas frecuencias se van

filtrando y las amplitudes de aceleración van decayendo de una forma más rápida que lo predicho por la atenuación regional. Dicho decaimiento se ha atribuido tanto a efectos de fuente como a efectos de las capas superficiales.

Boore(1983) utiliza la frecuencia de corte introducida por Hanks (1982), f_{max}, para modelar el abrupto decaimiento de la energía de alta frecuencia mediante un filtro Butterworth pasabajas. Singh et al. (1982) encontraron que este decaimiento podía ser representado mediante una expresión exponencial de la forma $e^{-\pi fk}$, donde k es un factor que depende del sitio y que será motivo de calibración en nuestro estudio. Además, se ha visto que el parámetro k tiene variación con la distancia de la forma $k=k_1+R/Q_1$.

Partición de la energía en dos componentes. Como la energía del espectro fuente es total, se supone una partición en dos componentes ortogonales horizontales, por lo que se involucra el factor $\sqrt{1/2}$, suponiendo que las componentes son iguales en ambas direcciones.

Corrección por superficie libre. Se aplica un factor de 2 para predecir las amplificaciones de onda al llegar a la superficie debido al brusco cambio de impedancias.
Patrón de radiación. Se usarán los recomendados en la literatura internacional (Boore 1983; Boatwright, 1984) que oscilan entre 0.55 y 0.63.

Atenuación geométrica. El término 1/R implica la predominancia de ondas de cuerpo para distancias cercanas al epicentro; sin embargo a mayores distancias, la predominancia es de ondas superficiales. Este efecto debe tomarse en cuenta transformando el término 1/R en $(R*Rx)^{-1/2}$, donde Rx es la distancia epicentral a partir de la cual predominarán las ondas superficiales.

Introduciendo estos efectos se puede describir el viaje de las ondas S a través del medio y así establecer el espectro de amplitudes de aceleración en cualquier sitio particular. En estas condiciones, la ecuación original 10.47 se transforma en la siguiente:

$$A(f)=\frac{2}{\sqrt{2}}R_{\Theta f}CMo\frac{\overbrace{\frac{f^2}{1+\left(\frac{f}{f_c}\right)^2}}^{Brune}e^{\left(\frac{-p\,fR}{b\,Qof^{e}}\right)}e^{\left(-p\,(k_1+\frac{R}{Q_1})\,f\right)}}{R} \qquad (10.53)$$

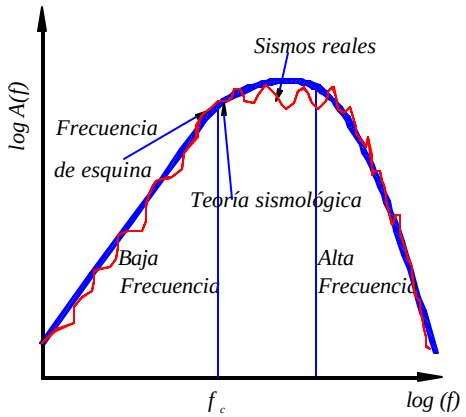


Figura 8.27. Espectro de amplitudes de aceleración en campo lejano

Este modelo es llamado de "fuente puntual" y representa el EAF en un sitio deseado después del viaje de las ondas afectado por las variables mencionadas, dichas variables son las que reflejan el proceso de atenuación de amplitudes para altas frecuencias. Forma típica de estos espectros puede observarse en la *figura 10.27*.

Dicho modelo ha sido aplicado en muchas zonas del mundo, para distancias de hasta 100 Km Después de esa distancia el movimiento deja de estar controlado por las ondas S.

- **Espectro de amplitudes de fuente finita**

Se ha observado que a distancias focales muy pequeñas, comparables con el tamaño de la ruptura, el modelo de fuente puntual falla. Por lo cual para contar con un modelo útil en las cercanías de la fuente, Singh et al. (1989) desarrollaron un modelo sismológico que tiene en cuenta el tamaño finito de la zona de ruptura. El modelo contempla una falla circular de radio r_o que rompe con intensidad uniforme a lo largo del área. El punto de observación P esta situado justo arriba del foco que se localiza a una distancia R_o sobre el hipocentro. El área de ruptura se divide en elementos de tamaño diferencial ds_i ; además se supone que la ruptura de cada elemento ocurre aleatoriamente distribuida sobre el área de ruptura S. Así el EAF puede ser descrito en cercanías del punto P como (Papageorgiu y Aki, 1985, Joyner y Boore, 1986):

$$A(f) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (A_i(f))^2} \qquad (10.54)$$

Donde n es el número de elementos en que se divide S. y $A_i(f)$ es el espectro radiado por el elemento i, dado por:

$$A_i(f)=\frac{2}{\sqrt{2}}R_{\theta f}CM_0 f_c^2\frac{e^{\left(\frac{-p R_i}{bQ_0}\right)}}{R_i}e^{(-pkf)}\frac{\partial S_i}{\partial S} \qquad (10.55)$$

Si n se hace suficientemente grande, la sumatoria se puede reemplazar por una integral de modo que la expresión queda:

$$A(f)^2=4R_{\theta f}^2C^2M_0^2 f_c^4\frac{e^{(2pkf)}}{p r_0^2}\int_0^{r_0}\int_0^{2p}\frac{e^{\left[\frac{-2p\sqrt{r_0^2+R_0^2}}{bQ_0}\right]}}{r^2+R_0^2}r\partial r\partial q \qquad (10.56)$$

Al resolver esta expresión se llega al modelo de fuente finita:

$$A(f)^2=4R_{\Theta f}C^2\left(Mof_c^2\right)^2\frac{e^{\left(-2p\left(k_1+\frac{R}{Q_1}\right)f\right)}}{(r_o)^2}\left[E1(a R_0)-E1\left[h\sqrt{\left(r_0^2+R_0^2\right)}\right]\right] \qquad (10.57)$$

Donde E1( ) es la integral exponencial (Gautschi y Cahill, 1965) y $h=2p/bQo.$, esta integral sólo tiene solución numérica.

El modelo de fuente finita parte de la suposición de que el observador se encuentra a una distancia cercana. Como ya se vio anteriormente, el radio de la falla equivalente crecerá a medida que aumente la magnitud; si esto sucede, y teniendo en cuenta que las ondas sufren todos los fenómenos de atenuación descritos anteriormente, la contribución de ondas que vienen del cada vez más lejano perímetro sufrirá los procesos exponenciales de atenuación, haciendo que la aceleración no crezca de forma indefinida. Este comportamiento es el que provoca la saturación de la aceleración para magnitudes muy grandes y distancias cercanas al epicentro.

En efecto, se ha observado de registros de movimientos fuertes en sitios localizados sobre la zona de ruptura de grandes temblores costeros de México, que para magnitudes grandes (M>7) las aceleraciones máximas del terreno, A_{max}, no crecen como lo predicen los modelos usuales de atenuación (ver, por ejemplo Idriss, 1985). Esto sugiere que existe un fenómeno de saturación de A_{max} al

aumentar la magnitud, algo que muchas de las leyes usuales de atenuación no predicen de forma adecuada. En resumen, la definición del EAF es la siguiente:

Si R<Rx,

$$(A(f))^2 = 4R_{\Theta f} C^2 \left(Mof_c^2\right)^2 \frac{e^{\left(-2p\left(k_1+\frac{R}{Q_1}\right)f\right)}}{(r_o)^2}\left[E1(a\,R_0)-E1\left[h\sqrt{\left(r_0^2+R_0^2\right)}\right]\right] \qquad (10.58)$$

Si R>Rx,

$$A(f)=\frac{2}{\sqrt{2}}R_{\Theta f}CMo\frac{f^2}{1+\left(\frac{f}{f_c}\right)^2}\frac{e^{\left(\frac{-p\,fR}{b\,Qof^e}\right)}e^{\left(-p\,(k_1+\frac{R}{Q_1})\,f\right)}}{R} \qquad (10.59)$$

Se encontró que una distancia Rx para la cual existe un buen acoplamiento entre las 2 ecuaciones del EAF en la República de Colombia es de aproximadamente 100 Km

- **Leyes de atenuación a partir del EAF**

El EAF de aceleración en el sitio refleja el contenido de frecuencia del movimiento sísmico en cuestión. Sin embargo, hace falta la información de las fases del acelerograma y no hay forma de conocerla. Así las cosas, existiría una gran cantidad de señales que cumplirían con tener el mismo EAF y la misma duración de fase intensa, cada una de ellas con diferentes fases y, por tanto, con un diferente valor de intensidad máxima. Por esta razón, esta variable se vuelve aleatoria. Es necesario recurrir a la teoría de vibraciones aleatorias para determinar esos valores extremos asociados a cada EAF.

- Procesos Estocásticos y Teoría de vibraciones aleatorias

Los sismos y sus registros, los sismogramas, acelerogramas, velocigramas, etc. son tratados como procesos estocásticos que tienen contribuciones en un amplio rango de frecuencia contenido; sin embargo interesa conocer variables internas de estos registros tales como, por ejemplo, el numero de veces que es sobrepasado un cierto valor o el numero de cruces por cero o, más importante aún los valores máximos que se pueden presentar. Esto es útil para análisis de fatiga de

elementos o para el diseño de las estructuras civiles que le competen a la ingeniería sísmica moderna.

El desarrollo de la teoría para manejar los problemas expuestos anteriormente inicia con los trabajos de S.O. Rice (1954), Cartwright y Longuet-Higgins (1956), A.Powell (1958), S.H Crandall (1963), A.G. Davenport (1964) y muchos otros autores, que para el momento han desarrollado una ciencia al respecto consolidada. El siguiente tratamiento de variables sigue el planteamiento original de los autores mencionados.

- Tasas de ocurrencia de un valor umbral

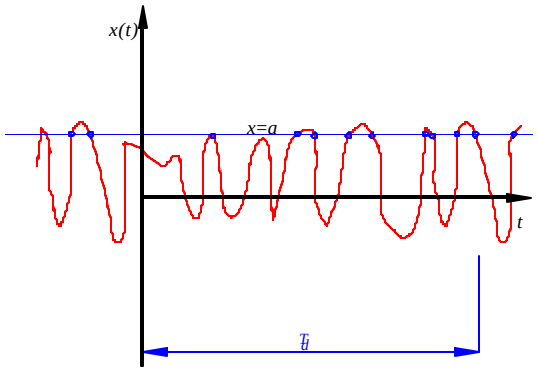


Figura 10.28. cruces de un nivel de intensidad umbral para un proceso estocástico.

Considérese una función x(t) con espectro de amplitudes x(*w*) y densidad espectral G(*w*) que sigue un proceso estacionario tal y como se muestra en la *figura 10.27*. El comportamiento de la función cerca de sus valores extremos puede ser descrito de forma simple como medida útil para estimar el número de cruces que existe de una cantidad umbral denotada por a en una duración de evento descrita por T_d. Ahora si nombramos $N_a^+(T)$ como la variable aleatoria que denota el numero de veces que se supera el valor positivo umbral de a en la duración T_d del proceso estocástico; entonces el valor medio de dicha variable puede ser denotado por $n_a^+(T)$; de esta forma siguiendo teoría de procesos aleatorios llegamos a que:

$$n_a^+(T_d) = E\left(N_a^+(T_d)\right) \qquad (10.58)$$

Denotando una tasa de ocurrencia por unidad de tiempo de los cruces por el umbral positivo a como ν_a^+ entonces la ecuación 58 se rescribe como:

$$n_a^+(T_d) = n_a^+ T_d \tag{10.59}$$

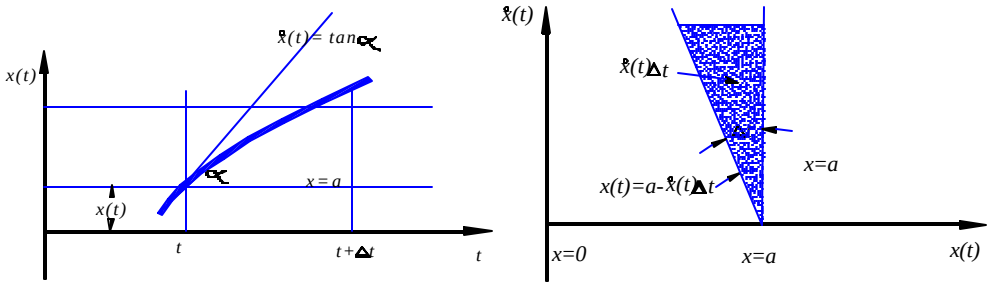


Figura 10.29. Cruces de un nivel de intensidad umbral para un proceso estocástico. Derecha: región favorable para los cruces de x=a.

Proponiendo la derivada de x(t) con respecto al tiempo como:

$$\frac{\partial x(t)}{dt} = \dot{x}(t) \tag{10.60}$$

Entonces es posible proponer la densidad de probabilidades entre la amplitud x(t) y el cambio de la amplitud con respecto al tiempo $\dot{x}(t)$ como $p_{x\dot{x}} = (x, \dot{x})$ en el intervalo $t+D$, tal y como se muestra en la figura 15 izquierda. Esta condición hace que usando la región favorable para los cruces de x=a mostrada en la figura 15 derecha sobre la cual la densidad conjunta de probabilidades pueda ser integrada es posible encontrar la probabilidad de cruce de un valor determinado en el intervalo del tiempo. Todos los puntos que se encuentran dentro de la cuña del espacio x(t) $\dot{x}(t)$ de la figura 15 derecha cumplen con la condición que x(t)<a; por consiguiente la probabilidad de que se alcance el valor prescrito umbral en el tiempo t esta dada mediante:

$$P_{n_a^+ \Delta t} = n_a^+ \Delta t = \int_0^{\infty} \int_{a-\dot{x}\Delta t}^{a} p_{x\dot{x}}(x, \dot{x}) dx d\dot{x} \tag{10.62}$$

Si Dt se vuelve infinetisimal y además teniendo en cuenta de que la probabilidad toma el valor medio esperado de la tasa de cruces, la anterior ecuación puede ser simplificada con las siguientes consideraciones:

$$\int_{a-\dot{x}\Delta t}^{a} p_{x\dot{x}}(x, \dot{x}) dx d\dot{x} = p_{x\dot{x}}(x = a, \dot{x})\, \dot{x} \Delta t \tag{10.63}$$

Y la doble integral se evalúa mediante:

$$\Delta t = \int_0^{\infty} p_{x\dot{x}}(a,x)\dot{x}d\dot{x} \qquad (10.64)$$

La tasa de ocurrencias por unidad de tiempo de valores que sobrepasan el valor umbral positivo prescrito esta dada por:

$$n_a^{+} = \int_0^{\infty} p_{x\dot{x}}(a,\dot{x})\dot{x}d\dot{x} \qquad (10.65)$$

Si la ley de probabilidad usada se aplica a un proceso estacionario estocástico Gaussiano o Normal y, las desviaciones estándar de la amplitud y la velocidad de cambio de amplitud son descritas mediante los valores esperados de los momentos estadísticos a una potencia cuadrática de la densidad espectral del proceso, la ecuación anterior toma la forma:

$$p(x,\dot{x}) = \frac{1}{2p\, m_0 m_2} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{m_0^2}+\frac{\dot{x}^2}{m_2^2}\right)} \qquad (10.66)$$

Donde m_0 y m_2 son los momentos estadísticos de la densidad espectral $G(w)$; de esta forma reemplazando la ecuación 10.66 en la 10.65 obtenemos que:

$$n_a^{+} = \frac{e^{-\frac{a^2}{2m_0^2}}}{\sqrt{2p}\, m_0 \sqrt{2p}\, m_2} m_2^2 \qquad (10.67)$$

La cual después de varias simplificaciones llega a una más sencilla expresión como:

$$n_a^{+} = \frac{1}{2p}\frac{m_2}{m_0} e^{-\frac{a^2}{2m_0^2}} \qquad (10.68)$$

De esta forma teniendo la densidad espectral de un acelerograma es posible, reemplazando en la ecuación 10.68 encontrar el número de veces por unidad de tiempo que se sobrepasa un cierto valor de intensidad a; mediante la ecuación

10.59 y con la duración es posible estimar el número esperado de ocasiones que se sobrepasa el mismo parámetro. Por ejemplo si se deseara conocer el número de cruces por cero de un proceso estocástico con densidad espectral conocida, el valor umbral en la ecuación 10.68 sería cero y el resultado sería simplemente:

$$n_o = \frac{1}{2p}\frac{m_2}{m_0}T_d \qquad (10.69)$$

En Ingeniería sísmica T_d es la duración de la fase intensa del evento, que de acuerdo con Herrman y para el modelo omega cuadrada estudiado (1985) para terrenos firmes estaría dada por:

$$T_d = \frac{1}{f_C} + 0.05R \quad (r_0 \text{ en el caso de fuente finita, km}) \qquad (10.70)$$

Aproximaciones de Herrman y de Atkinson y Boore, (1995) permitieron estimar la duración de la fase intensa correspondiente al 90% del contenido de energía como:

$$\log T_d = 0.207M_s + 0.264\log R - 0.65 \pm 0.19 \qquad (10.71)$$

Nótese que en la literatura internacional existe una forma bastante amplia de estimar este parámetro de vital importancia. La duración de la fase intensa de los movimientos tiene fuerte influencia en los daños, debido a que muchos procesos físicos como la degradación de rigidez y resistencia necesitan varios ciclos para poder generar mecanismos de daño en las estructuras o incrementar la presión de poros hasta un punto tal que genere licuación, en ocasiones sismos cortos con altas aceleraciones no han generado daños considerables, mientras que sismos largos con aceleraciones moderadas si lo han hecho.

La duración esta asociada al tiempo necesario para liberar la energía en una fuente, por lo que su relación con la magnitud es directa; más exactamente con la raíz cúbica del momento sísmico; si la longitud, el área o el volumen de ruptura crece, la duración también lo hará; en cambio, si la velocidad de propagación de la ruptura aumenta, la duración disminuirá y cuando la ruptura es bilateral, es decir que la falla rompe en 2 sitios diferentes y viaja en direcciones opuestas como fue el caso del sismo de Loma Prieta en 1989 la duración también se reduce.

Para propósitos de ingeniería solo la porción de la fase intensa es útil y esta ha sido motivo de debate desde Bolt,(1969) que propuso la duración de la fase intensa como el tiempo transcurrido entre la primera y última excedencia de un valor mínimo umbral, normalmente de 0.05g; otra definición de duración esta basada (Trifunac y Brady, 1975) es basada en el intervalo de tiempo necesario para llevar la energía del sismo de 5 al 95%; otra medida común es mediante la suma de los tiempos t_{is} en que cierta aceleración umbral es superada; sin embargo, en los últimos años se ha venido aceptando de forma generalizada la estimación de duración de la fase intensa mediante el intervalo de tiempo necesario para llevar la intensidad de Arias del 5 al 95%. Una recopilación de las diferentes formas de estimar esta variable esta detallada en Bommer y Martinez-Pereira (1999)

En este trabajo se usa la duración de fase intensa basada en el criterio de la frecuencia de esquina ya que este parámetro tiene en cuenta la fractura y las variables que hacen parte del proceso de ruptura como longitud, área y velocidad de dislocación.

- Distribución de probabilidad de los máximos

Una vez más considerando una muestra de la función x(t) que puede tener muchos picos tanto positivo como negativos como si muestra en la *figura 10.29* para un proceso estacionario y estocástico. Para fines de ingeniería dichos picos pueden ser de interés en el diseño de las estructuras

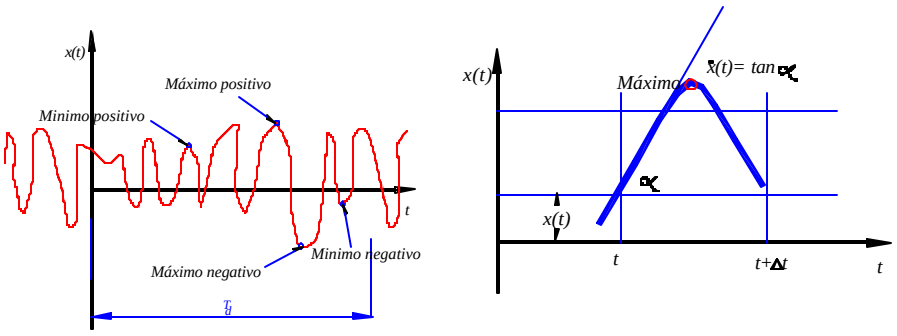


Figura 10.30. Valores máximos y mínimos para un proceso estacionario.

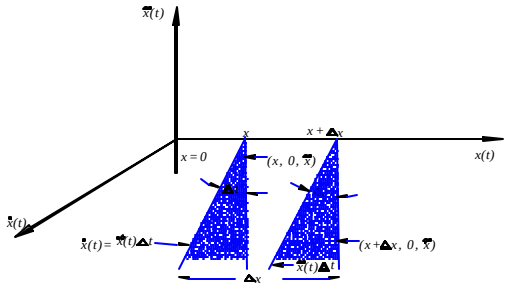


Figura 10.31 Volumen favorable para un máximo positivo en el intervalo de tiempo *t+Dt*

Para la estimación de un máximo o un mínimo como vemos en la *figura 10.30* derecha la velocidad de cambio de la amplitud se vuelve cero y existe un cambio de pendiente; por ello conviene, además, buscar la aceleración de cambio de amplitud y siguiendo la metodología del numeral anterior la densidad de probabilidades conjunta de la amplitud x(t), la velocidad de cambio, $\dot{x}(t)$ de la amplitud y la aceleración de cambio de la amplitud, $\ddot{x}(t)$ esta dada mediante $p_{x\dot{x}\ddot{x}}(x,\dot{x},\ddot{x})$.

La probabilidad acumulada conjunta se obtiene de la integral triple de la densidad de probabilidad conjunta con los límites de integración que se observan en la *figura 10.31* que muestra el espacio de las variables de interés, de esta forma:

$$P_m = \int_{x}^{x+\Delta x} \int_{\ddot{x}=-\infty}^{0} \int_{\dot{x}=0}^{\ddot{x}\Delta t} p(x,\dot{x},\ddot{x})\, d\dot{x}\, d\ddot{x}\, dx \qquad (10.72)$$

para intervalos de tiempo infinitesimales Dt tiende a ser cero por lo que la primera integral se puede simplificar; además para que exista un máximo de la amplitud es necesario un cambio de pendiente por lo que debe existir un punto de velocidad de cambio de la amplitud cero; de esta manera la expresión anterior se transforma en:

$$P_m = \left[\int_{\ddot{x}=-\infty}^{0} p(x,\dot{x}=0,\ddot{x}) \left|\ddot{x}\right| \Delta t\, d\ddot{x} \right] \left(x+\Delta x - x \right)$$

$$P_m = \left[-\int_{-\infty}^{0} p(x,0,\ddot{x})\, \ddot{x}\, d\ddot{x} \right] \Delta x \Delta t \qquad (10.73)$$

Donde $P_m/\Delta t$ puede ser interpretado como la frecuencia de los valores máximos en el intervalo (x, x+Δx). La frecuencia de los valores extremos en todo el dominio puede ser evaluada a partir de:

$$n_{\max} = \int_{-\infty}^{\infty} \left[-\int_{-\infty}^{0} p(x,0,\ddot{x})\ddot{x}d\ddot{x} \right] dx \qquad (10.74)$$

Finalmente la densidad de probabilidades de valores extremos se obtiene a partir de la relación entre los máximos en el segmento x+Δx y la frecuencia de máximos en todo el dominio de la forma:

$$P_m(x) = \frac{\left[-\int_{-\infty}^{0} p(x,0,\ddot{x})\ddot{x}d\ddot{x} \right]}{\int_{-\infty}^{\infty} \left[-\int_{-\infty}^{0} p(x,0,\ddot{x})\ddot{x}d\ddot{x} \right] dx} \qquad (10.75)$$

Los procesos estacionarios estocásticos son Gaussianos, esto es, que el proceso es gobernado por distribuciones normales. Por ello para la ecuación anterior es necesario encontrar función de densidad de probabilidad conjunta que relacione la amplitud, el cambio de la amplitud con el tiempo y su aceleración de cambio, esta además también seguirá un proceso Gaussiano, por lo que la función conjunta normal propuesta toma la forma:

$$p(x,\dot{x},\ddot{x}) = \frac{1}{2\pi^{\frac{3}{2}} \det D^{\frac{1}{2}}} \exp\left[-\frac{1}{2}(x-n)^T D^{-1}(x-n) \right] \qquad (10.76)$$

Donde $(x-n)^T = (x,\dot{x},\ddot{x})$ con media cero y

$$D = \begin{bmatrix} m_0 & 0 & -m_2 \\ 0 & m_2 & 0 \\ -m_2 & 0 & m_4 \end{bmatrix} \qquad (10.77)$$

Para este caso la matriz invertida esta dada mediante:

$$D^{-1} = \frac{1}{m_2(m_0 m_4 - m_2^2)} \begin{bmatrix} m_2 m_4 & 0 & -m_2 \\ 0 & m_2 & 0 \\ -m_2 & 0 & m_4 \end{bmatrix} \qquad (10.78)$$

Donde m_n son los momentos estadísticos de orden n de la densidad espectral G (*w*) definidos anteriormente. De esta manera la densidad conjunta de probabilidades queda descrita mediante:

$$p(x,\dot{x},\ddot{x}) = \frac{1}{2p^{\frac{3}{2}}\det D^{\frac{1}{2}}}\exp\left[-\frac{1}{2}\frac{m_2m_4x^2 + m_0m_4\dot{x}^2 + m_2m_0\ddot{x}^2 + 2m_2^2}{m_2\left(m_0m_4m_2^2\right)}\right] \quad (10.79)$$

Y para el caso de velocidad de cambio de amplitud la expresión anterior se vuelve tan solo:

$$p(x,0,\ddot{x}) = \frac{1}{2p^{\frac{3}{2}}\det D^{\frac{1}{2}}}\exp\left[-\frac{1}{2}\frac{\frac{x^2}{m_0} + \frac{2m_2x\ddot{x}}{m_0m_4} + \frac{\ddot{x}^2}{m_4}}{m_2\left(m_0m_4 - m_2^2\right)}\right] \quad (10.80)$$

Proponiéndose hipótesis simplificatorias en términos del denominador m_0m_4-m_2^2 como un valor siempre positivo e insertando en la ecuación 2.100 de la tasa por unidad de tiempo de valores máximos esperados:

$$n_{\max} = \frac{-1}{(2p)^{\frac{3}{2}}\sqrt{m_2\left(m_0m_4 - m_2^2\right)}}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{0}\exp\left[-\frac{1}{2}\frac{\frac{x^2}{m_0} + \frac{2m_2x\ddot{x}}{m_0m_4} + \frac{\ddot{x}^2}{m_4}}{\frac{\left(m_0m_4 - m_2^2\right)}{m_0m_4}}\right]\ddot{x}d\ddot{x}dx \quad (10.81)$$

Realizando las integrales llegamos a que la tasa queda descrita en términos de:

$$n_{\max} = \frac{1}{(2p)^{\frac{3}{2}}\sqrt{m_2\left(m_0m_4 - m_2^2\right)}}\sqrt{2p}\sqrt{\frac{m_0m_4 - m_2^2}{m_4}}m_4 \quad (10.82)$$

Y finalmente simplificando obtenemos que:

$$n_{\max} = \frac{1}{2p}\sqrt{\frac{m_4}{m_2}} \quad (10.83)$$

De esta manera para obtener el numero de valores extremos en un lapso de tiempo es necesario multiplicar la tasa de extremos por unidad de tiempo por la duración del evento de la forma:

$$n_{\max} = n_{\max} T_d \tag{10.84}$$

La densidad de probabilidad de los máximos se obtiene reemplazando las expresiones 2.104 y 2.105 en la expresión original 2.101 y toma la forma (siguiendo la notación de Cartwright y Longuett-Higgins-1956):

$$P_m(h_x) = \frac{1}{\sqrt{2p}} \left[e^{-\frac{h_x^2}{2e^2}} + \sqrt{1-e^2}\, h_x \exp\left[-\frac{h_x^2}{2e^2} \right] \int_{-\infty}^{\frac{h_x\sqrt{1-e^2}}{e}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \right] \tag{10.85}$$

en la cual

$$h_x = \frac{x}{m_0} \tag{10.86}$$

y

$$e^2 = \frac{m_0 m_4 - m_2^2}{m_0 m_4} \quad \text{o} \tag{10.87}$$

Que es el parámetro introducido por Cartwright y Longett-Higgins llamado parámetro de ancho de banda y que toma valores entre cero y uno. El parámetro de ancho de banda esta directamente relacionado con el ancho de banda de frecuencias y para valores de cero entonces define que el numero medio máximos es igual al numero de cruces por cero; es decir existe un máximo por cada cruce por cero. Esto corresponde a un proceso de banda estrecha que puede ser simplificado a una densidad de probabilidades de Rayleigh de la forma:

$$P_m(h_x) = h_x \exp\left[-\frac{h_x^2}{2} \right] \tag{10.88}$$

Por el contrario si el parámetro de ancho de banda es uno, entonces el sistema toma densidad de probabilidad normal o Gaussiana de la forma:

$$P_m(h_x) = \frac{1}{2p} \exp\left[-\frac{h_x^2}{2} \right] \tag{10.89}$$

- Distribución de probabilidad de los valores picos

En muchas aplicaciones de la ingeniería sísmica es necesario encontrar los valores pico dependientes de los máximos que se pueden esperar de un proceso y como se podría esperar estos valores picos están relacionados a la cantidad de máximos anteriormente evaluados. Siguiendo a Powell es fácil hacer uso de la teoría para encontrar el numero de máximos proponiendo una vez más una función x (t) observada en un tiempo T_d. La distribución de probabilidad de los picos escogida como aleatoria para un valor x=a que es excedido tiene la forma:

$$P[pico > a] = \int_a^{\infty} P_p(x)dx \qquad (10.90)$$

donde $P_p(x)$ es la densidad de probabilidad; teniendo en cuenta que en la duración del evento el proceso puede tener n_0T_d numero de cruces por cero y n_aT_d cruces sobre una intensidad x=a en promedio. La fracción favorable de volumen en el espacio para picos mayores de los valores extremos de x=a es propuesta simplemente por:

$$\frac{n_a^+T_d}{n_0^+T_d} = \frac{n_a^+}{n_0^+} = \int_a^{\infty} P_p(x)dx \qquad (10.91)$$

Derivando la ecuación anterior con respecto al valor umbral a para buscar los máximos obtenemos que:

$$-P_p(x) = \frac{1}{n_0^+}\frac{dn_a^+}{da} \qquad (10.92)$$

La cual es la expresión general para la densidad de probabilidades de picos de un proceso de banda estrecha. Para procesos Gaussianos las frecuencias de cruces por un valor umbral a esta descrita como definimos según la ecuación 83, por lo que al reemplazar en la ecuación 92 es posible obtener que:

$$-P_p(a) = -\frac{a}{m_0^2}e^{-\frac{a^2}{2m_0^2}} \qquad (10.93)$$

Siguiendo los planteamientos de Davenport la anterior expresión de la distribución de los valores picos con respecto a los valores cuadráticos medios queda como una función de los valores extremos n_{max} como:

$$P_E\left(\frac{a_{pico}}{a_{cm}}\right)=\left[P_M\left(\frac{a_{pico}}{a_{cm}}\right)\right]^{n_{\max}}=\exp\left[-n\,T_d\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{a_{pico}}{a_{cm}}\right)^2\right)\right] \qquad (10.94)$$

Donde $n=\dfrac{n_{\max}}{\sqrt{1-e^2}}$

Para obtener los máximos de la distribución anterior es necesario derivarla con respecto a la relación entre valores medios y picos como:

$$P_m\left(\frac{a_{pico}}{a_{cm}}_{\max}\right)=\frac{\P P\left(\frac{a_{pico}}{a_{cm}}_{\max}\right)^{n_{\max}}}{\P\,\frac{a_{pico}}{a_{cm}}_{\max}} \qquad (10.95)$$

que toma la forma aproximada

$$\frac{dP_M}{d\left(\frac{a_{pico}}{a_{cm}}\right)}=n_{\max}P_M^{n_{\max}-1}P_M\left(\frac{a_{pico}}{a_{cm}}\right) \qquad (10.96)$$

El desarrollo de esta expresión llega a que:

$$P_m\left(\frac{a_{pico}}{a_{cm}}\right)=n_{\max}\left(f\left(\frac{\frac{a_{pico}}{a_{cm}}}{e}\right)-\sqrt{2p}\,k f\left(\frac{a_{pico}}{a_{cm}}\right)f\left(\frac{\frac{a_{pico}}{a_{cm}}k}{e}\right)^{n_{\max}-1}\right)*$$

$$*\left[\frac{1}{e}f\left(\frac{\frac{a_{pico}}{a_{cm}}}{e}\right)+\sqrt{2p}\,k f\left(\frac{a_{pico}}{a_{cm}}\right)\left(\frac{a_{pico}}{a_{cm}}f\left(\frac{\frac{a_{pico}}{a_{cm}}k}{e}\right)-\frac{k}{e}f\left(\frac{\frac{a_{pico}}{a_{cm}}k}{e}\right)\right)\right] \qquad (10.97)$$

Donde

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2}} e^{-\frac{y^2}{2}} \qquad (10.98)$$

Y

$$k^2 = 1 - e^2 \qquad (10.99)$$

A partir de esta ecuación es posible calcular los momentos estadísticos de la relación entre picos y medios de forma simple mediante:

$$E\left(\frac{a_{pico}}{a_{cm}}^{k}\right) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{a_{pico}}{a_{cm}}^{k} P_m\left(\frac{a_{pico}}{a_{cm}}_{\max}\right) d\frac{a_{pico}}{a_{cm}}_{\max} \qquad (10.100)$$

De esta última expresión puede demostrarse (Cartwright y Longuett-Higgins, 1956; Davenport, 1964) que si el logaritmo natural de n_{max} no es demasiado pequeño, son válidas las siguientes aproximaciones asintóticas:

$$E\left(\frac{a_{pico}}{a_{cm}}_{\max}\right) = \sqrt{2\ln(n_{\max} T_d)} + \frac{g}{\sqrt{2\ln(n_{\max} T_d)}} \qquad (10.101)$$

Donde g es la constante de Euler (= 0.577...) y por consiguiente el valor al cuadrado del valor esperado de la relación entre picos y cuadráticos medios es

$$E\left(\frac{a_{pico}}{a_{cm}}^{2}\right) = \sqrt{2\ln(n_{\max} T_d)} + 2g\,\frac{1}{2\ln(n_{\max} T_d)} + \frac{g^2}{\sqrt{2\ln(n_{\max} T_d)}} \qquad (10.102)$$

Por lo que su varianza es:

$$\mathrm{var}\left(\frac{a_{pico}}{a_{cm}}\right) = \frac{p^2}{6}\,\frac{1}{2\ln(n_{\max} T_d)} \qquad (10.103)$$

- Aplicaciones en Ingeniería Sísmica

Ya que los procesos sísmicos están descritos mediante su espectro de amplitudes de Fourier como se describieron en las secciones anteriores y además son considerados procesos estocásticos y estacionarios, entonces toda la teoría de valores extremos anteriormente expuesta puede ser usada con las adaptaciones respectivas. A la relación entre el valor pico y el valor cuadrático medio se le suele denominar “factor pico”:

$$FP = \frac{a_{\max}}{a_{cm}} \qquad (10.104)$$

De esta forma una vez se cuenta con el factor pico es posible encontrar la intensidad pico correspondiente que interese en términos de su valor cuadrático medio como:

$$a_{\max} = FP * a_{cm} \qquad (10.105)$$

Reemplazando en las expresiones derivadas y usando el espectro de amplitudes de la intensidad que interese ser evaluada. En este capítulo fueron derivados con anterioridad las expresiones para espectros de amplitudes de Fourier de aceleraciones, A(f) (ecuaciones 10.53 y 10.57) por lo que si aplicamos la teoría de vibraciones aleatorias para este caso y reemplazamos en las ecuaciones 10.101 y 10.105 llegamos a obtener que la aceleración esperada máxima de los espectros derivados de teoría sismológica es:

$$E[A_{\max}] = \sqrt{2\ln\left(\frac{1}{2p}\sqrt{\frac{m_4(A(f))}{m_2(A(f))}}T_d\right)}\sqrt{m_0(A(f))} + \\ + \frac{g}{\sqrt{2\ln\left(\frac{1}{2p}\sqrt{\frac{m_4(A(f))}{m_2(A(f))}}T_d\right)}}\sqrt{m_0(A(f))} \qquad (10.106)$$

Donde siguiendo la definición de momento estadístico para los EAF de aceleración

$$m_4(A(f)) = \frac{32p^4}{T_d}\int_{-\infty}^{\infty}(f)^4 A(f)df \qquad (10.107)$$

$$m_2\left(A(f)\right) = \frac{8p^2}{T_d}\int_{-\infty}^{\infty}(f)^2 A(f)df \qquad (10.108)$$

y

$$m_0\left(A(f)\right) = \frac{2}{T_d}\int_{-\infty}^{\infty} A(f)df = A_{cm}^2 \qquad (10.109)$$

En vista de las ecuaciones 10.53, 10.57, 10.70, 106, 10.107, 10.108 y 10.109, es posible estimar A_{max} si se conocen el EAF y la duración de fase intensa de un sismo. A_{max} resulta ser entonces una función del momento sísmico, de la distancia focal, y de los parámetros libres Ds, Q_0, e, k_1, Q_1, r, b y R_{qf}. Por otra parte, entre el momento sísmico y la magnitud existe la siguiente relación propuesta por Hanks y Kanamori (1979):

$$Log_{10}(Mo) = 1.5M_w + 16.1 \qquad (10.110)$$

- Valores extremos para Colombia

El procedimiento de análisis propuesto consiste en generar leyes de atenuación mediante el ajuste de los parámetros libres, de suerte que se minimice la dispersión con respecto a aceleraciones observadas en territorio colombiano. Obsérvese que el efecto de los parámetros libres r, b y R_{qf} es el mismo (los tres son constantes de proporcionalidad). Por esta razón, se fijan los dos primeros y se deja libre el tercero.

Nótese que, en este problema, la solución óptima en el sentido de mínimos cuadrados no puede ser obtenida directamente o con soluciones cerradas, por tratarse de un problema fuertemente no lineal. Por otra parte, mientras que en las soluciones lineales de mínimos cuadrados se obtienen simultáneamente error cuadrático mínimo y error medio nulo, en los problemas no lineales no necesariamente ocurre así. En el presente trabajo se procedió iterativamente hasta encontrar soluciones con error medio tendiente a cero (para no subestimar o sobrestimar sistemáticamente) y error cuadrático medio mínimo.

Para realizar el análisis se separaron los sismos de Colombia en dos tipos representativos de la tectónica del territorio: 1) las aceleraciones registradas durante la ocurrencia de sismos en la zonas de subducción y de Benioff bajo la placa continental (“*Subducción*”); y 2) las registradas durante sismos de fallas

activas en el territorio nacional ("*Activa*"). Se tienen en total más de 200 eventos registrados en la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC), de los cuales fueron descontados algunos que presentaban efectos de sitio visibles, patrones anómalos de radiación o posibles errores en las mediciones de los aparatos.

Se generó una ley de atenuación para cada uno de estos dos casos y una ley general ("*Nacional*"), que incluye todos los registros. Para nuestro análisis *R* se tomó como la distancia hipocentral, y la variable que se intenta predecir es la aceleración neta registrada, definida como la raíz de la suma de las componentes horizontales al cuadrado dividida entre dos:

$$A_n=\sqrt{\frac{A^2_{ns}+A^2_{eo}}{2}} \qquad (10.111)$$

Los datos de aceleraciones registradas en Colombia se muestran en catálogos separados por tipos de fuentes en las siguientes tablas 10.5 y 10.6.

- Datos y procedimiento de análisis.

Al realizar el análisis de minimización se procedió a construir los espectros de fuente finita y fuente puntual para cada combinación de magnitud y distancia. La *figura 10.33* izquierda las formas típicas de este tipo de espectros. Ya que el espectro de fuente finita genera amplitud constante para las bajas frecuencias, en ese rango se usa el valor mínimo correspondiente al espectro de fuente puntual.

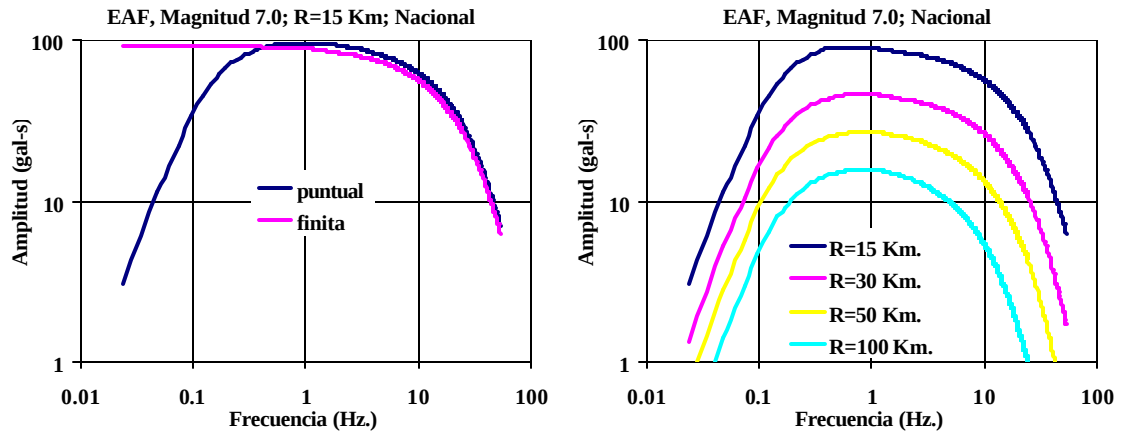


Figura 10.32. Izquierda: Modelos de fuente puntual y fuente finita para una combinación de magnitud y distancia; derecha: Leyes de atenuación para diferentes distancias en una misma magnitud.

Al realizar el mismo análisis para diferentes distancias es posible construir leyes de atenuación de espectros de amplitudes de Fourier para diferentes magnitudes como se observa en la *figura 10.32* derecha. Cada uno de estos espectros tiene un valor pico esperado que se puede evaluar con la teoría anteriormente expuesta.

Al comparar los registros calculados y registrados y minimizar la desviación fue posible identificar los parámetros del modelo sismológico adoptado para describir el EAF; estos se muestran en la tabla 10.4.

ZONA	**Q1**	e	**Qo**	R_{qf}	K_1	s	Ds	e_m
Activa	3600	1.0	750	0.6	0.008	0.56	125	0.007
Subducción	3800	1.5	750	0.6	0.010	0.65	250	-0.002
Promedio nacional	3800	1.5	750	0.6	0.012	0.65	185	-0.007

Tabla 10.4. Resultado de la calibración de parámetros para cada caso analizado.

e_m es el error medio, que se define como el promedio de los logaritmos de los cocientes entre aceleraciones observadas y calculadas; e_m es una medida del sesgo de la estimación. s es la desviación estándar de los logaritmos naturales

Para los sismos de fallas activas la desviación estándar es de 0.56, mientras que para subducción es de 0.65. Si se incluyen todos los sismos (“nacional”) se obtiene un valor de s =0.65. En términos generales, los errores medios son aceptablemente bajos. Resulta bastante relevante mencionar que el realizar los análisis con bases de datos propias es bastante importante y útil; sin embargo, el análisis de los datos disponibles ha permitido evaluar los parámetros relevantes de un modelo sismológico y no han generado por si mismos mediante regresiones clásicas aproximaciones estadísticas que para el caso de bases de datos pobres como es nuestro caso no funcionan bien.

El desempeño de estas nuevas leyes de atenuación fue comparado para fines académicos y desde el punto de vista estadístico, con el de las usadas en estudios anteriores realizados en el país, utilizando la misma base de datos de aceleraciones que se ha utilizado en el presente trabajo. Los resultados de dicha comparación y sus conclusiones estadísticas más importantes por tipo de zona se presentan en la *tabla 10.5.*

ACTIVA			SUBDUCCION		NACIONAL	
Ley	s	e_m	s	e_m	s	e_m
Donovan I+	1.14	0.91	0.78	-0.42	0.97	-0.66
DonovanII+	1.47	-1.28	1.06	-0.83	1.26	-1.05
McGuire+	1.47	-1.31	1.18	-0.97	1.35	-1.14
Promedio+	1.44	-1.25	1.06	-0.83	1.24	-1.04
Activa*	0.56	0.007	-	-	-	-
Subducción*	-	-	0.65	-0.002	-	-
Nacional*	-	-	-	-	0.65	0.007

Tabla 10.5. Comparación estadística de las diferentes leyes usadas. Se analiza el desempeño de diversas leyes de atenuación (filas de la tabla) cuando se utilizan diversas bases de datos (columnas de la tabla)

+Leyes consideradas en el Estudio de Amenaza Sísmica de Colombia
*Leyes obtenidas en este estudio

Las conclusiones de dicha tabla son bastante relevantes porque muestran que la desviación de relaciones antiguas es bastante mayor cuando se usan con sismos colombianos, el uso del método semiempírico mostrado en el capítulo genera leyes de atenuación con desviaciones y sesgos bastante aceptables, teniendo en cuenta la amplia dispersión con que trabaja este tipo de problemas. e_m fue además graficado para cada tipo de fuente con respecto a la distancia, para poder visualizar su comportamiento a medida que se alejan del epicentro los diferentes eventos; el resultado en las leyes "activa" y "subducción", presenta un grado aceptable de simetría para todas las distancias comprobando así el bajo error medio o sesgo, como se puede observar en la *figura 10.6*:

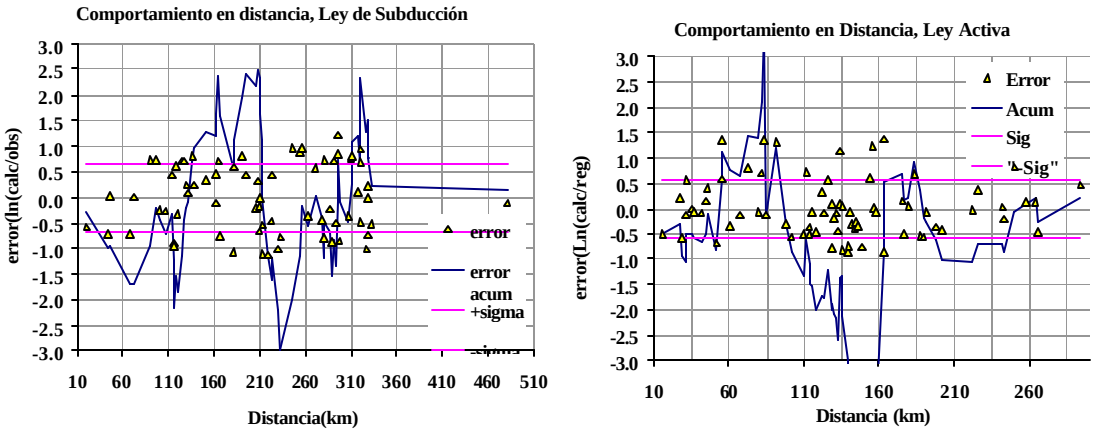


Figura 10.33. Izquierda: Modelos de fuente puntual y fuente finita para una combinación de magnitud y distancia; derecha:Leyes de atenuación para diferentes distancias en una misma magnitud.

Se observa que, en general, las leyes usadas en los estudios anteriores para el país tienen desviaciones estándar mayores que las determinadas en este estudio y, además, sobrestiman sistemáticamente las aceleraciones observadas. También se nota que, para igual magnitud y distancia, la ley para sismos de subducción predice aceleraciones más altas que para los temblores continentales; esto se refleja, principalmente, en un mayor valor de la caída de esfuerzos. En todas las leyes se observa la saturación de A_{max} en altas magnitudes y cortas distancias. Al comprobar con sismos pasados de los cuales se conoce su magnitud y distancia epicentral, es posible corroborar el favorable comportamiento de las leyes de EAF encontradas a partir del análisis con sismos colombianos. El contar con buenas aproximaciones para los espectros de EAF garantiza que los valores pico generados a partir de teoría de vibraciones aleatorias de los mismos sean correctos.

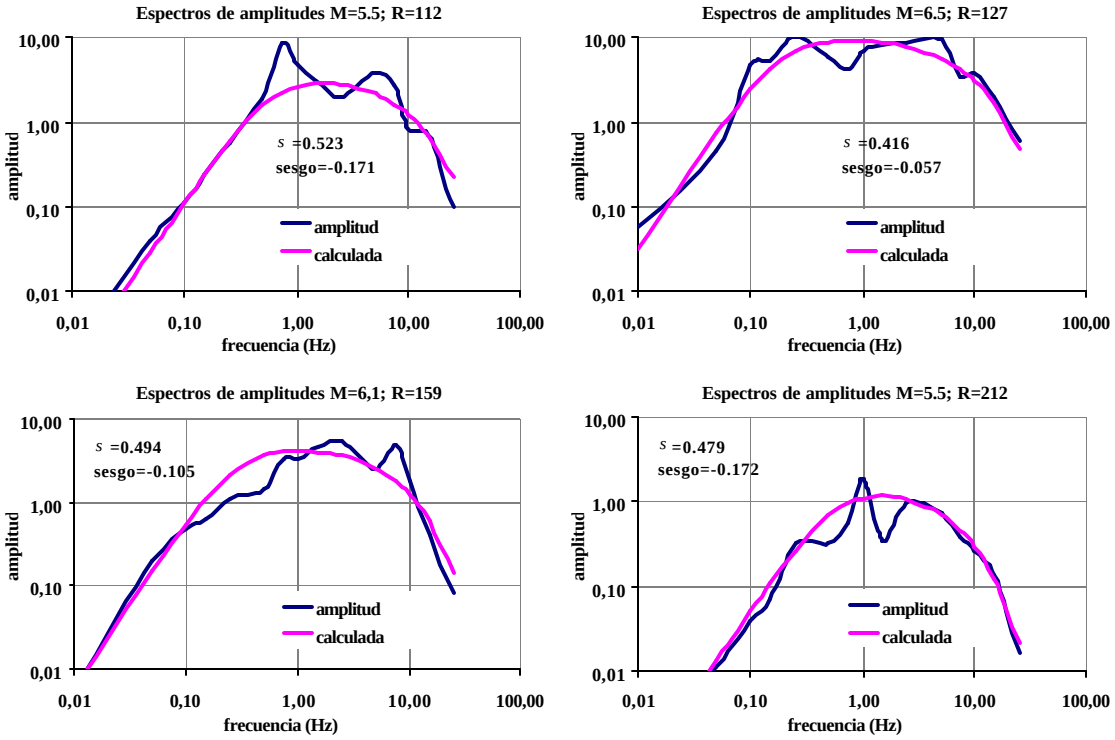


Figura 10.34. Izquierda: Modelos de fuente puntual y fuente finita para una combinación de magnitud y distancia; derecha:Leyes de atenuación para diferentes distancias en una misma magnitud.

En la *figura 10.34* es posible ver la buena aproximación de los EAF calculados contra los registrados en algunos sismos intermedios en Colombia. Al repetir el proceso para todas las distancias y magnitudes es posible generar leyes de atenuación de la intensidad asociada; en este primer caso los EAF reflejan la variable de aceleración máxima del suelo por lo que pueden obtenerse los valores

picos de cada combinación de magnitud y distancia para cada tipo de mecanismo focal como es posible observar en la *figura 10.30.*

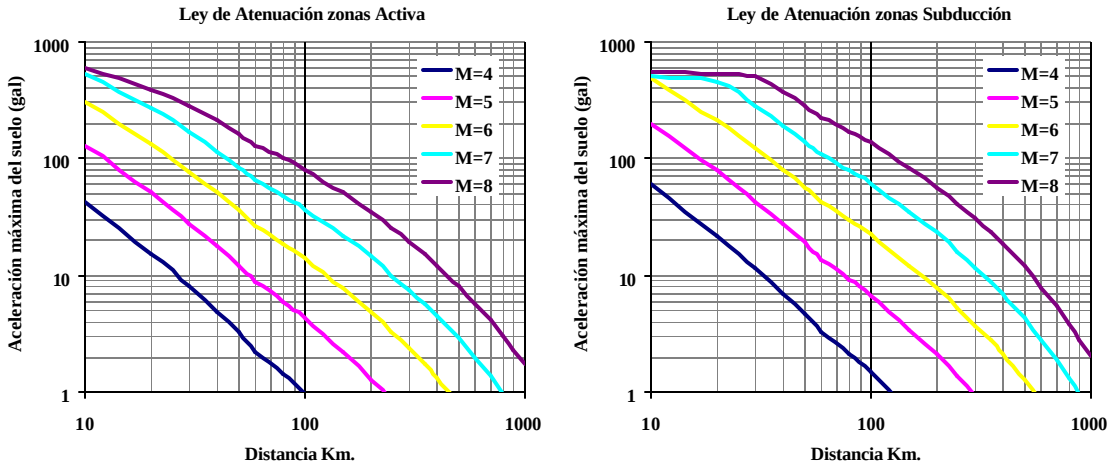


Figura 10.35. Leyes de atenuación de A_{max} para las zonas tectónicas del territorio Colombiano

Y ya que cada estimación de intensidad requiere el análisis de teoría de vibraciones aleatorias, entonces no es necesario parametrizar este tipo de relaciones. Sin embargo, para consulta de datos es presentada la *tabla 10.8* donde se observan para los diferentes mecanismos focales la estimación de la aceleración máxima del suelo en diferentes magnitudes y distancias de interés. En la *tabla 10.9*, e_m es el error medio, que se define como el promedio de los logaritmos de los cocientes entre aceleraciones observadas y calculadas; e_m es una medida del sesgo de la estimación. s ?es la desviación estándar de los logaritmos naturales. Para los sismos de fallas activas la desviación estándar es de 0.56, mientras que para subducción es de 0.65. Si se incluyen todos los sismos (“nacional”) se obtiene un valor de s = 0.65.

Zonas de Subducción					
R(Km)	M=4	M=5	M=6	M=7	M=8
10	45.8	149.7	365.4	499.0	550.0
20	17.0	60.1	159.6	340.7	533.0
30	9.0	33.3	93.1	211.1	368.9
40	5.5	21.3	61.7	145.3	274.3
50	3.7	14.7	43.9	106.7	211.5
60	2.6	10.7	32.8	81.7	167.8
80	1.7	7.3	23.3	60.4	130.1
100	1.2	5.3	17.5	46.7	104.0
150	0.6	2.8	9.8	27.7	65.2
200	0.3	1.7	6.2	18.3	44.7
250	0.2	1.1	4.2	12.8	32.3
300	0.1	0.8	3.0	9.4	24.2
350	0.1	0.6	2.2	7.1	18.6
400	0.1	0.4	1.7	5.5	14.6
500	0.0	0.2	1.0	3.4	9.4
600	0.0	0.2	0.7	2.3	6.3
700	0.0	0.1	0.5	1.5	4.4
800	0.0	0.1	0.3	1.1	3.1
900	0.0	0.0	0.2	0.8	2.2
1000	0.0	0.0	0.2	0.6	1.6

Zonas Activas					
R(Km)	M=4	M=5	M=6	M=7	M=8
10	41.8	128.4	302.3	529.2	589.6
20	15.3	51.2	131.9	272.8	394.4
30	8.0	28.1	76.5	169.1	282.1
40	4.8	17.8	50.3	116.0	210.6
50	3.2	12.2	35.6	84.8	162.6
60	2.3	8.8	26.5	64.7	129.0
80	1.4	5.9	18.6	47.5	99.9
100	1.0	4.2	13.9	36.6	79.8
150	0.5	2.2	7.7	21.6	50.1
200	0.2	1.3	4.8	14.2	34.5
250	0.1	0.8	3.3	10.0	25.2
300	0.1	0.6	2.3	7.4	19.2
350	0.1	0.4	1.7	5.6	15.0
400	0.0	0.3	1.3	4.4	12.0
500	0.0	0.2	0.8	2.8	8.0
600	0.0	0.1	0.5	1.9	5.6
700	0.0	0.1	0.4	1.4	4.1
800	0.0	0.0	0.3	1.0	3.0
900	0.0	0.0	0.2	0.7	2.3
1000	0.0	0.0	0.1	0.5	1.7

Tabla 10.6. Resultado de la calibración de parámetros para cada caso analizado

- **Cálculo de amenaza sísmica en suelo firme.**

Una vez conocidas la sismicidad de las fuentes y los patrones de atenuación de las ondas generadas en cada una de ellas, el peligro sísmico puede calcularse considerando la suma de los efectos de la totalidad de las fuentes sísmicas y la distancia entre cada fuente y el sitio donde se encuentra la estructura. El peligro, expresado en términos de las tasas de excedencia de intensidades ***a***, se calcula mediante la siguiente expresión (Esteva, 1970):

$$n(a \mid Ro, p) = \sum_{n=1}^{n=N} \int_{Mo}^{Mu} -\frac{\P l}{\P M} \Pr(A > a \mid M, Ro) dM \qquad (10.112)$$

Donde la sumatoria abarca la totalidad de las fuentes sísmicas, *N*, y *Pr(A>**a** | M,R)* es la probabilidad de que la intensidad exceda un cierto valor, dadas la magnitud del sismo, *M*, y la distancia entre la i-ésima fuente y el sitio, *R*. Las funciones *l(M)* son las tasas de actividad de las fuentes sísmicas, mismas que se describieron anteriormente en la ecuación 1. La integral se realiza desde M_0 hasta M_u, lo que indica que se toma en cuenta, para cada fuente sísmica, la contribución de todas las magnitudes.

Conviene hacer notar que la ecuación anterior sería exacta si las fuentes sísmicas fueran puntos. En realidad son volúmenes, por lo que los epicentros no sólo pueden ocurrir en los centros de las fuentes sino, con igual probabilidad, en cualquier punto dentro del volumen correspondiente. Al calcular se debe tomar en cuenta esta situación subdividiendo las fuentes sísmicas en diversas formas geométricas, en cuyo centro de gravedad se considera concentrada la sismicidad de la fuente En vista de que se supone que, dadas la magnitud y la distancia, la intensidad tiene distribución lognormal, la probabilidad $Pr(A>a|M, R_i)$ se calcula de la siguiente manera:

$$\Pr(A > a \mid M, Ro) = f\left(\frac{1}{s_{Lna}} \ln \frac{med(A \mid M, R_i)}{a}\right) \qquad (10.113)$$

Siendo $F(\varepsilon)$ la distribución normal estándar, $Med\ (A|M, R_i)$ la mediana de la intensidad (dado por la ley de atenuación correspondiente) y s_{na} la desviación estándar del logaritmo natural de a.

En la ecuación 10.17 se incluyen tanto la ley de atenuación, como la incertidumbre en ella. Sin embargo, para la zona sismogénica, los parámetros p que definen la curva de tasas de excedencia de la magnitud, no son deterministas. Por tanto, para calcular la tasa de excedencia no condicionada, $n\ (a)$ procede calcular el valor esperado con respecto a las variables inciertas, por lo que la expresión de cálculo de la tasa de excedencia de la aceleración es:

$$n(a) = \int_{R(p)} n(a \mid p) P_p(P) dp \qquad (10.114)$$

Donde Pp(p) es la densidad conjunta de probabilidades de los parámetros que definen a $l\ (M)$. La ecuación proporciona la contribución de una fuente, y cuando se consideran varias fuentes basta sumar las contribuciones de todas las fuentes sísmicas, para obtener la tasa de excedencia total. El peligro sísmico se expresa, entonces, en términos de la tasa de excedencia de valores dados de intensidad sísmica. Como se ha indicado, en este estudio la intensidad sísmica, a, se puede medir con las ordenadas del espectro de respuesta de diversas intensidades. El cálculo de peligro sísmico implica la solución de integrales múltiples. Para ello se usó el programa CRISIS2001 desarrollado por Ordaz *et al*. (1999) que emplea métodos numéricos conocidos. Para la evaluación del peligro en Colombia se construyó un modelo con las 34 fuentes descritas anteriormente, con su geometría

y buzamiento según estudio AIS (1996). A cada una de las fuentes se le asignó su correspondiente ley de atenuación. Así, las zonas de subducción y Bennioff quedaron con la ley de subducción y las restantes llevaron la ley activa, todas deducidas en este estudio anteriormente.

10.1.5 RESULTADOS.

Las fuentes que presentan mayor participación en la amenaza sobre la región de la cuenca hidrográfica del río Sinú son Romeral, Bennioff, Subducción, Murindó, Sinú, Arco de Dabeiba y Bolívar. Sin embargo estas contribuciones dependen fuertemente del contenido de frecuencias y de la distancia media de las fuentes, por lo que dicha participación puede verse afectada para tasas de excedencia de periodos estructurales medios y altos. Los datos aquí mostrados deben ser usados con la cautela y el criterio profesional que el caso amerita.

El Calculo anterior se realizó para toda la región comprendida dentro del perímetro de la cuenca del Sinú; sin embargo es de mucha importancia conocer la distribución de la amenaza en la región donde se encuentra circunscrita esta, por ello el cálculo de las tasas de excedencia se hizo para la región andina y, a partir de estas es posible generar mapas de igual tasa de excedencia de la intensidad de interés; esto es, mapas de aceleración máxima del suelo para diferentes periodos de retorno.

De la *figura 10.36* en adelante muestra los mapas para Tr = 100, 250, 500, 1000 y 1500 años de una zona donde se encuentran los contornos de la cuenca del rió Sinú; El análisis se realizó por separado para cada fuente que aporta peligro y posteriormente mediante la integración se muestra el resultado de la amenaza incluyendo todas las fuentes. Además se muestran mapas para la velocidad máxima del suelo y el desplazamiento máximo del suelo. Los valores de cada sitio teniendo en cuenta cada fuente son consignados en las bases de datos digitales que se anexan en el presente informe. Los datos aquí mostrados deben ser usados con la cautela y el criterio profesional que el caso amerita.

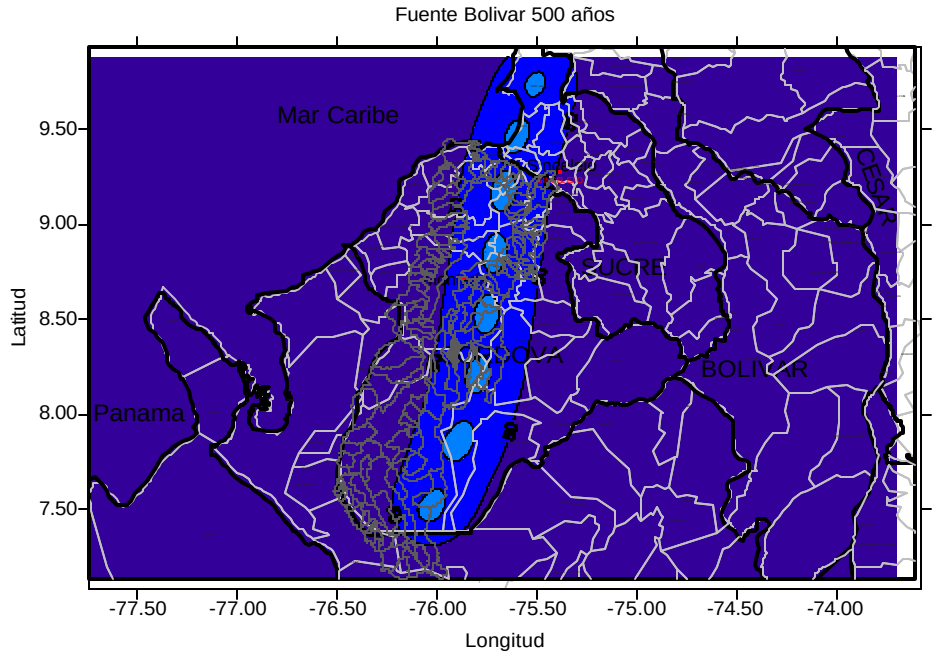


Figura 10.36: Distribución de la aceleración máxima del suelo (cm/s²) para la fuente Bolivar con periodo de Retorno de 500 años

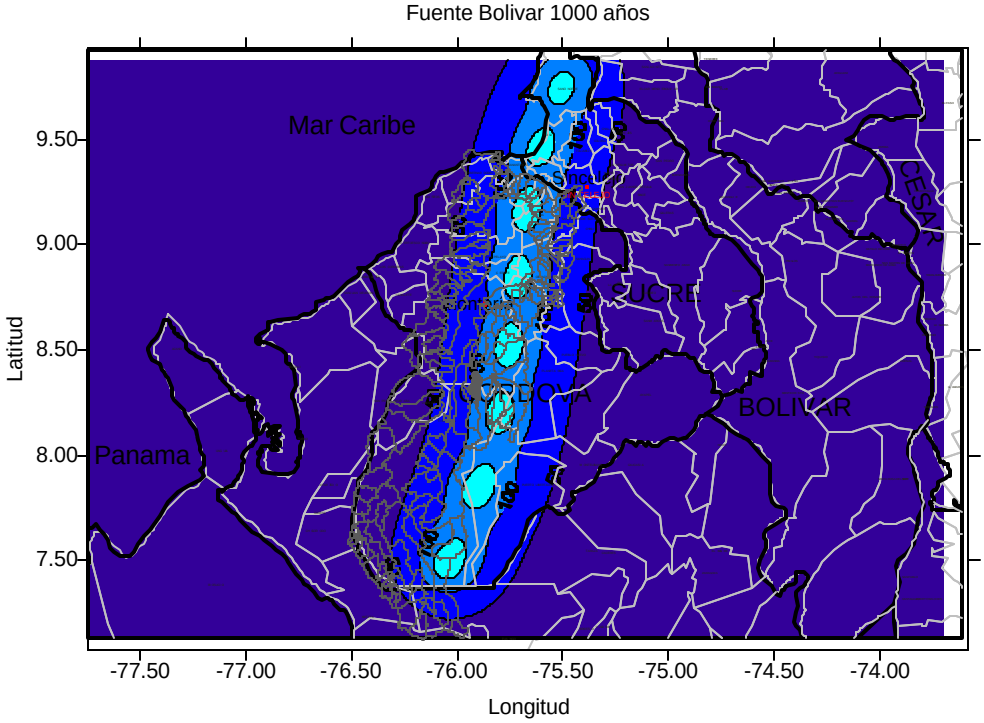


Figura 10.37: Distribución de la aceleración máxima del suelo (cm/s²) para la fuente Bolivar con periodo de Retorno de 1000 años

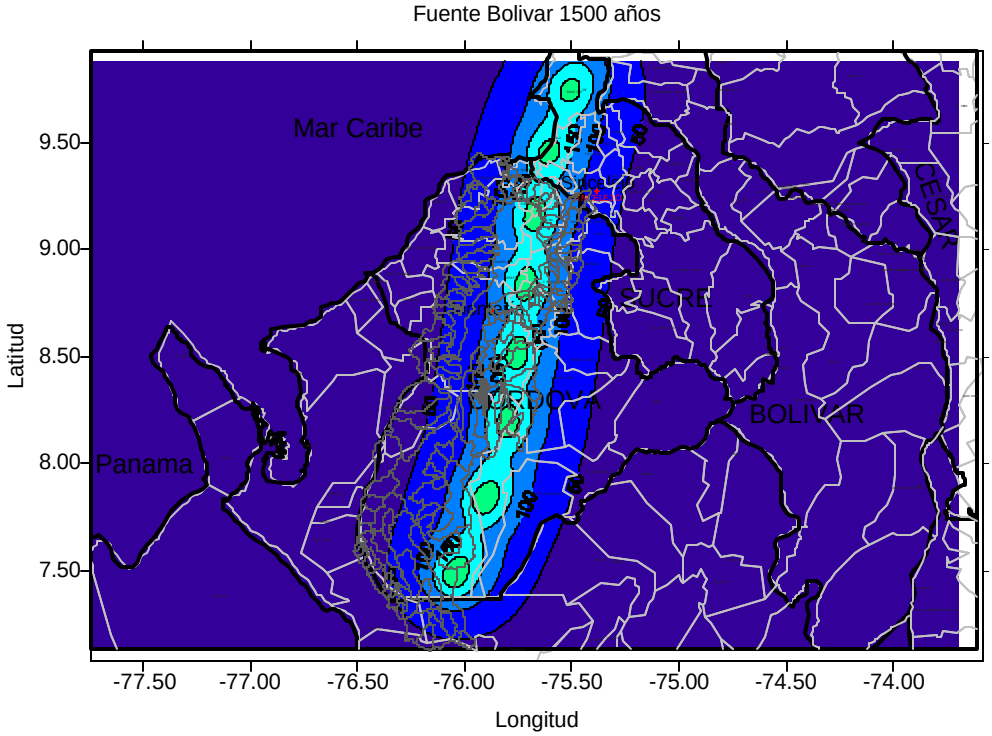


Figura 10.38. Distribución de la aceleración máxima del suelo (cm/s²) para la fuente Bolivar con periodo de Retorno de 1500 años

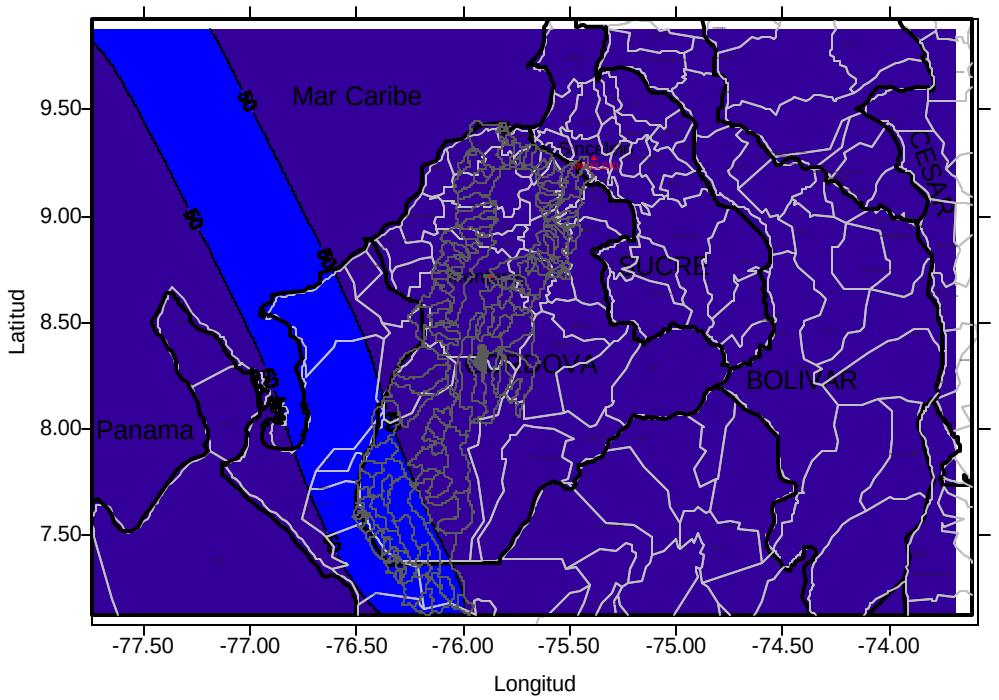


Figura 10.39. Distribución de la aceleración máxima del suelo (cm/s²) para la fuente de Arco de Dabeiba con periodo de Retorno de 100 años

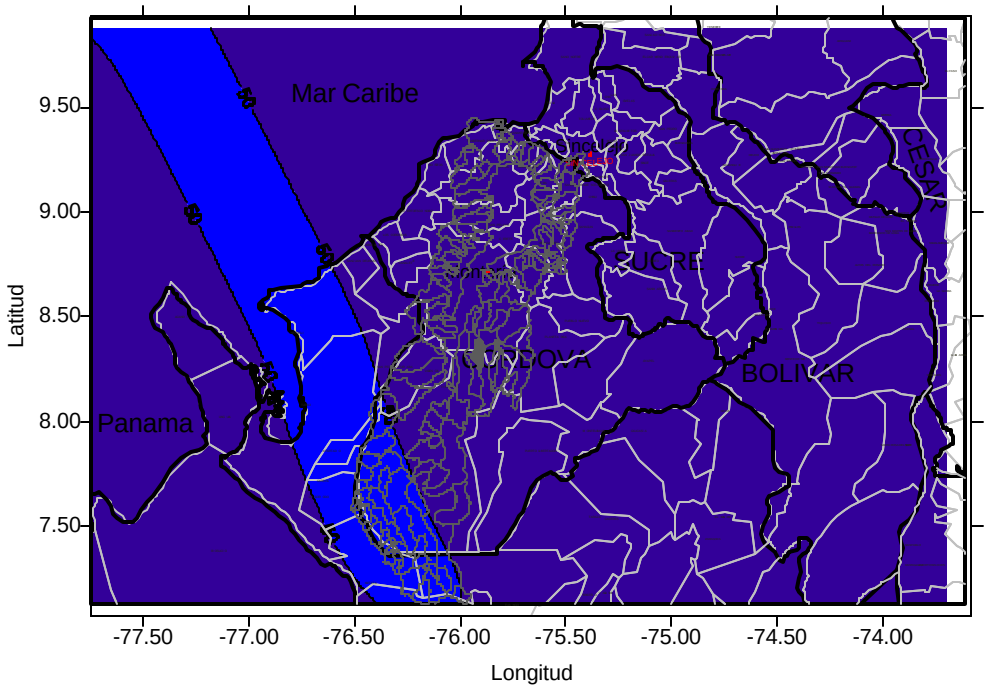


Figura 10.40. Distribución de la aceleración máxima del suelo (cm/s²) para la fuente de Arco de Dabeiba con periodo de Retorno de 250 años

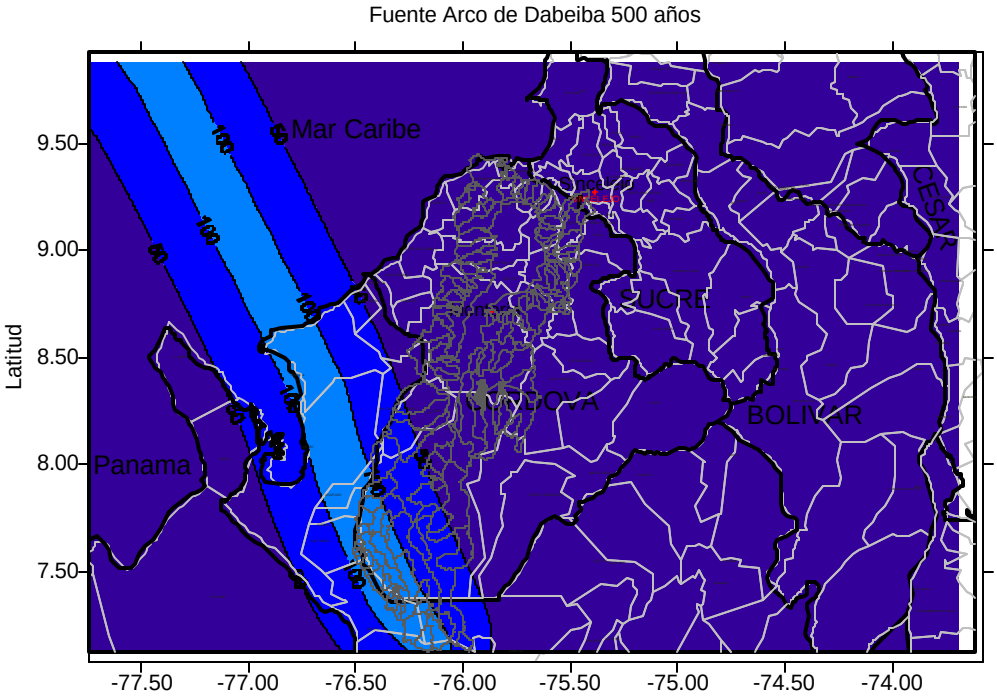


Figura 10.41. Distribución de la aceleración máxima del suelo (cm/s²) para la fuente de Arco de Dabeiba con periodo de Retorno de 500 años

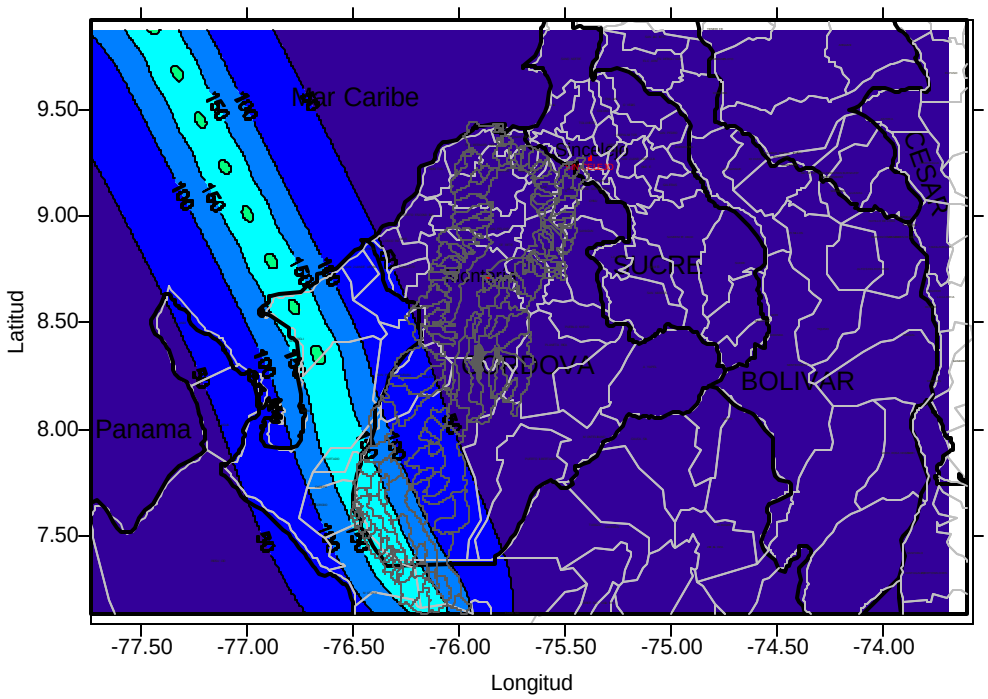


Figura 10.42. Distribución de la aceleración máxima del suelo (cm/s²) para la fuente de Arco de Dabeiba con periodo de Retorno de 1000 años

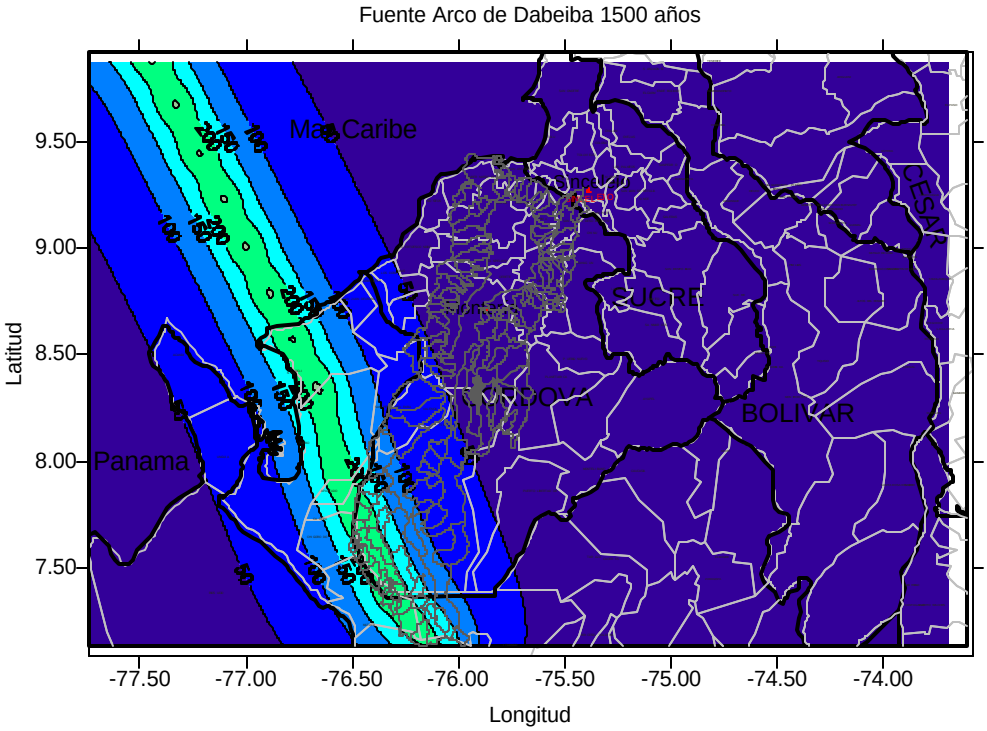


Figura 10.43. Distribución de la aceleración máxima del suelo (cm/s²) para la fuente de Arco de Dabeiba con periodo de Retorno de 1500 años

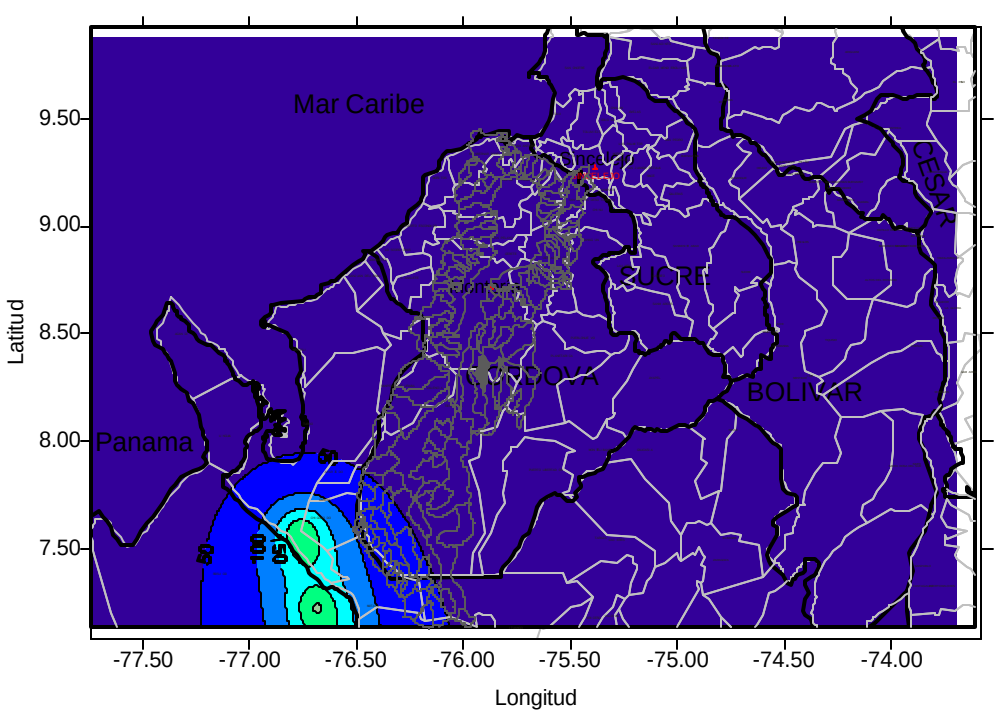


Figura 10.44.: Distribución de la aceleración máxima del suelo (cm/s²) para la fuente de Murindó con periodo de Retorno de 100 años