



PELIGRO SISMOTECTÓNICO EN LA REGIÓN DE MOA

Alina Rodríguez Infante.

Instituto superior Minero Metalúrgico, Las coloradas S/n, Moa, Holguín, Cuba, E-mail: arinfante@moa.minbas.cu

Resumen

En Moa, además de los riesgos que existen debido al propio desarrollo minero metalúrgico, el que genera a su vez el crecimiento poblacional, el medio ambiente se encuentra expuesto a las amenazas de los procesos tectónicos, los que se ponen de manifiesto como movimientos lentos mas o menos continuos en el tiempo o por la actividad sísmica y que se realizan a través de las fallas que cortan las rocas.

Los riesgos originados por estos mecanismos pueden afectar a todo el medio ambiente, ya sea natural, construido o social y a partir del conocimiento de la posición que ocupan las estructuras tectónicas y la tendencia actual de los desplazamientos en la región, pudieron determinarse los principales sectores de riesgo y dividirse el área en cuatro zonas según el grado de vulnerabilidad.

Abstracts

In Moa region, besides the risks resulting from mining and metallurgical development, which at the same time brings about populational growth, environment is also threatened by plates geodynamics, that shows as slow and more or less continuous shifts evolving with time or through seismic activity, and occurring in the faults shearing through the rocks.

The risks caused by these mechanisms can affect the natural, built or social environment. Once the position of the tectonic structures and the present shift trends of the region were known, the main risk sectors were identified, dividing the area into four zones according to the degree of vulnerability.

Introducción.

En la planificación integral del desarrollo socio económico e incluso para la optimización espacial de un territorio se hace imprescindible el estudio geológico profundo que permita conocer no sólo la posición, cantidad y calidad de las reservas minerales, sino también la dinámica de los procesos que ocurren y que constituyen una amenaza en la región.

En muchos casos se observa una tendencia a considerar la información geológica estática, sustentando las investigaciones medio ambientales e incluso, la proyección de las construcciones sobre la base de la información aportada por un mapa geológico con frecuencia de carácter regional, lo que conlleva necesariamente a la incorrecta valoración de la magnitud de los riesgos a los cuales se enfrenta el hombre y que lo ponen en peligro a él y a la obra construida.

Este problema se encuentra con frecuencia en el municipio de Moa, a pesar del gran número de profesionales del campo de la geología y la minería que en el laboran y habitan, por lo cual, en el inicio de estas investigaciones se propuso como objetivo determinar los sectores de máximo riesgo ambiental a



partir de la incidencia que tiene en ello la geodinámica contemporánea y de esta forma, contribuir al conocimiento geológico del territorio, donde el crecimiento económico dado por la apertura comercial y el desarrollo de la industria, junto a las consecuentes variaciones poblacionales y de infraestructura social, exigen la explotación racional de sus recursos naturales así como *la integración de consideraciones ambientales en las políticas de planificación del desarrollo como condición indispensable para fomentar el desarrollo sostenible*. [1].

Metodología para el Análisis de Riesgo.

Partiendo del conocimiento de la existencia de actividad tectónica en el territorio a través del estudio geológico que del mismo se ha realizado [6] y por la manifestación de fenómenos asociados con dicha actividad, se hizo posible valorar el grado de vulnerabilidad real del medio, para lo cual hay que tener en cuenta además de la amenaza natural latente en el mismo, para poder determinar el riesgo específico y con este y los elementos en riesgo, conocer el riesgo total según la fórmula propuesta por Varnes D. J., en 1984 [3].

$$R_t = R_s \cdot E_r$$

$$R_s = H \cdot V$$

$$R_t = H \cdot V \cdot E_r$$

Donde:

R_t : Riesgo total.

R_s : Riesgo específico.

H : Amenaza natural.

V : Vulnerabilidad.

E_r : Elemento en riesgo.

Amenaza Natural.

Para analizar las diferentes zonas susceptibles a riesgos ante la ocurrencia de procesos tectónicos debe conocerse en primer lugar la amenaza natural originada por estos procesos. Como amenaza natural (*Hazard*) se entiende la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno dañino potencial dentro de un lapso específico de tiempo y en un área determinada [4].

En el caso concreto que se investiga la amenaza va a estar condicionada por el grado de actividad tectónica del territorio, para el cual quedaron establecidos los principales sistemas de fracturas y dentro de estas fueron caracterizadas por su posición y sentido del desplazamiento que ocurre a través de sus planos, aquellas fallas consideradas activas y que desempeñan un papel fundamental en los procesos geodinámicos contemporáneos.



Estos procesos geodinámicos, se van a caracterizar por la tendencia general al levantamiento, lo cual se viene manifestando desde el Mioceno Medio hasta la actualidad dado por las condiciones geotectónicas regionales que provocan el empuje en dirección norte-noreste del Bloque Oriental Cubano [1]. Esta tendencia general no se pone de manifiesto por igual en todos los sectores emergidos de la corteza terrestre pues se ha hecho evidente que los movimientos verticales no mantienen igual magnitud ni velocidad en todos los puntos, encontrándose unos bloques más levantados - El Toldo - y otros con movimientos relativos de descenso como los bloques Cabaña y Cananova. También se hizo evidente que para un mismo bloque morfotectónico el sentido de los desplazamientos no es constante, pudiendo variar en el tiempo y estar además acompañado por movimientos horizontales e incluso rotacionales. A todo lo anterior se le añade como elemento de vital importancia y que a su vez, constituyó el motivo por el cual se iniciaron las presentes investigaciones, la ocurrencia de movimientos telúricos en el marco regional.

La actividad sísmica en la región se justifica a partir de la posición geólogo-estructural que la misma ocupa al estar bordeada por tres zonas sismogeneradoras coincidentes con fallas profundas que constituyen límites intra o interplacas como se muestra en la figura No.1. Estas tres zonas son:

Zona sismogeneradora Oriente (Bartlett)

Zona sismogeneradora Cauto - Nipe

Zona sismogeneradora Sabana

Con los criterios anteriormente descritos se puede resumir que la amenaza natural del territorio originada por los movimientos tectónicos es alta y se pone de manifiesto a través de dos mecanismos fundamentales: Movimientos lentos variables en el tiempo que de forma progresiva van alterando el medio físico, *agente preparatorio* y movimientos violentos de corta duración - sismos - que de forma brusca y en ocasiones catastróficas afectan el medio, *agente inmediato*.

Riesgos Específicos.

Se denomina riesgo específico a los daños esperados debido a la ocurrencia de un fenómeno natural [4]. En este caso, se conocen los puntos a través de los cuales se ponen de manifiesto con mayor intensidad los procesos tectónicos, que son aquellos que coinciden con los planos de fracturas activas y las zonas periféricas de los bloques de mayor levantamiento siendo posible entonces determinar, los daños esperados y dentro de estos aquellos que constituyen un riesgo al medio ambiente natural, al social o al construido, siendo frecuente la simultaneidad de sus efectos. También es necesario tener en cuenta que de forma indirecta se generan al actuar los movimientos tectónicos sobre los elementos en riesgo que provocan reacciones en cadena y repercuten en la calidad ambiental.

Riesgos en el Medio Ambiente Natural.



Por constituir la amenaza un agente de carácter natural, los riesgos ocurridos en este medio presentan un carácter primario y condicionador directo o indirecto de los daños ocurridos en el medio constructivo y social. Los principales riesgos de carácter natural posibles a ocurrir en el territorio por los agentes tectónicos son:

- Deslizamientos.
- Aumento de la erosión de suelos.
- Aumento de sedimentación o colmatación.
- Alteración del manto acuífero.
- Ruptura del suelo con formación de grietas de separación.
- Ruptura del equilibrio ecológico.

•

Riesgos al Medio Ambiente Construido.

Dentro de estos riesgos se han incluido todos los daños que puede provocar el agente tectónico sobre las obras construidas por el hombre y que comúnmente se clasifican en sociales, económicas y socioeconómicas. Los principales daños a ocurrir en este medio son los siguientes:

- Deformación o ruptura de las edificaciones sociales y económicas.
- Derrame de productos químicos.
- Afectaciones en los embalses de agua.
- Daños en las vías de comunicaciones.
- Ruptura de instalaciones de abasto de agua, electricidad y servicio telefónico.

El grado de vulnerabilidad o magnitud de los daños que sobre este medio originan los movimientos tectónicos estará en dependencia del agente de riesgo - preparatorio o inmediato - y de las características constructivas de los objetos de obra, como son su grado de complejidad estructural, tipología, dimensiones y materiales con los cuales fue construida.

Daños al Medio Ambiente Social.

Estos daños van a originar un diapasón de problemas diversos que provocan afectaciones individuales, familiares y grupos sociales, llegando en caso extremo a abarcar toda la sociedad. Hay que tener presente que esta es la parte integrante del medio más susceptible a las afectaciones en la calidad del entorno y que al mismo tiempo cualquier daño ocurrido al medio natural o constructivo repercute directa o indirectamente en el hombre. Entre los riesgos mas importantes en este medio en el ámbito territorial se encuentran los siguientes:

- Afectación en los servicios generales a la población.
- Afectaciones en las condiciones de vida.
- Afectaciones de la salud humana.
- Afectaciones económicas.



- Inestabilidad en el ejercicio del gobierno.

Es imposible separar o aislar las afectaciones que ocurren entre los tres medios - natural, construido y social - y el hombre, que como ser social y eslabón fundamental del equilibrio y la calidad ambiental al mismo tiempo que condiciona la naturaleza y la transforma a través de su actividad constructiva, es el responsable de las medidas que eviten o mitiguen los daños que de ella emanan.

Zonificación de Riesgos Tectónicos.

Para realizar la zonificación de riesgos se tuvo en cuenta el comportamiento de cada una de las variables analizadas en el epígrafe correspondiente a la metodología para el análisis de riesgo así como el rango de variación de sus valores para el caso concreto que nos ocupa. Dentro de los diferentes métodos utilizados en los estudios de impacto ambiental se encuentran los de definición de relaciones causa-efecto en forma cualitativa o semicuantitativa, o técnicas de identificación como son también clasificados, dentro de los cuales se emplea la técnica de matrices de revisión causa-efecto, la cual se ha aplicado experimentalmente en estas investigaciones con la finalidad de obtener información de la magnitud relativa del riesgo y su distribución areal que permitiera la zonificación del territorio. [2]. A continuación se analiza cada una de estas variables y los valores que se le asignan en las diferentes situaciones en el ámbito territorial.

Amenaza (H): Para esta variable se le asignaron valores que oscilan en el intervalo de cero a dos, asumiéndose el valor máximo - dos - para la amenaza que constituye el mayor factor de riesgo es decir, la originada por los movimientos telúricos; el valor intermedio - uno - se asume para la amenaza que se pone de manifiesto a través de los movimientos tectónicos lentos y el valor mínimo - cero - para el caso que nos ocupa es convencional y despreciado debido a que está demostrado el carácter activo de la tectónica en el municipio.

Vulnerabilidad (V): Es el grado de pérdida de un elemento o conjunto de elementos bajo riesgo como resultado de un fenómeno natural de una cierta magnitud [57]. A esta variable se le asignan valores de cero a tres correspondiendo el valor cero cuando a través de los procesos tectónicos no ocurren daños en el medio ambiente, el valor uno a la ocurrencia de daños que pueden ser recuperables; el valor dos en aquellos casos en que se originan pérdidas parciales ante los agentes de riesgo y el valor máximo - tres - bajo las condiciones de pérdida total de los elementos en riesgo.

Elementos en riesgo (Er): Esta variable determina la población, construcciones y actividad socio económica en riesgo y se le asignan valores en el rango de uno a cuatro, el valor uno corresponde a los sectores en que se encuentran expuestos al riesgo elementos del medio ambiente construido o natural de forma independiente, sin perjuicio directo al hombre; el valor dos se asume para sectores en que de



forma combinada están expuesto al riesgo elementos del medio ambiente natural y construido, el valor tres se asigna cuando los elementos en riesgo constituyen un grupo perteneciente al medio ambiente en general, es decir medio natural, construido y social, estando el valor cuatro reservado para condiciones extremas donde todo el medio es afectado, lo cual sólo sería posible ante la ocurrencia de un terremoto de gran intensidad.

Riesgo total (R_t). Se realizó la cuantificación puntual del valor del riesgo total para cada sector de la superficie según la fórmula antes referida, obteniéndose valores que oscilan de uno a veinticuatro como se muestra en la tabla IV, con los cuales se procedió a la confección del mapa de riesgos a través del sombreando con una simbología ya establecida de cada una de las cuadrículas, en dependencia de la magnitud del riesgo. En el territorio fueron determinadas cuatro zonas de intensidades de riesgo que se muestran en la figura 2.

Tabla IV: Valores del riesgo total calculados para el área.

Vulnerabilidad V	Amenaza H	Elementos de Riesgos Er			
		1	2	3	4
1	1	1	2	3	4
	2	2	4	6	8
2	1	2	4	6	8
	2	4	8	12	16
3	1	3	6	9	12
	2	6	12	18	24

Zona de máximo peligro o riesgo: Corresponde a áreas de valores de riesgo mayores a nueve para la amenaza que constituyen los movimientos tectónicos lentos y continuos (1), y de dieciocho bajo las condiciones de ocurrencia de movimientos telúricos (2), lo que constituye un indicador de la alta peligrosidad en la cual se encuentra. Espacialmente está limitada a dos áreas pequeñas, que ocupan una posición desde la que pueden ocasionar grandes daños al medio ambiente. La mas extensa está ubicada alrededor del puerto de Moa, donde la planta de amoniaco que presta servicio a la industria del níquel constituye un elemento en riesgo, que al mismo tiempo, pone en peligro a todo el medio ambiente territorial dado fundamentalmente por su ubicación geográfica y tectónica. Tectónicamente está ubicada sobre la falla Moa en su tramo La Vigía, de carácter activo, mientras que la posición respecto a los asentamientos poblacionales del territorio y la dirección predominante de los vientos favorece el proceso de propagación de los productos tóxicos expandidos al medio en caso de ocurrencia de alguna ruptura o avería de la instalación.



La otra zona de alto peligro es la presa Nuevo Mundo, construida sobre el cauce del río Moa que corre sobre la falla de igual nombre, en la zona donde se intercepta con las fallas Maquey y Caimanes, formando un nudo estructural de alta complejidad dado por los desplazamientos horizontales y verticales de gran magnitud y sentido variable, tal y como quedó demostrado en el estudio tectónico. A pesar de haberse realizado la construcción de la presa según las normas técnicas establecidas y tomándose como base para la construcción la intensidad máxima de VIII grados en la escala MSK, hay que tener en cuenta que la base geológica utilizada partía de la consideración de una tectónica pasiva, donde los desplazamientos según los planos de fracturas eran considerados nulos. El valor del riesgo total aquí está determinado por las deformaciones que puede sufrir la cortina de la presa, lo que puede provocar no sólo la pérdida de dicho elemento y alterar el entorno en el cual se encuentra, sino también, llegar en caso extremo a provocar inundaciones con resultados catastróficos debido al volumen de agua acumulado, la altura a que se encuentra el vaso del embalse, construido para el sistema de descarga por gravedad y su posición respecto a la zona de desarrollo socio económico.

Zona de alto riesgo: Corresponde a las áreas donde el valor del riesgo calculado es mayor o igual a seis y menor que nueve para la amenaza (1) y mayor o igual de doce y menor a dieciocho ante la ocurrencia de movimientos telúricos. Esta zona se encuentra desarrollada en los alrededores de la anteriormente descrita, abarcando la porción norte y central del área de trabajo, extendiéndose hacia el este hasta la zona de Quemado del Negro donde se construye la nueva planta de níquel en Moa y sus alrededores y al oeste, hasta el poblado de Centeno, prolongándose hacia el sur, hasta la zona de la presa Nuevo Mundo.

Zona de peligrosidad media: A esta zona corresponden valores del riesgo total mayores o iguales a cuatro y menores a seis para la amenaza de tipo uno (1) y valores en el intervalo de ocho a doce para la amenaza dos (2). Constituye la zona de mayor extensión, encontrándose espacial y genéticamente asociada a las zonas periféricas interiores de los bloques morfotectónicos en ascenso, haciéndose mas pronunciada donde es mayor el levantamiento.

Zonas de baja peligrosidad: Está referida a los sectores que presentan valores del riesgo total menores a cuatro y ocho ante las variantes (1) y (2) respectivamente, estando sometido a los efectos del riesgo sólo el medio ambiente natural a través de la intensificación de los procesos erosivos, predominando la variante uno de vulnerabilidad tomando en consideración que los posibles daños sean recuperables y en gran medida evitables ante la acción conservadora del hombre. Estas zonas de baja peligrosidad se encuentran tectónica y espacialmente ubicadas en la parte central e interior de los bloques morfotectónicos, distribuidas de forma homogénea por toda el área, exceptuando el extremo suroccidental, donde se asumió un valor del riesgo total igual a tres a partir de la posible ocurrencia de daños recuperables al medio ambiente debido a la ausencia de actividad antropogénica intensa y al equilibrio y regularidad del relieve.



Partiendo del conocimiento que ya se tiene de los peligros y riesgos en la región se propone el siguiente plan general de medidas:

- Orientar a las instituciones y organismos competentes la evaluación de las afectaciones actuales y posibles a ocurrir en instalaciones y áreas jurisdiccionales, debido a la acción de los movimientos tectónicos lentos, lo que permitirá establecer las medidas para contrarrestar sus efectos.
- Orientar a los órganos de defensa municipal la confección del plan de medidas ante desastres naturales, específicamente en lo que corresponde a la actividad sísmica y que comprende dos etapas, previa y posterior al terremoto y que siempre deberá partir del sistema de educación masiva.
- Exigir a la industria del níquel el replanteo definitivo de la planta de amoniaco debido a la alta peligrosidad que representa para todo el territorio.
- Establecer un sistema de control de los movimientos a través de mediciones geodésicas cíclicas de todas aquellas estructuras activas que constituyen un riesgo medioambiental, siendo fundamentales para la zona las fallas Moa y Cabaña debido a los objetos de obra asentados sobre ellas y ser las estructuras que cortan el asentamiento socio económico mas grande del territorio.
- Establecer el sistema de monitoréo que corresponde a la presa Nuevo Mundo que permita determinar las posibles alteraciones de su estructura constructiva y tomar las medidas que al efecto se establezcan.
- Hacer funcionar en el municipio el sistema de gestión ambiental que pueda determinar y evaluar los riesgos e impactos a que se encuentra expuesto el medio ambiente y establecer las medidas preventivas o correctivas según sea el caso.

Conclusiones.

Durante el desarrollo del capítulo quedó establecido que en el territorio en que se desarrollaron las investigaciones existe la amenaza ambiental de génesis geológica y específicamente tectónica que de forma lenta o violenta se pone de manifiesto a través de las estructuras activas que en el mismo existen y que pueden originar riesgos de gran magnitud a partir de la existencia de obras de gran complejidad constructiva y de alta peligrosidad.

Los diferentes tipos de riesgos que pueden manifestarse en el territorio originados a través de la actividad tectónica así como las cuatro zonas de magnitudes diferentes de riesgos, fueron determinadas a través del estudio geológico, geomorfológico y topográfico, descritas en el trabajo y cartografiadas en el mapa de zonificación de riesgos que se muestra en la figura , a partir de lo cual es posible proponer un plan de medidas generales que permitan el desempeño de la labor de gestión ambiental. Sin embargo, es necesario señalar que la propia actividad socio económica del hombre puede provocar la intensificación de estos riesgos, haciendo mas complejo el proceso de previsión y prevención.

Referencias Bibliográficas

1. Arango E.D. 1996, Geodinámica de la región de Santiago de Cuba, en el límite de las placas caribeña y norteamericana. Tesis de maestría. México.

2. Castellanos M. 1998, Introducción a la problemática de la valoración económica ambiental. Editorial Academia, La Habana.
3. Cavallín A., Marchetti M. 1995, Geomorphology and environmental impact assessment: a practical approach. Quaderni di Geodinamica Alpina e Quaternaria.
4. Instituto Tecnológico Geo Minero de España. 1987, Manual de ingeniería de taludes.
5. Oliva G. nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto de Geografía, ACC, 1989.
6. Rodríguez A. 1998 Riesgos de origen tectónico para el territorio de Moa. Revista Tecnológica, Serie Níquel, No.2.

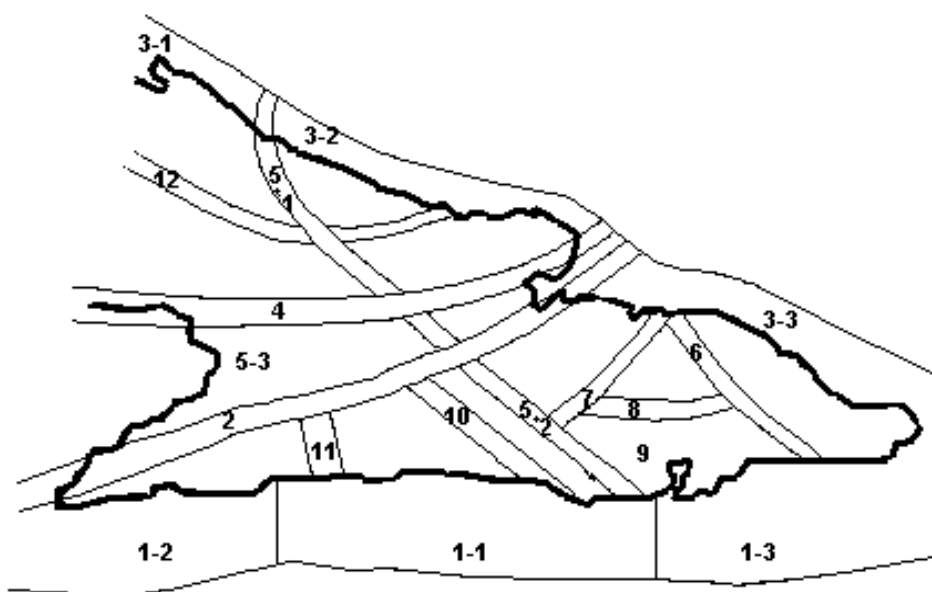


Figura No. 1: Zona de origen de terremotos. Región Oriental de Cuba. CENAIS, 1982.

1-1: Oriente 1 (8), 1- 2: Oriente 2 (7,6), 1- 3: Oriente 3 (7,6), 2: Cauto - Nipe (7), 3- Sabana (6- 7), 4: Cauto- Norte (6,5), 5: Baconao (6- 7), 6: Purial (6,5), 7: Santiago -Moa (5), 8: Palenque (5), 9: Guaso (5), 10: Santiago – Bayamo (5,5), 11: Bayamo (6) y 12: Cubitas (5,5).

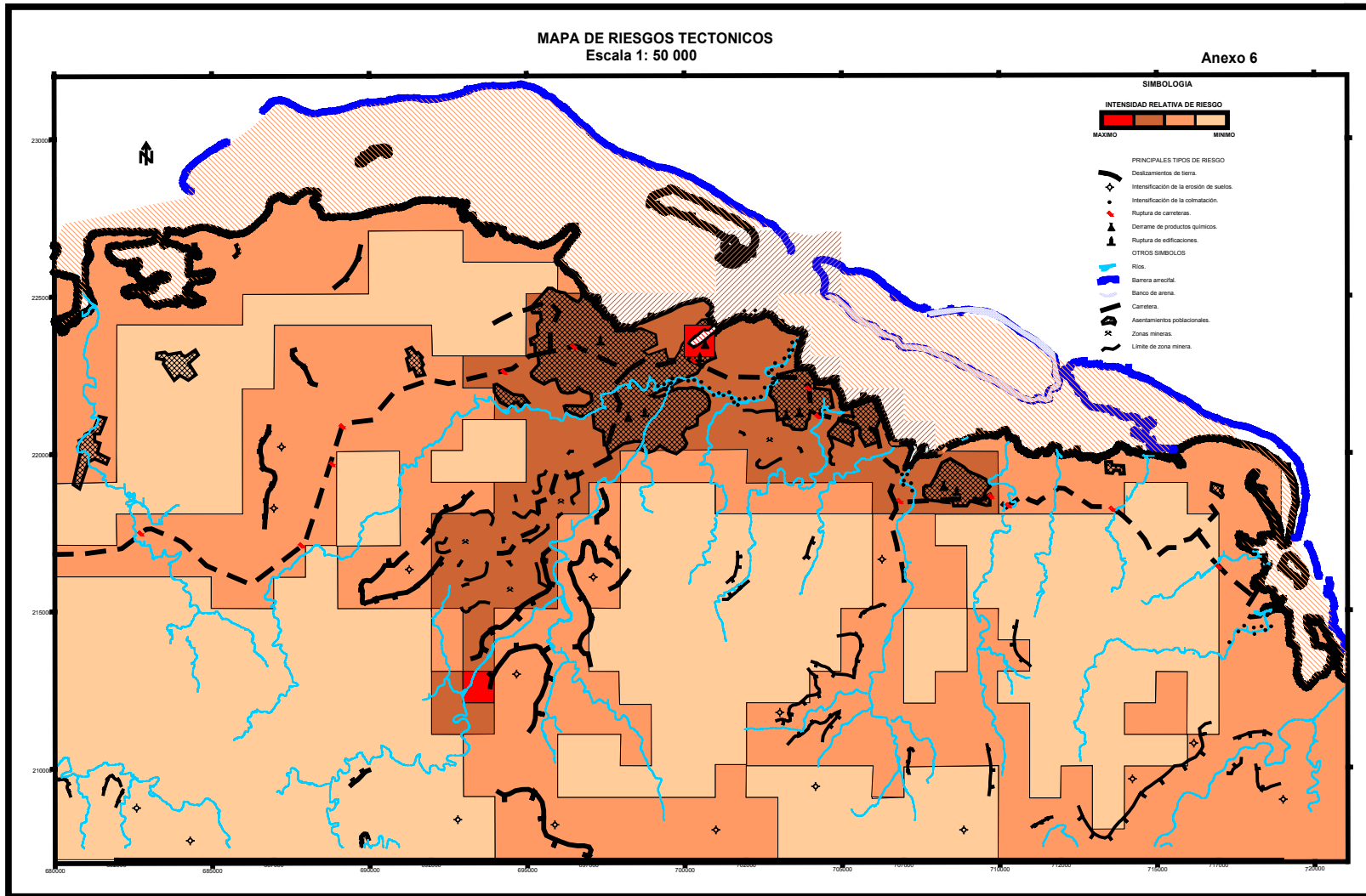


Figura 2: Mapa de zonas de riesgo en Moa.