



**Instituto Superior Minero Metalúrgico
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”**

**Facultad de Geología y Minería
Departamento de Geología**

**TÍTULO: RIESGO DE INUNDACIÓN POR ROTURA EN LA CORTINA DE LA
PRESA YATERAS.**

(Tesis en opción al título académico de Máster en Geología)

Autor: Lic. Yordan Pérez Caballero

Tutor: Dr. C. Alina Rodríguez Infante

Cotutores: Ms. C. Eduviges Pérez Romero

Ms. C. Guillermo Lemes Mojena

Moa, Noviembre del 2015
“Año 57 de la Revolución”

RESUMEN

El trabajo desarrolla un estudio acerca del comportamiento de la gestión del riesgo por rotura de la presa Yateras y las causas que la originan, basado en la gestión del conocimiento científico a través de la adaptación de la guía metodológica emitida por el Estado Mayor de la Defensa Civil en el año 2014 y que sería aplicable a las presas de tierra del país.

El problema planteado está relacionado con la carencia de una metodología específica a nivel nacional que permita la representación de las principales categorías utilizadas en la evaluación y manejo de desastres, que son la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo, originados por la roturas de presas de tierra. De manera que permita elaborar una estructura teórico y práctica a tales efectos y evaluar de forma cuantitativa la vulnerabilidad y el riesgo, a partir de elementos cualitativos.

Se han identificado, descrito y cartografiado diferentes elementos expuestos al desastre, así como las principales características física - geográficas de la región y que en un momento pueden influir en los fenómenos inducidos. Para determinar hasta donde llegarían las aguas en caso de rotura de la cortina de la presa, se utilizó la Metodología Simplificada de Cálculo para la Determinación de los Parámetros de Inundación Causada por Rotura de una Presa de Tierra y herramientas modernas de la Geomática como el uso de los Sistemas de Información Geográfica.

SUMMARY

In the work it develops a study about the behavior of the administration of risk for break of the prey Yateras and the causes that originate it, based on the administration of the scientific knowledge through the adaptation of the methodological guide emitted by the State bigger than the Civil Defense in the year 2014 and that it would be applied the preys of lands of the country.

The outlined problem is related with the inadequacies from a methodology to national level that allows the representation of the main categories used in the evaluation and handling of disasters that are the threat, the vulnerability and the risk, originated by the breaks of preys of lands. So that it allows to elaborate a theoretical structure and practice to such effects and to evaluate in a quantitative way the vulnerability and the risk, starting from qualitative elements.

They have been identified, described and cartografiado different exposed elements to the disaster, as well as the physical main characteristics - geographical of the region and that in a moment they can influence in the induced phenomena. To determine up to where the waters would arrive in the event of break of the curtain of the prey the Simplified Methodology of Calculation it was used for the Determination of the Parameters of Caused Flood by Break of a Prey of Earth and modern tools of the Geomática like the use of the Systems of Geographical Information.

AGRADECIMIENTOS

- ✚ A toda mi familia por ser mi ejemplo fundamental de mi vida, en especial a mis padres y hermanos por su entrega, dedicación, ejemplo de sacrificio, inspiración, cariño y por ser personas tan maravillosas.
- ✚ De manera especial a mi esposa Catiyaline y mi hijo Abraham por cuidarme en todo momento, brindarme su amor infinito y comprenderme en los momentos de lejanía.
- ✚ A los trabajadores de la Agencia GEOCUBA Guantánamo en especial Addel por aprobar la realización de esta maestría y Alexis Liranza sacándome siempre de mis aprietos.
- ✚ A los compañeros de departamento en especial a Eduviges por su apoyo y los de mi equipo de trabajo Alieski, Daubel, Maryoris, Anika, Katia, Iro, Nayibe, Yaqueline, Gertrudis, Anier, Niovis y Elio.
- ✚ A los compañeros de recursos hidráulicos Yelina Serrano Elías, Wilian Guerra Pérez y de manera muy especial a Daily Sharquiller Salazar que en el primer momento de la investigación decidió colaborar para el desarrollo de esta tesis aportando sus valiosos conocimientos, que dios la tenga en la gloria rodeada de muchísima luz.
- ✚ A los profesores por contribuir con mi formación profesional, en especial a Alina Rodríguez, Beatriz, Carmenate, Pedro, Guardado, Yexenia, Liuska y Andro por sus consejos y sugerencias y por ser excelentes profesionales.

DEDICATORIA

A Abraham

INDICE

INTRODUCCIÓN	8
---------------------------	----------

CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN FÍSICO - GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.1 Introducción.....	12
1.2 Ubicación geográfica del área de estudio.....	12
1.3 Caracterización geológica regional	12
1.4 Características geomorfológicas regionales.....	18
1.5 Descripción de los suelos.....	19
1.6 Características de la vegetación	20
1.7 Características climáticas regionales	21
1.8 Sistema hidrológico del río Yateras	23
1.9 Descripción de la cortina de la presa Yateras.	23
1.10 Factores que influyen sobre la estabilidad de la cortina.	24
1.11 Peligros de carácter geólogo – geomorfológico de manifestación súbita	28
1.12 Estudios precedentes o estado del arte	29
1.13 Conclusiones.....	35

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA UTILIZADA PARA DETERMINAR EL PELIGRO, LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO

2.1 Introducción.....	37
2.2 Etapa Inicial o preparatoria.....	37
2.3 Cálculo del caudal máximo por rotura de la presa para determinar el área amenazada	38
2.3.1 Obtención de los perfiles topográficos. Procesamiento de imágenes y mapas.	40
2.3.2 Delimitación del área bajo amenaza de inundación por rotura de la cortina de la presa Yateras.	42
2.4 Estimación de la vulnerabilidad y empleo de un sistema de indicadores.	44
2.4.1 Estimación de la vulnerabilidad general.	45
2.4.2 Estimación de la vulnerabilidad particular	47

2.4.3 Estimación de la vulnerabilidad total	52
2.5 Estimación del riesgo en el área de inundación	53
2.6 Conclusiones	55
CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	56
3.1 Introducción.....	56
3.2 Resultado del peligro de inundación en el área de estudio.	56
3.3 Determinación de la vulnerabilidad.	57
3.5 Resultado de la evaluación del riesgo sísmico.....	60
3.4 Determinación del riesgo.....	64
3.6 Conclusiones.....	65
CONCLUSIONES.....	66
RECOMENDACIONES.....	67
VOCABULARIO Y ABREVIATURAS UTILIZADAS	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

INTRODUCCIÓN

Las afectaciones producidas por desastres naturales y tecnológicos en las actividades de la sociedad, la economía y el medioambiente han sido tratadas en los últimos años por un amplio número de investigadores de diversas disciplinas, que han conceptualizado sus componentes y desarrollando guías metodológicas para el proceso de gestión del riesgo. En nuestro país las investigaciones sobre los riesgos son un componente imprescindible para el logro del desarrollo sostenible, basado en la relación naturaleza – sociedad; aspecto que lleva implícito el análisis de posibles fallos de obras hidrotécnicas.

Las roturas no concebidas de las cortinas de las presas ocasionan grandes afectaciones a las infraestructuras socioeconómicas y pueden causar numerables víctimas en la población, motivos por lo cual los asentamientos localizados aguas abajo de los embalses deben considerarse como zonas de alto potencial de amenaza. En el momento del rompimiento de la cortina de una presa, se desplaza por el cauce del río (a alta velocidad) un volumen de agua de gran caudal, inundando y destruyendo todo el territorio situado en el valle y terrazas fluviales de éste, ocasionando un desastre.

Un desastre es un acontecimiento inesperado (o esperado), natural o provocado por el ser humano, de suficiente magnitud, que altera la estructura básica y el funcionamiento normal de una sociedad o comunidad, ocasionando víctimas y daños o pérdidas de bienes materiales, infraestructura, servicios esenciales o medios de sustento a escala o dimensión más allá de la capacidad normal de las comunidades e instituciones afectadas para enfrentarla; ponen de manifiesto la vulnerabilidad del equilibrio necesario para sobrevivir y prosperar.

Justificación del tema

Las presas, de manera general, aseguran el abastecimiento de recursos hídricos a los asentamientos humanos, facilitan el desarrollo de la agricultura, protegen territorios de los efectos devastadores de grandes avenidas fluviales, permiten la generación de energía eléctrica de un gran valor estratégico, facilitan la navegación interior en muchos países, contribuyen al desarrollo de actividades de ocio en su entorno, etc.

La presa Yateras forma parte del proyecto “Esquema Hidráulico del Valle de Guantánamo”. Sus aguas serán destinadas para el riego de áreas agrícolas, al abasto de los centros poblacionales que son afectados fuertemente por sequías cíclicas (como la de este año 2015, una de las más severas de la historia), como Manuel Tames, Jamaica, Héctor Infante, San Emilio y a la ciudad capital provincial. En el curso inferior del río Yateras se continuará utilizando para el riego de cultivos, de forraje animal y al abasto a la población, desarrollo turístico, así como para la generación eléctrica con la construcción de una pequeña central hidroeléctrica.

Diseño Teórico

Se presenta como **problema científico** la necesidad de determinar el riesgo de inundación causado ante la posible rotura en la cortina de la presa Yateras.

En este estudio se realiza una evaluación del evento de inundación que genera un peligro extremo para la funcionalidad de la población e infraestructuras, sobre todo por la cantidad de lluvias asociadas que traen consigo los eventos hidrometeorológicos; que en un momento dado pueden provocar desbordamiento y daños en la cortina de la presa Yateras, la cual será construida de materiales locales, el núcleo será de arcilla (capa 1), con taludes 1: 0,7 y espaldones rocosos (capa 2), con talud superior e inferior de 1: 2,5. Por lo tanto existe la probabilidad de que se puedan sobrepasar las características de seguridad para las que será construida y en consecuencia, producirse una rotura (parcial o total) y ocasionar un desastre.

El mayor peligro hidrometeorológico que está sometida la cortina está asociado a la cantidad de precipitaciones que caen en la cuenca del río Yateras, sobre todo en la parte alta. Estas ocasionan las avenidas que produce un empuje del agua y arrastre de sedimentos (en suspensión y de fondo) desde las partes altas de la cuenca hasta las más bajas, aumentando las presiones

sobre la cortina. Las mayores precipitaciones en la provincia de Guantánamo están asociadas a Ciclones Tropicales y en menor medida a Sistemas Frontales y Bajas Extratropicales.

Se asume como **Objeto de la investigación**: Proceso de gestión de reducción del riesgo por rotura de la cortina en la presa Yateras.

Estableciéndose el siguiente **Campo de acción**: evaluación del riesgo de inundación por rotura de la cortina en la presa Yateras.

Hipótesis: Si se conocen los parámetros técnicos de construcción de la presa Yateras, las características del relieve, las condiciones ingeniero geológicas del medio, el clima regional, las características de los suelos, el sistema hidrológico del la red fluvial y las poblaciones expuestas al peligro, se podrá modelar y caracterizar el riesgo por inundación generada ante la posible falla de esta obra hidrotécnica.

Se define como **Objetivo general** de la investigación: Evaluar los riesgos de inundación por rotura de la cortina de la presa Yateras que permitan adoptar medidas de prevención para la reducción de desastres y fortalecer el Plan de Reducción de Desastres.

Objetivos específicos:

- Valorar las guías metodológicas del Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil.
- Determinar el área afectada por inundaciones en base a diferentes peligros que actúen como factores desencadenantes.
- Definir las áreas vulnerables que están bajo amenaza de inundación.
- Identificar los riesgos a que están sometido las instalaciones económicas, los asentamientos y el medio ambiente.

Novedad científica

- Realizar una propuesta a la guía del EMNDC del año 2014 para los estudios de gestión de riesgos por rotura de las cortinas de presas de tierra.
- Obtener mapas de la zona bajo peligro, las áreas más vulnerables y en riesgo, que afectarían al territorio por efecto de las inundaciones.

El trabajo está organizado por introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

Capítulo I. Se realiza una descripción físico - geográfica del área de estudio, detallando los principales aspectos sobre la geología, la litología, la tectónica, la geomorfología, los suelos, el clima, la hidrología y los complejos de vegetación. Se describe el diseño de construcción de la cortina y los principales factores que influyen sobre su estabilidad, así como algunos ejemplos de fallos de presas en el mundo. Se describe el peligro geólogo – geomorfológico de manifestación súbita y se desarrolla el estado del arte dedicado al estudio y monitoreo de las presas en el mundo, en Cuba y en la provincia de Guantánamo.

Capítulo II. En este capítulo se desarrolla detalladamente la metodología utilizada durante la investigación, se explican los materiales, métodos y programas utilizados para modelar las áreas que están bajo peligro, así como el procesamiento de datos para la determinación de las principales vulnerabilidades y los riesgos asociados, utilizando la Guía Metodológica del año 2014 confeccionada por el Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil.

Capítulo III. Aquí se expresa el resultado de las modelaciones de las áreas bajo peligro de inundación para el nivel de aguas normales y para el nivel de aguas máximas, teniendo en cuenta una rotura del 10 % de la cortina. Se determinó la vulnerabilidad general y particular para conocer la vulnerabilidad total que afecta al área, teniendo en cuenta los factores que afectan la estabilidad de la cortina y se estableció el riesgo asociado. Se definió la evaluación del riesgo sísmico con los terremotos registrados en sectores cercanos al área de estudio y las aceleraciones para diferentes periodos de retorno en suelos S2 y S3.

CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN FÍSICO - GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.1 Introducción.

En este capítulo se describen los aspectos físico - geográficos del área de estudio, analizando sus características predominantes de la geología, litología, tectónica, geomorfología, suelos, clima e hidrología. Se detalla los factores que influyen sobre la estabilidad de la cortina, así como el peligro de carácter geólogo – geomorfológico de manifestación súbita. Se abordan de forma resumida el estado del arte sobre los trabajos investigativos, documentos normativos y organizaciones que se dedican al estudio de las roturas de presas y las inundaciones que estas provocan, realizados en el mundo, en Cuba y en la provincia de Guantánamo.

1.2 Ubicación geográfica del área de estudio.

El área de estudio se localiza en la provincia de Guantánamo, en la vertiente sur del parteagua central, en la parte de media a baja de la cuenca del río Yateras, limita al norte con los asentamientos La Línea y El Corojo del municipio Manuel Tames, al este con sierra de Caujerí, al sur con el mar Caribe y por el oeste con la sierra del Maquey (anexo 1).

1.3 Caracterización geológica regional.

Desde el punto de vista regional (Cuba oriental) existen cuatro estructuras bien definidas (Anticlinorium Sierra Maestra, Sinclinorium Oriental, Anticlinal Oriental y Cuenca Nipe – Baracoa) y tienen una historia geológica bastante larga, que en el caso del anticlinal oriental se remonta al paleoceno, ya a finales del Eoceno todas se encuentran bien diferenciadas y mantienen su naturaleza hasta la actualidad (Cobiella, J.L.; et. al. 1984). Las rocas más antiguas de Cuba Oriental afloran en el núcleo del anticlinal oriental y están representadas por diferentes secuencias de metamórficas, rocas vulcanógenas y serpentinitas.

Los sedimentos de la parte más alta del Eoceno Superior y del Oligoceno son predominantemente terrígenos, a veces de grano muy grueso y están representados por las formaciones Maquey y Sabanalamar (flanco sur del anticlinal oriental). Los sedimentos del Cuaternario tienen una distribución limitada, se observan en las rocas calcáreas de las terrazas marinas y al sur de la sierra Purial donde los aluviones alcanzan decenas de metros.

Litología y tipos de rocas

Específicamente en el área de estudio se destaca el corte estratigráfico representado por depósitos aluviales y palustres del cuaternario, que yacen discordantemente sobre las formaciones *Maquey*, *Río Maya*, una pequeña porción de *Jaimanitas* y *San Luis* (anexo 2), las cuales se describen a continuación, según el Léxico Estratigráfico del año 2013 editado por el Instituto de Geología y Palentología.

Formación Maquey (mq)

Su nombre proviene de la sierra del Maquey. Litológicamente presenta alternancia de areniscas, limolitas y arcillas calcáreas de color gris y margas de color blanco a crema, que contienen intercalaciones de espesor variable de calizas biotriticas, arenáceas y gravelíticas de colores blanco, amarillo y crema, ocasionalmente amarillo grisáceo. La estratificación es de fina a media, menos frecuentemente gruesa o masiva. Algunos horizontes, particularmente de limolitas y calizas biotriticas, son fosilíferos en los que abundan grandes lepidocyclinas. Otros horizontes contienen yeso, lignito y restos de vegetales lignitizados.

Relaciones estratigráficas: Su miembro Vega Grande yace discordantemente sobre las formaciones Cabacú, Mucaral y Santo Domingo. Su miembro Gobernadora yace discordantemente sobre las formaciones Camarones, Charco Redondo y San Luis. Sus miembros Vega Grande y Cilindro lo hacen también discordantemente sobre las formaciones Sabaneta y San Ignacio y las ultramafitas. Está cubierta concordantemente por las formaciones Baracoa, San Antonio y Yateras y discordantemente por las formaciones Jamaica, Punta Imías y Río Maya. Transiciona lateralmente con la formación Yateras.

Correlación: Es correlacionable con las formaciones Báguanos, Bitirí, Cabacú, Sevilla Arriba y Yateras de Cuba Oriental; parcialmente con Colón y Jaruco, de Cuba Occidental; Paso Real y Banao, de Cuba Central.

Ambiente de sedimentación: La base de la formación sugiere una deposición en un ambiente sublitoral de moderada energía, con desarrollo coralino limitado que no llegó a formar barreras arrecifales. Está caracterizado por la asociación Lepidocyclus - Corallinaceae. Marginalmente parece haber existido un ambiente lagunar con carácter muy local. La parte alta de la formación refleja oscilaciones marinas desde sublitoral a lagunar con influencia fluvial y áreas de pantano. En los episodios de levantamiento se produjo un mayor aporte de materiales terrígenos. Existieron fases de desarrollo coralino cuyos arrecifes están representados por la formación Yateras con la cual existe una transición tanto lateral como vertical.

Surgió en la edad Oligoceno Superior al Mioceno Inferior (parte baja). Es la formación con mayor desarrollo y presencia en el área de estudio. Tiene un espesor mayor de 700 m.

Formación Río Maya

El origen del nombre se deriva del río Maya, en el municipio de Maisí, provincia de Guantánamo. La litología está caracterizada por calizas biohémicas algáceas, coralinas y micríticas, muy duras, frecuentemente aporcelanadas. Contiene corales en posición de crecimiento y fragmentarios, así como, subordinadamente, moldes y valvas de moluscos, todos recristalizados, entre los que hay abundancia del coral *Acropora prolifera*. Las calizas se encuentran frecuentemente dolomitizadas. El contenido de arcilla es muy variable. Hay abundantes clastos de material terrígeno, provenientes de las rocas de las zonas vecinas emergidas; su granulometría varía entre arenas y cantos. En ocasiones existen intercalaciones de conglomerados polimícticos de granulometría variable y cemento calcáreo. El color es blanco, amarillento, rosado y grisáceo.

Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre las formaciones, Cabo Cruz, Baracoa, Camarones, Chafarina, La Cruz, Pilón, Sabaneta, San Antonio, San Luis, Sierra del Purial, el grupo El Cobre (parte indiferenciada), los miembros Baitiquirí (formación San Antonio y Yacabo) y Guardarraya (formación Punta Imías) y las ultramafitas y granitoides. Está cubierta discordantemente por la formación Jaimanitas.

Correlación: Es correlacionable con las formaciones Guane y Vedado, de Cuba Centro - Occidental; así como con Dátil y Bayamo, de Cuba Oriental y Alegrías, del Archipiélago Sabana - Camagüey.

Se desarrolló desde el Plioceno Superior hasta el Pleistoceno Inferior. El espesor oscila entre 30 y 80 m. Se formó en un ambiente donde sus depósitos se corresponden a episodios de desarrollo arrecifal que alternan con intenso aporte de materiales clásticos terrígenos, predominando los de desarrollo arrecifal.

Formación Jaimanitas

El nombre proviene del pueblo de Jaimanitas, provincia de Mayabeque. La litología está caracterizada por calizas biodetríticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas, con contenido principalmente de conchas bien preservadas, corales de especies actuales y ocasionalmente biohermos. Los bolsones cársicos se encuentran en ocasiones rellenos por una fina mezcla carbonático – arcillosa - ferruginosa, de color rojo ladrillo. Pasan a biocalcarenitas, de granulometría y estratificación variables o masivas. En mayor o menor cantidad contienen fragmentos de sedimentos terrígenos, que incluyen calizas preexistentes. Es frecuente encontrar variaciones litofaciales y biofaciales. En general, la cementación es variable y en su superficie presenta un casquete recristalizado de evaporita y caliche combinado, de 1 m a 2 m de espesor, por debajo del cual en ocasiones la roca aparece desintegrada, convertida en un material terroso. La coloración predominante es blanquizca, rosácea o amarillenta.

Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre las formaciones Güines, La Cruz, Río Maya, Vázquez, Vedado, Versalles, Turiguanó y las formaciones Júcaro y Río Jagüeyes (grupo Nipe). Está cubierta discordantemente por las formaciones Cocodrilo, El Salado, La Cabaña, Los Pinos, Cayo Guillermo y Playa Santa Fe y los depósitos innominados del Holoceno en el territorio emergido y en la plataforma marina insular.

Correlación. Puede ser correlacionada con las formaciones Camacho, Jamaica y Cauto, de Cuba Oriental y Sigüanea de Isla de la Juventud. La edad es del Pleistoceno Superior.

En el ambiente de sedimentación predominan las facies de playa, postarrecifal y arrecifal. El espesor probablemente excede de los 10 m.

Formación San Luis (sl)

El nombre se deriva del pueblo de San Luis, provincia de Santiago de Cuba. La litología está compuesta por una secuencia terrígena flyschoides, finamente estratificada, de rocas clásticas y terrígeno - carbonatadas, de granulometría variada desde arcillas hasta conglomerados. También contiene areniscas polimícticas de grano medio a fino, de color gris, que en ocasiones aparecen en capas gruesas; limolitas de color marrón-pardusco; limolitas calcáreas de color crema; lutitas calcáreas de color marrón, masivas; calizas micríticas arcillosas, de color beige; calizas biodetríticas, con abundantes foraminíferos bentónicos grandes; margas de color crema blanquecino, que pueden pasar lateralmente a calizas. Las calizas presentan aspecto masivo, son laminadas y en ocasiones deleznales, con predominio de colores pardo y crema; están constituidas por calcita de cripto a microcristalina, con contenido de material arcilloso y de óxidos e hidróxidos de hierro.

En algunos casos incluyen formas bentónicas, indicadoras de aguas someras de la zona sublitoral; en otras ocasiones sólo contienen formas planctónicas indicadoras de ambientes profundos. Asimismo en las calizas se aprecian granos de plagioclasas, cuarzo, metálico, clorita y rocas efusivas.

Las secuencias terrígenas están constituidas por areniscas de grano fino y grueso, que transicionan a areniscas calcáreas por el aumento de material carbonatado. Éste se encuentra representado por fragmentos de calizas, de organismos y por un cemento del tipo de contacto, de calcita, generalmente recristalizada. El material terrígeno es muy variado, caracterizado por rocas efusivas básicas, medias y ácidas, rocas intrusivas, rocas arcillosas y granos de plagioclasas de diferente composición, clinopiroxenos, cuarzo y granos de metálico. Los organismos presentes son fragmentos de algas, foraminíferos planctónicos y bentónicos, raramente silíceos y aisladamente se observan algunos formados por minerales fosfáticos. El cemento de estas rocas es de calcita, material criptocristalino no definido y zeolitas.

Relaciones estratigráficas: yace concordantemente sobre las formaciones Caney, Charco Redondo, Farallón Grande y Puerto Boniato y discordantemente sobre las formaciones Sabaneta, San Ignacio, Sierra del Purial y el grupo El Cobre (parte indiferenciada). Está cubierta concordantemente por la formación Camarones con la cual transiciona lateralmente y discordantemente por las formaciones Cabacú, Cauto, Río Maya, Manzanillo, Sevilla Arriba, así como por el miembro Rolanda, de la formación Cabo Cruz (grupo Guacanayabo), la formación Yateras y los miembros Baitiquirí, de la formación San Antonio,

Cilindro, de la formación Maquey, Guardarraya y Yacabo, de la formación Punta Imías (grupo Guantánamo) y las formaciones Bitirí y Camazán (grupo Nipe).

La edad es del Eoceno Medio parte alta al Eoceno Superior. Se formó en un ambiente de sedimentación que inicialmente ocurrió en aguas marinas profundas, finalizando en aguas de mediana a poca profundidad. El espesor es de 700 m aproximadamente.

Depósitos Palustres

La litología está representada por restos de vegetales, principalmente de mangles que pueden llegar a formar turbas, con limos, arcillas y arenas carbonáticas. Están mezcladas con componentes terrígenos. Color de negro a pardo. El espesor llega hasta 8 m, de edad Holoceno. Estos depósitos son propios de zonas con poca profundidad de agua y abundante aporte de restos vegetales y sedimentos limo - arcillosos, yace discordantemente sobre la superficie de calizas de la formación Jaimanitas.

Tectónica.

El área de estudio está enmarcada en una estructura superpuesta, dentro de la fase subplatafórmica. Su evolución comienza en el Eoceno Superior, en la subsidencia de un área poligonal irregular, enmarcada por fallas de diversas orientaciones. La cuenca tiene un carácter asimétrico en perfil con su mayor profundidad hacia la parte septentrional. Está limitada al sur por fallas longitudinales profundas, asociadas a la fosa de Bartlett.

Durante el Eoceno Medio y Superior se desarrollaron ampliamente las estructuras asociadas a fenómenos plicativos, donde se reflejan muy bien las estructuras disyuntivas. A grandes rasgos el área está marcada por movimientos de ascensos y descensos, dividida en forma de bloques que han ocurrido en diferentes épocas; los que han influenciado de forma decisiva en la conformación litológica, estado y morfología actual de la región.

Se puede afirmar que estos movimientos influyen entre otros aspectos en la forma de la red fluvial actual, con cauces que se alinean (arroyo Caña) y se interrumpen bajo el influjo de fallas y movimientos recientes (río Yateras), en la intensa y profunda

erosión que se nota en los cauces de los ríos y depresiones actuales, llegando a descubrir y actuar sobre las rocas madres, como ocurre con los arroyo Salado y Caña (anexo 2).

1.4 Características geomorfológicas regionales.

Según la regionalización del relieve cubano que aparece en el Nuevo Atlas Nacional de Cuba el área de estudio forma parte de la meseta de Yateras (Acevedo, 1989).

El relieve es ondulado, representado por un valle extenso y abierto con amplias llanuras fluviales y terrazas a diferentes niveles en ambos márgenes del río, las cotas máximas ascienden a 326 m snm, anexo 3, en el parteagua de la cuenca hidrográfica. Desde el punto de vista altimétrico en toda el área de estudio se pueden apreciar desde llanuras muy bajas (0 - 75) hasta alturas medias (300 - 400), medidas según la altura absoluta sobre el nivel medio del mar, anexo 4.

La disección vertical expresa el grado de profundización alcanzado por las corrientes de agua superficiales en su acción erosiva sobre la superficie terrestre, por lo es un indicador del trabajo erosivo realizado por el escurrimiento concentrado del río Yateras y en el área varían desde muy poca disección (0 - 10) hasta superficies diseccionadas (20 - 30), expresado en metros, anexo 5.

La disección horizontal indica el grado de desmembramiento de la superficie terrestres provocado por la acción de las corrientes de aguas superficiales, tanto permanentes como temporales y varían desde muy suavemente (0,3) hasta medianamente diseccionadas (2 - 3), que coinciden con los causes de los afluentes de las corrientes temporales, anexo 6.

Análisis de las pendientes

Los ángulos de inclinación de las pendientes se calcularon en grados y agrupan cinco categorías fundamentales, desde muy débiles (0 - 1) hasta inclinadas (6 - 8), anexo 7, se utilizó la clasificación de Spiridonov. Las muy débiles ocupan el 42 % del área, mientras que las medias abarcan el 32 %, las suaves con 18 %, las inclinadas suavemente y las inclinadas para un 7 y 1 % respectivamente.

Unidades geomorfológicas

La modelación del relieve está condicionada por procesos endógenos y exógenos, destacándose morfoalineamientos a través del río principal, anexo 2. Existe un predominio de los procesos fluviales, por la acción de las aguas que escurren sobre la superficie subaérea de forma concentrada o encausada, tanto permanente como temporal, originando formas del relieve como valles fluviales, llanuras de inundación, terrazas fluviales, llanuras aluviales, barrancos o cañadas y conos de deyección (abanicos).

A continuación se describen las principales unidades geomorfológicas dentro del área de estudio, anexo 8.

- i. Llanura acumulativa, muy baja y plana, con predominio de pendientes muy débiles, con muy poca disección vertical y muy suavemente diseccionadas, que coincide con el cauce del río desde las inmediaciones de asentamiento El Acueducto hasta la zona próxima a la desembocadura.
- ii. Llanura acumulativa y erosiva acumulativa, baja, plana y ligeramente ondulada, con poca disección vertical, pendientes medias, la que coincide con el cauce, plano de inundación y las superficies aterrazadas asociadas al cauce del río.
- iii. Llanura media, tectónica y erosiva acumulativa de bloque monoclinal, con disección vertical media, inclinada suavemente y superficies ligeramente diseccionadas horizontalmente, cimas aplanadas, carsificadas.
- iv. Alturas desde bajas a medias, tectónicas estructurales de horst y bloque en cadena monoclinales, inclinadas, con disección vertical de 20 – 30 m y medianamente diseccionadas horizontalmente, las cuales se corresponden con zonas muy próximas a los parteaguas de la cuenca hidrográfica del río Yateras.

1.5 Descripción de los suelos.

Los suelos en su evolución geológica son el resultado evolutivo de la cuenca del río y del arrastre o la erosión, además tiene cierta regularidad en sus sedimentos donde predominan los pardos con carbonatados. Para realizar la identificación de los suelos en el área se utilizó la Segunda Clasificación Genética, donde se describen los tipos predominantes (aluvial, esquelético, fluvisol cálsico, pardo rojizo, húmico carbónático y pardo con carbonato), caracterizados sobre la base horizontes en relación con su génesis y evolución, anexo 9.

El aluvial representa 23 km² estudio, el esqueléticos 20, 5; fluvisol los húmicos carcimórficos 0,2 y los se muestra en la figura 1.

Según la NC 46: 1999 en el área está caracterizado el primero por presentar arcillas duras cuando su profundidad m y los estratos superiores están arcillas duras, material caracterizado una onda de cortante entre 240 m/s y 450 m/s. Sus períodos están comprendidos entre 0,5 s y 0,8 s.

Los S3 poseen depósitos de arcillas blandas y arenas con espesores de 10 m o más con o sin presencia de capas intermedias de arenas u otra clase de suelos no cohesivos (este material puede caracterizarse por una velocidad de propagación de una onda de cortante menor de 240 m/s). Sus períodos están comprendidos entre 0,8 s y 1,2 s.

1.6 Características de la vegetación.

El progreso de las actividades humanas en esta área y la consecuente transformación de la naturaleza hasta la actualidad, han propiciado una antropización de los recursos florísticos, observándose espacios con muy bajo estado de conservación. Utilizando la clasificación dada por Capote y Berazaín (1984), las formaciones vegetales presentes son (anexo 10):

- ✓ Bosque siempreverde micrófilo costero y subcostero.
- ✓ Matorral xeromorfo costero y subcostero.
- ✓ Vegetación acuática.
- ✓ Vegetación cultural (cultivos con focos de pastos).

Las características de algunas formaciones se describen a continuación:



Fig 1. Áreas en km² de los tipos de suelos.

aproximadamente del área total de cálcsico 42,5; los pardos rojizos 1,2; pardos con carbonatos 82,8, como

presente los tipo de suelo S2 y S3, depósitos estables no cohesivos o hasta la base rocosa excede los 60 compuestos por arenas, gravas o por una velocidad de propagación de

Bosque siempreverde micrófilo costero y subcostero: se desarrolla por la influencia de los vientos marítimos, sobre suelo esqueléticos, donde las montañas altas evitan el acceso de los vientos húmedos del noreste y causan un clima seco local. Está compuesto por gran cantidad de árboles y arbustos xerófitos, generalmente con espinas u hojas espinoso dentadas. Son abundantes las especies de las familias de las leguminosas y los agaves. El estrato arbóreo tiene entre 5 y 12 m de altura, con una cobertura variable.

Matorral xeromorfo costero y subcostero: se presenta en calizas costeras sobre suelos esqueléticos. Recibe la influencia directa de los vientos marítimos, que actúan como factor secante. Se caracteriza por ser un bosque xeromorfo, esclerófilo y generalmente semidecíduo con dos estratos: el arbóreo, que alcanza una altura de 5 a 8 m y es bastante abierto y el arbustivo es a veces denso y alcanza de 1 a 1,5 m.

Vegetación cultural: en esta categoría se agrupan los diferentes cultivos, ya sea con focos de pastos o vegetación secundaria. Se localizan generalmente en las zonas llanas, sobre suelos pardos con carbonatos y aluviales. Los cultivos principales son de caña de azúcar, plátano, yuca, boniato, maíz y de pastos como el king grass.

1.7 Características climáticas regionales.

En la cuenca hidrográfica del río Yateras se dan los más notables contrastes pluviométricos del clima cubano, teniéndose en la parte alta de la cuenca (al norte), en las elevaciones de la meseta de Guaso y en la sierra de Falcón las precipitaciones anuales superan frecuentemente los 2 500 mm anuales y de esta manera va disminuyendo hasta alcanzar una media anual de 600 mm aproximados en la franja más próxima a la costa y en ocasiones hasta menos.

Para el área de estudio el clima se clasifica según Köppen como clima Tropical de Sabana (AW). Las condiciones climáticas que se presentan poseen características zonales, o sea, se relacionan con la topografía y la vegetación.

Precipitaciones

Los registros de las lluvias de mayor intensidad tienen lugar durante el paso de los ciclones tropicales, los que están acompañados por lluvias torrenciales y de gran intensidad. Las precipitaciones máximas caen de una manera muy irregular en función de la circulación de los vientos, centro de la tormenta y su desplazamiento por esta área, es por esto que su

distribución responde al estado general de la atmósfera al paso de la tormenta. Sin embargo se pudo determinar a través del mapa isoyético de las precipitaciones máximas diarias del 1 % un valor de 450 mm.

Evaporación

La evaporación promedio mensual desde la superficie del agua observada en la estación hidrometeorológica El Quemado: (evaporímetro clase “A”, anexo 3), en un período de 30 años (1961 -1994), es de 2 220 mm.

Vientos

La situación geográfica determina la magnitud de los vientos promedios mensuales y su dirección predominante. Las características de las velocidades promedio mensual para el área en estudio se refleja en la tabla 1.

Tabla 1. Dirección y velocidad promedio del viento

Variable	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Media anual
Velocidad del viento (km/h)	7,4	7,9	8,6	8,2	6,5	6,2	7,4	6,9	6,0	5,1	6,5	7,2	7,03
Dirección predominante	NE												

Fuente: Estudio hidrológico río Yateras, 2005.

Las velocidades máximas de los vientos se han reportado al paso de huracanes, siendo la mayor frecuencia de repetición en los meses de septiembre y octubre; estos poseen diferentes trayectorias, pero los vientos que alcanzan mayores velocidades son los del norte - noreste y del sur - sureste asociados a estos.

1.8 Sistema hidrológico del río Yateras.

La cuenca hidrográfica del río Yateras, anexo 11, se encuentra ubicada en la vertiente sur del parteagua central que atraviesa a la provincia, al este de la ciudad de Guantánamo, en la provincia del mismo nombre. Limita al norte con la cuenca del río Toa, al sur con el Mar Caribe, al este con la cuenca del río Sabanalamar y al oeste con la cuenca Guantánamo – Guaso. La delimitación de la cuenca está originada en lo fundamental por varias cadenas montañosas que forman una especie de cinturón a su alrededor, donde pueden encontrarse alturas como las siguientes: por el norte la sierra de Falcón y la meseta del Guaso con 883, 46 m snm, por el este la sierra de Caujerí con 640 m snm y por el oeste la sierra del Maquey con 360 m snm.

El río Yateras es la principal fuente hídrica de la cuenca del mismo nombre, tiene una longitud de 78,1 km. Su red de drenaje está bien desarrollada y orientada en lo fundamental de norte a sur (anexo 11).

La red de drenaje presenta características de un río montañoso, su nacimiento se ubica en las coordenadas geográficas 20° 20' 23" de latitud norte y los 74° 58' 12" de longitud oeste y concluye su recorrido en el mar Caribe, donde vierte sus aguas. La cuenca hidrográfica posee un área de 391 km² y presenta un cauce amplio, limpio y poco profundo en su recorrido. El régimen del río es de carácter permanente.

Su principal afluente es el río San Andrés, aunque cuenta con otros de importancia como Caña, Los Negros, Blanco y Ojo de Agua. Sus aguas no están reguladas.

1.9 Descripción de la cortina de la presa Yateras.

La cortina presenta un diseño que se basa en una sección heterogénea de núcleo de arcilla, con 2,0 km de longitud y 45,0 m de altura, con dos espaldones a ambos lados, uno con gravas y cantos rodados de caliza y el otro con rajón. Con cota de corona es de 144,0 m, un ancho de 6 m más un parapeto de 1,20 m. Entre el núcleo y los espaldones se colocará una capa de transición conformada por la porción fina de la capa 2. Para cortar las filtraciones por la base de la presa se construirá un dentellón hasta la capa impermeable del macizo rocoso.

La protección del talud aguas arriba contra el oleaje se extiende desde la corona hasta la berma en cota 119,7 m snm (por debajo del Nivel de Volumen Muerto en cota 120,7 m snm, será construido de rajón con espesor de 1 m y diámetro promedio

de la piedra de 0,40 m, con coeficiente de uniformidad entre 3 y 15. Por debajo de la cota 120,7 m snm no se construirá ninguna berma sino que se continúa el talud con pendiente de 1:2,5 hasta el terreno natural. En el talud aguas abajo se construirán dos bermas de cotas 130,0 y 115,0 m snm, con 4,0 y 7,5 m de ancho respectivamente, lo que permitirá el desvío sobre ella del camino hasta el asentamiento Ciro Frías. Ambas servirán para facilitar la construcción y mantenimiento del talud aguas abajo. Se prevé la protección del talud aguas abajo con capa vegetal.

En la salida del agua de filtración en el talud aguas abajo se construirá un drenaje recostado, combinado con un colchón de drenaje, que puede ser extendido hacia aguas arriba, hasta un cuarto de la longitud de la base en la medida que sea conseguido el material, que será del resultado del rastrillado de la capa 2 o del producido por voladura en la cantera de rajón.

1.10 Factores que influyen sobre la estabilidad de la cortina.

En términos generales, los factores que propician los problemas de deslizamientos y/o inestabilidad de taludes (en la cortina) se dividen en internos y externos y tienen que ver directa o indirectamente con los esfuerzos cortantes actuantes y resistentes que se desarrollan en la superficie de deslizamiento.

Puede existir una combinación de varios factores y es difícil de distinguir la influencia de cada uno de ellos durante la falla del talud. Los cambios en el ambiente y las perturbaciones al entorno natural por actividades humanas, son causas que también pueden desencadenar estos fenómenos gravitacionales. Por lo que es muy importante tener una panorámica acerca de los múltiples factores potenciales que conducen a la falla de las presas de tierras, creando escenarios muy complejos. Los más destacados de ellos se agrupan en las siguientes categorías.

- ✓ Ciclones tropicales: teniendo en cuenta que las mayores precipitaciones en la provincia de Guantánamo son causadas por este tipo de evento y por la acción que ejercen los vientos huracanados en la estabilidad de la cortina a través del oleaje.
- ✓ Factores hidrológicos: características de las avenidas, su frecuencia, volumen y el tiempo de duración, los cuales dependen del cambio de las precipitaciones y las relaciones lluvia - escurrimiento de la cuenca aguas arriba. También

son importantes el volumen almacenado antes las avenidas (volumen total 86 hm³, volumen muerto 15 hm³), la presencia de sedimentos en el embalse y las avenidas relámpago potenciales.

- ✓ Factores hidráulicos: diseño y desempeño de las obras de toma, aliviaderos, compuertas, válvulas y estructuras de desvío. Deben estudiarse las respuestas de estos elementos en relación a como ingresan las avenidas aguas arriba del embalse, así como las acciones del oleaje para evitar sollicitaciones.
- ✓ Factores sísmicos: temblor de gran intensidad y aceleración sísmica que sobrepase el cálculo de diseño del embalse. Se analiza también para resistir a terremotos de una cierta magnitud, que se llama *sismo de proyecto*. Por razones económicas algunas veces se establece con una magnitud muy baja. En caso que se produzca un temblor de mayor magnitud, la presa puede sufrir daños que pueden llegar hasta la ruptura de la misma. En algunos países esta magnitud está fijada por normas de cumplimiento obligatorio, sin embargo siempre puede suceder uno mayor y causar un desastre.
- ✓ Factores geotécnicos: características de la cimentación, fenómenos como filtración, sifonamiento y agrietamiento transversal que es muy peligroso ya que atraviesa la presa facilitando el flujo concentrado en una zona de la cortina, deslizamiento de taludes y la presencia de fallas tectónicas. Se debe poner mayor atención en el comportamiento de los materiales térreos, que en este caso serán locales. Puede considerarse que esta causa es también una deficiencia de diseño, al no hacerse las investigaciones geológicas y geofísicas suficientes para poder diseñar la presa con la necesaria seguridad.
- ✓ Factores estructurales: análisis de estructuras de concreto y mampostería, poniendo énfasis en la corrosión, la evaluación de mecanismos potenciales de falla y la forma de controlarlos.
- ✓ Factores de materiales y construcción: tipo y calidad de materiales empleados para la cortina y la cimentación, tratamiento de la cimentación y control de calidad durante la construcción. Se debe estudiar la posible variación de las propiedades de los materiales debido a cambios en temperatura, estado tensional y humedad durante la construcción y operación.

- ✓ Factores de operación y mantenimiento: operaciones de descarga antes y durante avenidas, procedimientos de operación cuando se presentan incidentes, inspección de seguridad, programas de reparación y mantenimiento de la presa, etc.
- ✓ Intensas sequías: puede causar inestabilidad geológica por cambios en los niveles de agua durante el llenado, alterando la presión de poros en los taludes de la cortina.
- ✓ Otros factores: actos de guerra, sabotaje y terrorismo, así como acciones de animales y vegetación, también pueden causar desastres.

Aunque todos estos factores deben tomarse en cuenta en las diferentes fases de la vida de una presa, el papel de la geotecnia es el más relevante y trascendental. De hecho debe haber una sincronización y coordinación prácticamente perfecta entre la geología, topografía, hidráulica, hidrología, geotecnia, la mecánica de los suelos, la mecánica de las rocas y la ingeniería estructural, así como la ingeniería sísmica cuando se trata de una presa localizada en la zona sísmica 2A (anexo 22), lo que implica riesgo sísmico moderado, que puede ocasionar afectaciones en las construcciones e incita a tomar medidas preventivas sismorresistentes en todas las estructuras.

En lo que se refiere a las características de los materiales a utilizar, en las cortinas de tierra se deben descartar aquellos que sean dispersivos y colapsables; además, para el diseño de este tipo de cortinas se debe tomar muy en cuenta sus propiedades mecánicas, como la resistencia al esfuerzo cortante, su compresibilidad y permeabilidad.

En la medida que se conozca y se entienda cómo afectan estos factores a la estabilidad o inestabilidad de los taludes de la cortina, se tendrán más elementos para distinguirlos en el campo, evaluar el grado o la magnitud de la amenaza, tomar medidas de prevención o evacuación si fuera necesario y de ser posible, prevenir su falla mediante la aplicación de métodos de estabilización.

En el mundo son múltiples los ejemplos de fallos que han ocurrido por rotura de presas, causados por los factores antes descritos, algunos casos se describen en la siguiente tabla:

Tabla 2. Registro de fallos de algunas presas en el mundo.

Presa	Año	Localización	País	Detalles
Pantano de Puentes	1802	Lorca	España	Construcción defectuosa, más de 600 muertos
Dale Dike Reservoir	1864	South Yorkshire	Reino Unido	Construcción defectuosa, pequeño escape (tubificación).
South Fork Dam	1889	Johnstown, Pennsylvania	EE.UU.	Afectada localmente por un mantenimiento pobre, los tribunales lo consideraron un caso fortuito acrecentado por una excepcional lluvia torrencial.
Desná Dam	1916	Desná	Imperio austrohúngaro	Defectos en la construcción provocaron la rotura de la presa
Llyn Eigiau	1925	Dolgarrog, Wales	Reino Unido	El contratista culpó a la reducción de costos, pero también es cierto que cayeron 630 mm de agua en 5 días.
St. Francis Dam	1928	Los Angeles	EE.UU.	Inestabilidad geológica del cañón que pudo haber sido detectada con tecnología disponible en aquel tiempo, combinado con un error humano que evaluó el desarrollo de las grietas como "normal" para una presa de este tipo.
Vega de Tera	1959	Ribadelago	España	Produjo la muerte de 144 de sus 550 vecinos. A raíz de esto cambió la normativa española de presas.
Malpasset	1959	Côte d'Azur	Francia	Fallo geológico motivado por uso incorrecto de explosivos durante la construcción.
Presa de Vajont	1963	Vajont	Italia	Estrictamente la presa no fallo, pero sí fallaron las laderas del vaso que al caer sobre el agua generaron un megatsunami que generó una onda que, pasando por encima de la presa, destruyó

				varios pueblos.
Banqiao and Shimantan Dams	1975	...	China	Lluvia extrema, muy superior a la de diseño.
Teton Dam	1976	Idaho	EE.UU.	Infiltración de agua a través del talud (tubificación).
Kelly Barnes Dam	1977	Georgia	EE.UU.	Desconocido, posible error de diseño debido a incrementos continuos de carga por aprovechamiento energético.
Lawn Lake Dam	1982	Rocky Mountain National Park	EE.UU.	Corrosión.
Carsington	1984	Derbyshire	Inglaterra	Plastificación del núcleo arcilloso.
Val di Stava	1985	...	Italia	Mantenimiento pobre y escaso margen de seguridad en el diseño, los desagües de fondo fallaron elevando la presión de la presa.
Peruća	1993	...	Croacia	Las fuerzas serbias detonaron la presa.
Vodní nádrž Soběnov	2002	Soběnov	República Checa	Lluvia extrema durante las inundaciones en Europa de 2002.
Shakidor	2005		Pakistán	Lluvia extrema inesperada
Embalse de Taum Sauk	2005	Lesterville, Missouri	EE.UU.	Error informático o del operador. Los manómetros no se tuvieron en cuenta a sabiendas de que existían registros de roturas con presiones menores.
Situ Gintung	2009	Tangerang	Indonesia	Mantenimiento escaso y lluvia monzónica

1.11 Peligros de carácter geólogo – geomorfológico de manifestación súbita.

La estimación del peligro en la región es esencial para estimar la vulnerabilidad y luego los posibles daños de los componentes en riesgo. Uno de los factores potenciales que conducen al fallo de las presas es el sísmico y para su evaluación se deben tener en cuenta: frecuencia de ocurrencia y magnitud de los sismos, características de fallas tectónicas regionales y fallas

geológicas locales; además se deben estimar los movimientos del terreno en el sitio de emplazamiento y la probabilidad de avenidas asociadas con fallas sísmicas.

La probabilidad de que se produzca una actividad sísmica (terremoto), es difícil de predecir; sin embargo, se debe evaluar el poder destructivo que estos acarrearán según su intensidad y ser considerados como uno de los factores potenciales que generan una amenaza, al causar daños a la infraestructura de la presa y ocasionar hasta la posible falla de la misma. No obstante, con la medición y el registro detallado de la actividad en las regiones de moderada y alta sismicidad, es posible llevar a cabo estudios de peligro en sitios específicos que permiten definir racionalmente las acciones que deben soportar las estructuras a construir.

1.12 Estudios precedentes o estado del arte.

En EE.UU. el Bureau of Reclamation es una agencia federal con más de cien años de historia, cuya misión fundamental es garantizar el abastecimiento de agua en los 17 Estados del oeste del país. Tiene su oficina central en Washington y distintas sedes en otros tantos estados, encontrándose su centro operativo y de investigación más importante en Denver, Colorado.

Precisamente en este centro de investigación se constituyó un grupo con el objeto de implementar una metodología que permitiese tomar decisiones de inversión en seguridad de presas basadas en “riesgo”, el grupo lo integraban unas 12 personas.

El Army Corps of Engineers (USACE) es responsable de las presas en el sector este del país y esencialmente gestiona infraestructuras dedicadas a la protección frente a avenidas. En el año 1999 desarrolló también un procedimiento homogéneo de evaluación preliminar que se basaba en las condiciones presentes de las presas de materiales sueltos y proporcionaba un método para priorizar las actividades de mantenimiento y reparación en las presas. El procedimiento se basa en el juicio de expertos más que en análisis probabilístico y para su elaboración contó con la colaboración de representantes de Hydro - Quebec y Michigan State University.

El Comité Nacional de Grandes Presas en Australia ha elaborado durante los últimos años una guía sobre la Declaración de Riesgo en Presas. No obstante, cada uno de los estados australianos es libre de interpretar o aplicar las recomendaciones según su propio criterio.

En el Reino Unido los trabajos relacionados con la seguridad de presas fueron auspiciados por la House of Lords en el año 1982. El primer intento basado en el análisis de riesgo resultó infructuoso al no ser capaz de presentar un sistema preliminar de estimación de riesgo homogéneo.

Posteriormente se desarrollaron diversos trabajos relacionados con otras áreas de la seguridad de presas, aunque resulta destacable el libro Risk Management for UK Reservoirs en el que se incluye recomendaciones para llevar a cabo la gestión de riesgo en presas británicas, así como análisis preliminares sobre parámetros de rotura de presas y estimación de consecuencias. En general, algunas administraciones hidráulicas británicas utilizan análisis cuantitativos de riesgo a fin de priorizar inversiones e investigaciones.

Existen investigaciones subvencionadas con fondos estatales y que presenta un sistema integrado, basados en la declaración de riesgo cuantitativa, como marco adecuado para que un grupo de ingenieros decida y estime las probabilidades anuales de ocurrencia de las solicitaciones que actúan sobre las presas, las probabilidades anuales de rotura, las consecuencias de la misma y los criterios de tolerancia.

En Portugal es destacable los esfuerzos realizados para la gestión de riesgo y muy especialmente en la estimación de daños causados por la rotura de presas y la implementación de medidas no estructurales. Se elaboró un criterio preliminar de evaluación de riesgo que actualmente es la base para la inspección de la seguridad de presas. Además se llevaron a cabo estudios de seguridad cualitativos para cuatro presas que presentaba un alto índice de riesgo.

Alemania es un país federal en el que cada uno de los estados gestiona la seguridad de sus presas y embalses. En casi todos los estados ya se ha aplicado con éxito el análisis de riesgos a nivel cualitativo y cuantitativo y se ha desarrollado criterios propios de aceptación de riesgo.

En España respecto a la gestión de la seguridad de las presas se puede decir que desde el año 1905 (donde se crea una comisión del denominado Ministerio de Fomento, que elabora una instrucción para los Proyectos de los Pantanos), hasta la actualidad se desarrollaron una serie de instrucciones, normas, proyectos, directrices de planificación de protección civil y reglamentos técnicos sobre seguridad de presas y embalses que posibilita la reducción del riesgo por esta causa.

Cuba

En nuestro país, la empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de la provincia de Villa Clara cuenta con estudios de rotura de las presas no solo en su territorio, sino también de provincias vecinas. Uno de estos estudios fue sobre la presa (de tierra) Palmarito ubicada en el curso del río Sagua la Grande, donde se utilizó la metodología simplificada de Cálculo para la Determinación de los Parámetros de Inundación Causada por Rotura de una Presa de Tierra y que es la metodología aprobada por el INRH.

Para calcular el gasto máximo que puede ser vertido durante la rotura utilizaron la siguiente expresión de Chorlich (Alexeev 1973): $Q_n = 0.9 (b/B)^{1/4} b * H^{1.5}$ y se calculó el gasto que llega a cada sección mediante la fórmula $Q = W_o Q_n / (W_o + LT)$, donde:

Q - gasto calculado para la sección (m^3)

W_o - volumen en el embalse para el nivel de cálculo (m^3)

L - distancia desde la presa hasta la sección (m)

T - parámetro que depende del tamaño del río (se tomó 0,5)

Y para calcular la curva de gasto en la sección se utilizó la fórmula de Chezy:

$$Q = AC (Ri)^{1/2}$$

A área de la sección

C coeficiente de Chezy

R radio hidráulico

i pendiente hidráulica

En este estudio se utilizaron varias formulas porque el objetivo general, en este caso era determinar áreas de inundación, niveles de agua y tiempo de llegada de la avenida considerando la variación del coeficiente de fricción del cauce del rio y sus laderas. Y el resultado es utilizado por la defensa civil del territorio en caso de catástrofe, conociendo la problemática con certeza si están los datos actualizados, el tiempo de respuesta para cada una de los poblados o cualquier objeto de importancia económica que se encuentre en zonas de peligro.

En el territorio de Sagua de Tánamo, en la provincia de Holguín, en el año 2003 Sulma Castañeda Herris, en el desarrollo de su tesis de maestría realizó una investigación sobre la zonación ingeniero geológica de peligrosidad y riesgos por inundación mediante el análisis e interpretación de las principales condiciones y causas condicionantes del medio físico que propician el desarrollo de este fenómeno, con el empleo de las técnicas de cartografía digital y Sistema de Información geográfica (SIG).

El método aplicado plantea la solución del problema a partir de la conexión de la cartografía ingeniero – geológica y la aplicación de un SIG, considerando entre los métodos y técnicas de representación cartográfica digital la informatización, a partir del trabajo con mapas bases y superposición de capas. Se obtuvo, como resultado, el mapa de riesgos de inundación por la crecida de río Sagua como expresión de la influencia de las condiciones naturales e hidrometeorológicas imperantes en el área de estudio.

En el año 2006 en la tesis presentada en opción al grado científico de doctor en ciencias técnicas por Fernando Guasch Hechavarría, realiza el análisis y evaluación de la presa Silantro, del municipio Pílon en la provincia de Granma, donde a partir del estudio de la condiciones geológicas de la región, la evaluación de la actividad antrópica y con la visión de análisis anticipativo dada por los estudios de escenarios predesastres, fue advertido el comportamiento que tendría este embalse en el tiempo y sobre todo la estabilidad de su aliviadero.

La presa Silantro que se encuentra ubicada en la vertiente sur de la sierra Maestra, surge de un proyecto concebido en la década de los 90, luego de ser afectado el municipio de Pílon por intensa sequía, agravándose la situación por la contaminación por intrusión salina y humana de la cuenca del río Purgatorio, única fuente de abasto hasta ese momento para

una población de más de 10 000 habitantes. Por lo tanto este proyecto es determinante para el abasto de agua potable a la población de la cabecera Municipal.

El diseño tiene una capacidad de embalse de unos 16 millones de m³. Para su proyección fueron realizadas investigaciones sismológicas que abarcaron desde una caracterización geólogo - geofísica de la zona propuesta para el cierre, hasta mediciones instrumentales para estudios de microzonificación y caracterización de la respuesta y factor de amplificación de los suelos.

Desde la concepción del proyecto se advirtió como una acción preventiva, acerca de que la zona del cierre presentaba condiciones geólogo - tectónicas complejas principalmente en la zona del aliviadero, caracterizado por la presencia de tobas estratificadas con un alto grado de tectonismo y meteorización, que unido a la actividad antrópica generada por el laboreo y uso de explosivos en la construcción, favorecerían el proceso de pérdidas por infiltración.

“Se hizo caso omiso a esto y en 1998 se cargó el embalse, comenzando inmediatamente las pérdidas por infiltración. En nuestro reiterados análisis con los administradores de la presa y las autoridades de la municipalidad, nos expresaron que no nos preocupáramos que esa presa estaba sobre dimensionada y que nunca se iba a llenar, que en Pilón no llovía que predominaba la sequía” (Hechavarría 2006).

Luego de cargado el embalse se comienzan las perforaciones en el aliviadero, las inyecciones para el control de las pérdidas y las investigaciones ingeniero geológicas para el estudio de capilaridad, flujo subterráneo, etc.

Existieron varios errores relacionados con la mala evaluación del sitio seleccionado para el aliviadero, incorrecta soluciones ingenieriles, diseñar un aliviadero natural en condiciones geológicas complejas y la toma de medidas inoportunas, al decidir inyectar en el aliviadero después de cargada la presa, cuando ha aumentado la presión de poros y la sufosión.

Se mantuvo el monitoreo de estas pérdidas, que prácticamente evidenciaban un flujo laminar continuo que dio incluso origen a una cascada al final del aliviadero en su intersección con el cauce del río.

A partir del año 2002 fenómenos asociados a intensas lluvias catalizaron los procesos negativos en esta obra hidrotécnica:

- ✓ El paso de la tormenta tropical Lily produjo más de 300 mm de lluvia en esa cuenca en 24 horas.

- ✓ El huracán Dennis en el 2004, con afectaciones que intensificaron los procesos erosivos.
- ✓ La tormenta tropical Wilma en el 2005, provocó severas transformaciones que fueron en su momento pronosticadas.

La lluvia caída en el 2002 llenó el embalse y el mismo vertió por su aliviadero natural, generándose desde entonces en el mismo una erosión remontante que continúa incrementándose cada vez que se produce el proceso de vertimiento debido a la influencia de las condiciones geológicas típicas del lugar.

Este es un buen ejemplo cuando no se consideran los estudios de los escenarios, se realizan intervenciones no adecuadas que incrementan el nivel de vulnerabilidad y riesgo y potencian situaciones de desastres. En el caso de la presa Silantro, la incorrecta evaluación de los peligros a los cuales se encuentra expuesta la obra, la ausencia de análisis de los niveles de vulnerabilidad y riesgo y la carencia de modelos de evaluación de impacto ante la ocurrencia de fenómenos naturales severos.

El estudio continuado (realizado por el doctor Fernando Guas) de la presa Silantro ha puesto de manifiesto:

- ✓ La utilidad de los estudio de escenarios pre-desastres.
- ✓ Cómo los errores en la investigación, proyección, ejecución, puesta en marcha y explotación de un proyecto, pueden decidir sobre el riesgo de la inversión, riesgo al medioambiente, riesgo social y el riesgo económico.

En la provincia de Guantánamo

En el año 2006 se realizó un estudio de peligro de inundación de la ciudad de Guantánamo para el caso de rotura de las cortinas de las presas Faustino Pérez y Jaibo, con el objetivo de planificar medidas en esta área urbana y tomar las medidas oportunas que mitiguen las potenciales afectaciones. Estos embalses regulan las aguas que pueden afectar la ciudad, protegiéndola de grandes inundaciones.

Para estimar las cotas máximas de inundación se utilizaron los mapas 1:10 000 y 1:25 000 de la ciudad de Guantánamo y sus alrededores, como base cartográfica y los Método de Fuentes y Osnaya ($Q_p = 0.9280 * b * H^{3/2}$) y el Método de Chorlich ($Q_n = 0.9 (b/B)^{1/4} b * H^{1.5}$). Para realizar las estimaciones se consideraron dos casos:

- ✓ El primero evalúa la rotura de la presa para el nivel de aguas máxima (NAM).

✓ El segundo evalúa la rotura de la presa en el nivel de agua normal (NAN).

En ambos casos se consideró una rotura del 25 % de la longitud de la cortina, teniendo en cuenta que las presas que han fallado a nivel mundial la han hecho en el rango desde 10 a 25, aproximadamente.

En el año 2012 el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas realizó un estudio sobre los parámetros sismológicos regionales para la factibilidad del proyecto de construcción del conjunto presa Yateras, canal magistral y otras instalaciones. Donde se evaluó el peligro sísmico a partir de la seguridad de elementos vitales en las presas de tierra como son: aliviadero, obra de toma y dique.

Determinaron que la parte sur de la provincia de Guantánamo se encuentra ubicada en la zona frontera de dos grandes placas tectónicas, caracterizadas por presentar diferentes niveles de potencialidad sísmica. En primer lugar se distingue la zona sismogénica Oriente (para este caso Oriente 1 y Oriente 3) por la frecuencia con que ocurren en ella terremotos con altos valores de magnitud e intensidad, es por ello que esta región es considerada la de mayor peligrosidad sísmica del país y se corresponde con la estructura Bartlett – Caimán.

Esta falla transcortical posee una extensión de 1 600 km y un ancho entre 100 - 150 km aproximadamente, con una profundidad de más de 50 km. Constituye además un límite de morfoestructuras del sistema tectónico global que presenta un contraste topográfico significativo (más de 8 000 m) entre los megabloques de la cresta y la fosa Bartlett-Caimán; a esta se le asocia la más alta sismicidad de todo el territorio cubano, al registrarse en ella 22 de los 28 sismos catastróficos de mayor intensidad conocidos hasta ahora, los que de una forma u otra inciden sobre el área en estudio.

En los últimos 15 años se han registrado más de 3 000 terremotos débiles y moderados. La alta actividad tectónica también se manifiesta en los altos gradientes de las velocidades de los movimientos neotectónicos, especialmente en la región de la Sierra Maestra. La magnitud máxima estimada que puede esperarse para la zona es de 8,0 Richter.

1.13 Conclusiones

En el área de estudio el corte estratigráfico está representado por depósitos aluviales y palustres del cuaternario y las formaciones *Maquey (con mayor presencia en el área de estudio), Río Maya, Jaimanitas y San Luis*. La tectónica comienza su

evolución en el Eoceno Superior enmarcada por fallas de diversas orientaciones. El relieve es ondulado, los ángulos de inclinación de las pendientes varían desde muy débiles hasta inclinados. Los tipos de suelos predominantes son aluvial, esquelético, fluvisol cársico, húmico carbónico y pardo con carbonato.

Existen grandes diferencias climáticas entre la parte alta de la cuenca y la más baja con promedios de precipitaciones de 600 mm. La red de drenaje presenta características de río montañoso y tiene una longitud de 78,1 km. Su red de drenaje está bien desarrollada y orientada de norte a sur.

La cortina presenta un diseño que se basa en una sección heterogénea de núcleo de arcilla, con 2,0 km de longitud y 45,0 m de altura y los principales factores que influyen sobre su estabilidad son: Ciclones tropicales, hidrológicos, hidráulicos, sísmicos, geotécnicos, estructurales, materiales y construcción, operación y mantenimiento, sequías y otros).

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA UTILIZADA PARA DETERMINAR EL PELIGRO, LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO

2.1 Introducción

Para llevar a cabo el presente estudio en el área seleccionada y evaluar el comportamiento de las inundaciones, producto de la rotura de la cortina de la presa Yateras, se desarrolla un conjunto de métodos y tareas que se describen a continuación por su orden cronológico aproximado. De manera que las herramientas empleadas permitan procesar de manera organizada la información, para obtener resultados que aporten una solución a la problemática o den respuestas a las incógnitas planteadas en la investigación: evaluar el peligro, la vulnerabilidad y el riesgo generado por la falla de esta obra hidrotécnica.

Para determinar hasta donde llegarían las aguas en caso de rotura de la cortina de la presa se utilizó la Metodología Simplificada de Cálculo Para la Determinación de los Parámetros de Inundación Causada por Rotura de una Presa de Tierra y es la metodología aprobada por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH).

En este trabajo las descripciones se basan en el principio de modelaciones sobre las inundaciones que pudieran ocurrir para el Nivel de Aguas Normales (NAN) y para el Nivel de Aguas Máximas (NAM) más el caudal máximo registrado en el río principal (al paso del huracán Flora en 1963), siempre teniendo en cuenta una rotura del 10 % de la cortina de la presa.

2.2 Etapa Inicial o preparatoria.

En esta etapa se realizó una consulta bibliográfica detallada de un grupo valioso de trabajos y materiales procedentes de varias instituciones económicas y centros educacionales, sobre el comportamiento de las presas en el mundo y en nuestro país, además se consultaron mapas temáticos del territorio (geológico, suelo, pendientes, topográfico, red hidrográfica, vegetación, etc...).

El trabajo exploratorio de campo por el área de estudio también se realizó dentro de las primeras labores de la investigación, por parte del autor y otros especialistas de la empresa GEOCUBA Oriente Sur, el Centro de Aplicaciones Tecnológicas para el Desarrollo Sostenible (CATEDES) y el CITMA. Se realizaron entrevistas a especialistas y expertos en el tema; perteneciente a varias instituciones como, el INRH, el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), el Centro de Gestión para la Reducción del Riesgo provincial, la Dirección Provincial de Estadística, entre otras.

Se realizaron cálculos de los valores de los caudales para determinar las cotas hasta donde llegarían las aguas en caso de rotura, a través de perfiles trazados a lo largo del río principal desde el asentamiento Ciro Frías hasta próximo a la desembocadura. Los resultados obtenidos fueron utilizados para realizar comparaciones, análisis hidrológico – geográfico acerca de las diferencias y variaciones espaciales del comportamiento de las inundaciones para las condiciones analizadas. Los análisis se realizaron en los programas ArcGis y Flow Master.

El trazado y confección de los perfiles topográficos se realizó después de consultar diversos mapas y de realizar la caracterización físico - geográfica del área de estudio, para ello se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos fundamentales:

- ✓ Asentamientos poblacionales próximos a las márgenes del río principal.
- ✓ Infraestructura de interés nacional, como la carretera Guantánamo – Baracoa que atraviesa el río en las inmediaciones del asentamiento Acueducto.
- ✓ Unidades del relieve.
- ✓ Uso y tenencia de la tierra.
- ✓ La tectónica de la región y las formaciones geológicas.

2.3 Cálculo del caudal máximo por rotura de la presa para determinar el área amenazada.

Para determinar, de forma aproximada, la cota máxima que alcanzan las aguas por el efecto de la rotura de la presa, primeramente se procedió al cálculo de caudal mediante el Método de Chorlich, a través de la siguiente expresión.

$$Q_n = 0.9 (b/B)^{1/4} bH^{1.5}$$

Donde:

Q_n - Gasto máximo de agua al producirse la rotura de la presa en m^3/seg .

b - Longitud de la parte destruida de la presa en metros. En este caso se tomó una destrucción parcial del 10 % de la longitud de la cortina.

B - Longitud de la presa en metros al nivel del agua que está considerado en el cálculo (longitud mojada en el talud aguas arriba).

H - Carga hidráulica en metros, el cual se toma desde el fondo del cauce hasta el nivel que se considere en metros (diferencia entre la cota del agua y la cota del fondo del río en la presa).

En la siguiente tabla se reflejan los valores de los parámetros técnicos del diseño de la presa, algunos se utilizaron para el cálculo del caudal y otros son de interés por la valiosa información que aportan.

Tabla 3. Parámetros técnicos del embalse y caudales utilizados para las modelaciones.

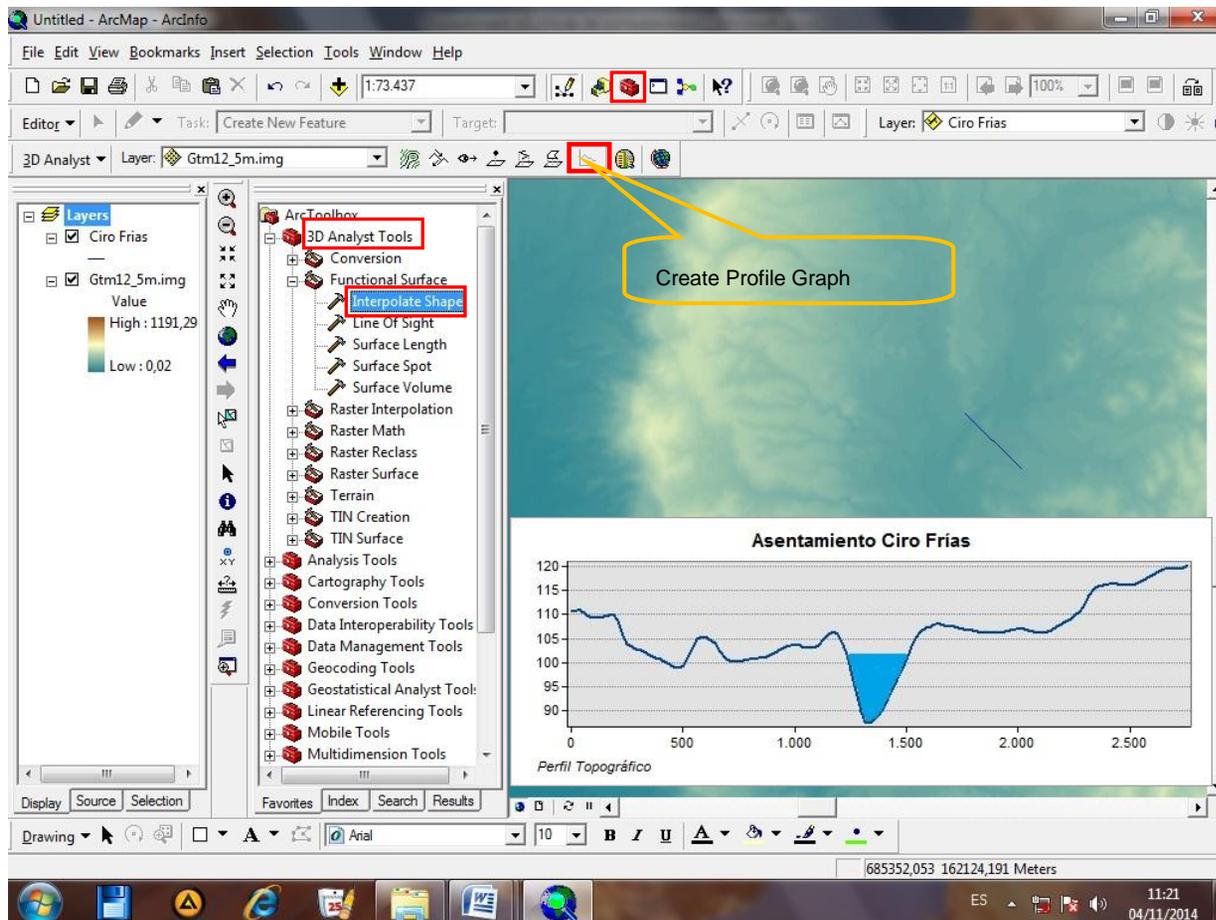
Parámetros	Valores
b (m)	200
B (m)	1 760

H (m)	37, 6
Cota Corona (m)	141
NAN (m)	139
NAM (m)	140
Área del embalse por NAN (km ²)	6, 25
Volumen total (hm ³)	86
Volumen muerto (hm ³)	15
Escorrentamiento medio hiperanual (hm ³)	91,9
Volumen de avenida del 0,5 % (hm ³)	106
Gasto de avenida del 0,5% (m ³ /s)	4 166
Qn (m ³ /s)	24 095, 37
Caudal al paso del huracán Flora en el año 1963 (m ³ /s)	2 840

Fuente: Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.

2.3.1 Obtención de los perfiles topográficos. Procesamiento de imágenes y mapas.

Después de calcular el caudal a partir de los parámetros técnicos constructivos de la presa, se procedió a determinar la topografía de la superficie aguas abajo del cierre propuesto para la cortina, trazando perfiles transversales a lo largo del cauce del río principal, hasta su desembocadura. Se utilizó el Modelo Digital del Terreno (MDT) construido sobre la base de una escala de 1: 25 000, una equidistancia de 5 m entre las curvas de nivel y la interpolación entre puntos para su obtención fue de 12,5 m, aplicando la herramienta *Interpolate Shape*, ubicada en *3D Analyst Tools\Functional Surface* del Arc ToolBox del programa ArcGis 9.3 (figura 2).



Esta herramienta realiza el cálculo topográfico teniendo en cuenta la altura del terreno en cada punto del perfil. En *Input Surface* (figura 2) se pone el MDT, en *Input Feature Class* se introduce la capa de línea (de los perfiles) hecha con anterioridad, por la cual se crea una nueva capa para generar el perfil topográfico, en *Output Feature Class* va el nombre del fichero de salida y el lugar donde será guardado, en *Sampling Distance (optional)* la distancia que se quiere para la medición de los diferentes puntos del perfil (es opcional) que el programa por defecto asume una distancia de 12,5 m, los demás parámetros se dejan como están,

Figura 2. Herramienta utilizada en ArcGis 9.3 para el cálculo topográfico.

luego ok. El resultado es una nueva capa de línea la cual se pone editable y con el objeto seleccionado se accede a la herramienta *Create Profile Graph* (figura 3) y se crea el perfil topográfico.

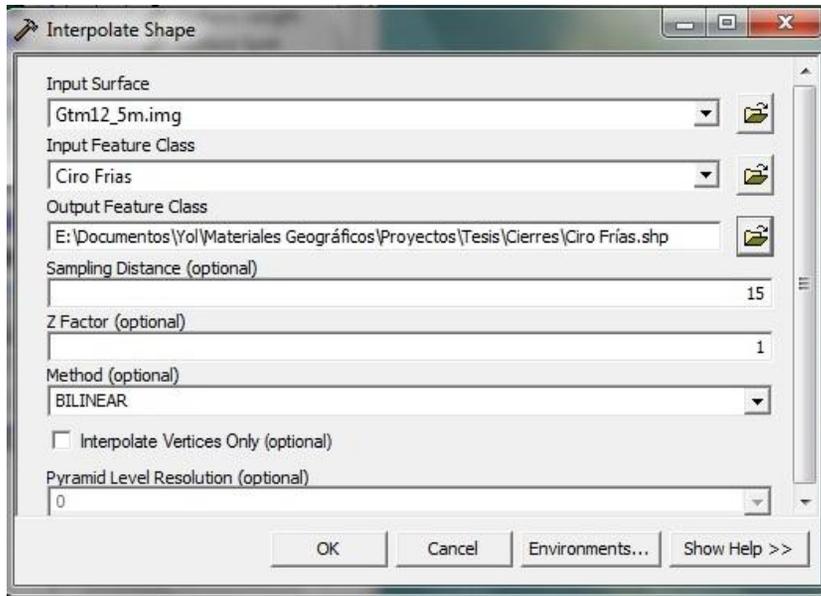


Figura 3. Obtención del Perfil topográfico.

Los datos de los perfiles topográficos se exportan en forma de gráficos (anexos 17 - 20) y texto en caso de ser necesario. Estos resultados se procesaron en el programa Flow Master para conocer la altura a la que llegaría el agua en caso de rotura de la cortina para las condiciones formuladas, con un Coeficiente Manning de 0.060.

2.3.2 Delimitación del área bajo amenaza de inundación por rotura de la cortina de la presa Yateras.

El peligro (para este caso) es un probable evento, que puede tener un origen natural o tecnológico, que puede producirse en un momento, magnitud, intensidad y duración dada. Este puede afectar desfavorablemente la vida humana, la economía y las actividades de la sociedad, al extremo de provocar un desastre.

Una vez que se conocía la altura a la que llegaría el agua, a ambos lados del cauce del río y en cada perfil trazado, se unieron estos puntos digitalizando dos área o polígonos, en el programa ArcGis, que serían las áreas inundadas que estaría bajo peligro por este evento (anexo 12 - 15) y para las dos condiciones extremas planteadas.

Para apreciar el peligro (severidad de un evento que se manifiesta con una frecuencia en un área geográfica de actuación definida) es imprescindible contar con una base de datos sobre la historia de las afectaciones producidas en el territorio por el evento que se estudia y mediante un análisis estadístico, establecer la frecuencia del posible impacto para diferentes magnitudes, incluyendo el evento extremo. Los principales eventos que causan fallos en estas obras hidrotécnicas son los ciclones tropicales y los sismos.

Frecuencia de los ciclones tropicales

En la tabla 4 se pueden apreciar los periodos de retornos y las probabilidades de afectación de los ciclones tropicales a la provincia de Guantánamo; la probabilidad de afectación de un huracán al año es de 13,83 %, para un periodo de retorno de siete años. Las mayores afectaciones se registrarán en la trayectoria probable de sur a norte. Es válido destacar que existe un alto grado de incertidumbre en cuanto a las trayectorias probables, ya que responden al estado general de la atmósfera en el momento de su paso y que las mayores precipitaciones en la provincia ocurren con el paso de los ciclones tropicales.

Tabla 4. Probabilidades y periodos de retorno de la afectación de al menos un ciclón tropical al año (serie: 1851 – 2010; 159 años)

Categoría	Período de retorno	Probabilidad (%)
1 Depresión Tropical	25 años	3,77
1 Huracán	7 años	13,83
1 Tormenta Tropical	6 años	16,78
1 Ciclón Tropical	3 años	34,60

Fuente: Centro Meteorológico Provincial.

Para determinar la frecuencia del viento (según la categoría del huracán) se escogió una base de datos desde 1990 hasta 2014 de los huracanes que han afectado a la provincia en ese periodo y los resultados se reflejan en la tabla resumen que se muestra a continuación.

Tabla 5. Probabilidad de ocurrencia de los eventos meteorológicos extremos

Concepto	Categoría ciclones tropicales			
	SS1 – SS2	SS3	SS4	SS5
Por frecuencia	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo
Por severidad	Medio	Alto	Muy Alto	Muy Alto
Frecuencia anual	0,140 – 0,030	0,020	0,002	0,001

Fuente: elaborado por el autor.

Frecuencia de los terremotos

La estimación del peligro sísmico en el área es esencial para estimar la vulnerabilidad y luego los posibles daños de los componentes en riesgo. Uno de los factores potenciales que conducen al fallo de cualquier estructura es la sismicidad y para su evaluación se deben tener en cuenta: frecuencia de ocurrencia, periodo de retorno, severidad y magnitud, así como características de fallas tectónicas regionales y fallas geológicas locales; además se deben estimar los movimientos del terreno en el sitio de emplazamiento de la presa. En la tabla 6 se refleja la frecuencia anual y el periodo de retorno por categoría.

Tabla 6 Probabilidad de ocurrencia de los sismos

Concepto	Categoría de sismos por magnitudes		
	V	VI	VII
Por severidad	Medio	Alto	Muy Alto
Frecuencia anual	0,0100	0,002	0,001
Período de retorno (años)	100	500	2000

Fuente: elaborado por el autor.

2.4 Estimación de la vulnerabilidad y empleo de un sistema de indicadores.

La vulnerabilidad está íntimamente ligada a los procesos sociales y económicos que se desarrollan en los territorios y áreas propensas y usualmente tiene que ver con la fragilidad, la susceptibilidad o la falta de resiliencia económica por los órganos de dirección, instituciones o la población ante la ocurrencia de los diferentes peligros de desastres (Guía metodológica EMNDC 2014).

Con el fin de determinar la efectividad y eficiencia de las políticas y acciones factibles de reducción de vulnerabilidad, se realiza su estimación, evaluación y seguimiento como paso necesario para su reconocimiento por parte de los diversos actores y

órganos de decisión responsables de la gestión del riesgo. En consecuencia, dicha evaluación y seguimiento debe realizarse utilizando herramientas apropiadas e idóneas que faciliten la comprensión del problema y orienten la toma de decisiones.

El propósito del empleo del método propuesto es dimensionar y determinar en valores cuantitativos la vulnerabilidad a partir de valores cualitativos, para facilitar la información relevante que permita identificar y proponer acciones efectivas de gestión del riesgo, considerando aspectos económicos, sociales, institucionales y técnicos.

Desde el punto de vista conceptual, técnico - científico y numérico, es un desafío evaluar la vulnerabilidad y la gestión de riesgos de desastres mediante índices e indicadores transparentes y representativos, que sean de fácil comprensión por parte de los responsables de formular políticas y ejecutar acciones para su reducción, que puedan aplicarse en forma periódica y que permitan la comparación entre los diferentes períodos que se evalúan relacionado con la eliminación, reducción o continuidad de las vulnerabilidades identificadas.

Los indicadores que se presentan asegurarán que la identificación de las vulnerabilidades y evaluación de los riesgos se realice a nivel territorial, garantizando una eficiente gestión en la toma de decisión relacionada con las prioridades para la reducción y priorizando un óptimo análisis de costo - beneficio.

En un territorio todos los sectores económicos, de producción estatal, no estatal y corporativos así como de servicios, tienen incidencias en la evaluación y análisis de los presentes indicadores, los que deberán evaluarse integral y multidisciplinariamente. Todos deben trabajar en interés de lograr una mejor administración del riesgo en el territorio.

2.4.1 Estimación de la vulnerabilidad general.

La estimación de la vulnerabilidad general se realizó a partir de la sumatoria de los siguientes indicadores generales:

- ✓ Capacidad de respuesta de los sectores vitales a la situación de desastre: alimentos (panaderías, centros de elaboración de alimentos), energético (grupos electrógenos de todo tipo y líneas de distribución), hídrico (abastecimiento de agua a la población), salud (servicios vitales), agropecuario y educación (Vr):
- ✓ Posibilidades de pago por las empresas y cooperativas, del tributo territorial a la Administración Municipal para contribuir al desarrollo de la misma (Vpa).

- ✓ Valor estimado de las pérdidas económicas directas e indirectas, con relación al valor de la infraestructura dañada y la pérdida del ingreso esperado por la producción (servicio) interrumpida (Vd).
- ✓ Pérdidas estimadas por la afectación de alimentos, productos básicos, medios y equipos almacenados de la economía o dirigidos al abastecimiento de la población con relación al valor total de mercancías almacenadas (Vpb).
- ✓ Nivel de capacitación de la población en el área de estudio (Vc).

La vulnerabilidad general en los Consejos de la Administración (territorios), será:

$$Vg = V_r + V_{pa} + V_d + V_{pb} + V_c$$

El rango y el peso para determinar la vulnerabilidad general es como se muestra en la tabla 7:

Tabla 7. Rangos de vulnerabilidad

No	Rango de Vulnerabilidad	Rango	Peso
1	Alta	16 - 45	9
2	Media	6 - 15	3
3	Baja	1 - 5	1

Fuente: Guía metodológica EMNDC 2014.

En las tablas 8, 9, 10, 11 y 12 se muestran los indicadores para evaluar la vulnerabilidad general en los territorios:

Tabla 8. Capacidad de respuesta (Vr)

Nivel de Vulnerabilidad		
Alta	Media	Baja
Sufren efectos perjudiciales y pierden en más del 1 % su capacidad de respuesta y servicio inmediato o mediato a las diferentes situaciones de desastres	Se limita (respuesta tardía por reparaciones en menos de 7 horas) hasta el 1% su capacidad de respuesta y servicio inmediato o mediato, a las diferentes situaciones de desastres	No sufren impacto por la ocurrencia de desastres o su sinergia y no se limita su capacidad de respuesta y servicio inmediato o mediato producto al desastre.

Fuente: Guía metodológica EMNDC 2014.

Tabla 9. Posibilidades de pago por las empresas y cooperativas, del tributo territorial a la Administración Municipal para contribuir al desarrollo de la misma (Vpa).

Nivel de Vulnerabilidad		
Alta	Media	Baja
No pueden, dada sus pérdidas por el desastre o su sinergismo, pagar el tributo territorial para contribuir al desarrollo de la Administración Municipal donde operan sus establecimientos	Sólo aseguran el 50% del tributo territorial para contribuir al desarrollo de la Administración Municipal donde operan sus establecimientos, dada sus pérdidas por el desastre o sus sinergismo	Aseguran el tributo territorial para contribuir al desarrollo de la Administración Municipal donde operan sus establecimientos, independientemente del impacto por el desastre o sus sinergismos

Fuente: Guía metodológica EMNDC 2014.

Tabla 10. Valor de las pérdidas económicas directas e indirectas; con relación al valor de la infraestructura dañada y la pérdida del ingreso esperado por la producción (servicio) interrumpido (Vd).

Nivel de Vulnerabilidad		
Alta	Media	Baja
Superior al 40%	10 - 40%	inferiores al 10%

Fuente: Guía metodológica EMNDC 2014.

Tabla 11. Pérdidas por la afectación de alimentos, productos básicos, medios y equipos almacenados de la economía o dirigidos al abastecimiento de la población con relación al valor total de mercancías almacenadas (Vpb).

Nivel de Vulnerabilidad		
Alta	Media	Baja
Superior al 1,5%	1-1,5%	Inferiores al 1%

Fuente: Guía metodológica EMNDC 2014.

Tabla 12.- Capacitación de la población en área de riesgo (Vpf).

Nivel de Vulnerabilidad		
Alta	Media	Baja
1 %	1,5 %	2 %

Fuente: Guía metodológica EMNDC 2014.

2.4.2 Estimación de la vulnerabilidad particular.

Para estimar la vulnerabilidad particular se ha empleado una técnica que involucra la valoración del peligro de desastre de inundación por rotura de la cortina de las presas de tierra y su estimación como una situación de posibles consecuencias de diferente índole en un tiempo de exposición, definido este tiempo como anual, ya que es la frecuencia de actualización de los planes de reducción de desastres, lo que permitirá que el análisis de vulnerabilidad realizado se tenga en cuenta en la actualización de la planificación de las medidas territoriales y en la planificación económico - material.

La vulnerabilidad particular es la sumatoria de los indicadores particulares para el peligro de desastre evaluado, para este caso será:

- ✓ Ciclones tropicales (a partir del impacto de sus factores destructivos) (Vct).
- ✓ Sismos (Vs).
- ✓ Factores hidrológicos (Vhi).
- ✓ Factores hidráulicos (Vha).
- ✓ Factores geotécnicos (Vgt).
- ✓ Factores estructurales (Ve).
- ✓ Factores de materiales y construcción (Vmc).
- ✓ Factores de operación y mantenimiento (Vom).
- ✓ Intensas Sequías (Vis).
- ✓ Otros factores como errores informáticos, falta de mantenimiento, actos de sabotaje y terrorismo, etc... (Vo).

Por lo tanto, la vulnerabilidad particular será:

$$V_p = V_{ct} + V_s + V_{hi} + V_{ha} + V_{gt} + V_e + V_{mc} + V_{om} + V_{is} + V_o$$

Es importante señalar que el rango de la vulnerabilidad de los indicadores particulares para cada peligro de desastre para los consejos de la Administración (territorios) y adaptado a la rotura de presas de tierras es como se indica en la tabla 13:

Tabla 13. Indicadores particulares.

Vulnerabilidad Particular	Rango		
	Alta	Media	Baja
Ciclones tropicales (Vct).	16 - 45	6 - 15	1 - 5
Sismos y maremotos (Vs).	10 - 27	4 - 9	1 - 3
Hidrológicas (Vhi).	25 - 72	9 - 24	1 - 8
Hidráulicas (Vha).	7 - 36	5 - 12	1 - 4
Geotécnia (Vgt).	16 - 45	6 - 15	1 - 5
Estructural (Ve).	4 - 9	2 - 3	1
Materiales y construcción (Vmc).	19 - 54	7 - 18	1 - 6

Operación y mantenimiento (Vom).	10 - 27	4 - 9	1 - 3
Intensas Sequías (Vis).	10 - 27	4 - 9	1 - 3

Fuente: Elaborado por el autor.

En las tablas 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 y 22 se muestran los indicadores para evaluar la vulnerabilidad particular en los territorios:

Tabla 14. Ciclones tropicales (Vct).

Indicador de la vulnerabilidad	Nivel de Vulnerabilidad		
	Alta	Media	Baja
Cantidad de precipitaciones (mm en 24 horas) que pueda traer el ciclón tropical a su paso por la cuenca hidrográfica	Más de 150 mm en 24 horas	100 – 150 mm en 24 horas	Menos de 100 en 24 horas
Clasificación de los huracanes en la escala Saffir - Simpson según velocidad del viento máximo sostenido (Km/h)	SS4 - SS5 con vientos máximos sostenidos a partir de 210 km /h	SS2 - SS3 con vientos máximos sostenidos entre 154 - 209 km /h	SS1 con vientos máximos sostenidos entre 117 hasta 153 km /h
Periodo de retorno de los ciclones tropicales	Mayor de 1 ciclón al año	0,5 - 1	Menor de 0,5
Por frecuencia	SS1 – SS2	SS3	SS4 – SS5
Por severidad	SS4 – SS5	SS3	SS1 – SS2

Fuente: elaborado por el autor.

Tabla 15. Sismos.

Indicador de la vulnerabilidad	Nivel de Vulnerabilidad		
	Alta	Media	Baja
Magnitud de sismo	Mayor de VI	Entre V - VI	Menor de V
Localización espacial de la presa con respecto a las zonas sismogénicas, anexo 21	Cercano a las zonas sismogénicas	Cercano a las zonas sismogénicas	Cubita 1 y 2, Santiago – Bayamo,

	Oriente 1, 2 y 3, Cauto – Nipe y Sabana 1 y 2.	Cauto Norte,, Bayamo, Purial y Sabana 3.	Santiago – Moa, Palenque y Purial
Aceleración del suelo	S3 y S4	S2	S1

Fuente: elaborado por el autor.

Tabla 16. Hidrológicos

Indicador de la vulnerabilidad
Características de las avenidas
Frecuencia de las avenidas
Volumen de agua que recibe la presa
Tiempo de duración de las avenidas
Arrastre de sedimentos
Instalar sistemas de alerta temprana mediante la construcción e instalación de reglas de medición de nivel de ríos, pluviómetros, pluviógrafos u otros equipos que se consideren
Compatibilizar los sistemas de comunicaciones con los existentes en el territorio y los propios que posee el Sistema de Defensa Civil

Tabla 17. Hidráulicas

Indicador de la vulnerabilidad
Diseño y desempeño de las obras de toma, aliviaderos, compuertas, válvulas y estructuras de desvío
Deslizamientos aguas arriba del talud después de un desembalse rápido
Manejo de compuertas
Volumen máximo permisible a retener en los embalses sin que afecte la estabilidad de la obra

Fuente: elaborado por el autor.

Pronósticos de caudales y tiempos de retardo para diferentes cierres hidrológicos

Fuente: elaborado por el autor.

Tabla 18. Geotécnia

Indicador de la vulnerabilidad
Características de la cimentación
Filtración en el talud
Deslizamiento de taludes
Presencia de fallas tectónicas
Características de los materiales térreos

Fuente: elaborado por el autor

Tabla 20. Materiales y construcción.

Indicador de la vulnerabilidad
Tipo de materiales
Calidad de los materiales empleados
Calidad de la cimentación del dentellón
Variación de las propiedades mecánicas de los materiales térreos
Estado tensional de los materiales
Humedad durante la construcción y operación

Fuente: elaborado por el autor

Tabla 22. Intensas Sequías.

Indicador de la vulnerabilidad
Aparición de grietas transversales
Aparición de grietas longitudinales

Fuente: elaborado por el autor.

Tabla 19. Estructurales

Indicador de la vulnerabilidad
Corrosión en las estructuras de concreto y mampostería

Fuente: elaborado por el autor.

Tabla 21. Operación y mantenimiento.

Indicador de la vulnerabilidad
Procedimientos de operación cuando se presentan incidentes
Inspección de seguridad
Programas de reparación y mantenimiento

Fuente: elaborado por el autor.

De ello se deduce que el rango para determinar la vulnerabilidad particular será según se muestra en la tabla 00:

Tabla 23. Rangos de vulnerabilidad particular

No	Rango de Vulnerabilidad	Rango	Peso
1	Alta	115 -342	9
2	Media	39 - 114	3
3	Baja	1 - 38	1

Fuente: elaborado y adaptado por el autor.

2.4.3 Estimación de la vulnerabilidad total.

Como resultado del análisis de todos los indicadores (generales y particulares) y la determinación de cada vulnerabilidad, se expresa en el término de Vulnerabilidad Total, determinándose a partir de la ecuación siguiente:

$$V_{TOTAL} = Vg + Vp$$

donde:

Vg- Vulnerabilidad general

Vp- Vulnerabilidad particular

La vulnerabilidad total permite una mejor identificación de los problemas que inciden en la reducción de desastres, al analizar no sólo los factores generales que inciden en el incremento del riesgo sino también los que inciden particularmente por cada peligro. Como conclusión el Nivel de Vulnerabilidad Total será como se expresa en la siguiente tabla:

Tabla 24. Rangos y pesos de la vulnerabilidad total.

No	Nivel de Vulnerabilidad Total	Rango	Peso
1	Alta	130 - 177	9
2	Media	44 - 129	3
3	Baja	1 - 43	1

Fuente: elaborado y adaptado por el autor.

2.5 Estimación del riesgo en el área de inundación.

Para estimar el riesgo en el área de inundación se utilizó el método que se propone en la guía metodológica del EMNDC del año 2014 y se ha empleado como basamento ya que es el más adecuado teniendo en cuenta que en nuestro país se considera para la determinación del riesgo la evaluación del peligro o amenaza y se toma como parámetro fundamental la vulnerabilidad existente.

Esta herramienta ofrece una metodología efectiva para establecer los niveles de riesgo (R), definir en consecuencia las acciones correctivas asociadas y obtener una relación costo – beneficio y se calcula como el producto de la multiplicación del valor del peligro de que ocurra el evento (P) por el valor calculado de la vulnerabilidad total (Vt): $R = P * Vt$.

El nivel de riesgo se clasifica como se muestra en la tabla 25, donde se incluyen cuatros categorías fundamentales.

Tabla 25. Clasificación del riesgo

Nivel de Riesgo	Consideraciones	Acción correctiva
Muy alto	Muertes o pérdidas de 1 millón o más de pesos, el impacto ambiental es reversible en más de tres años y el lucro cesante es de más de 60 días.	Hay que eliminar la vulnerabilidad.
Alto	Varias muertes o pérdidas entre 0,5 y 1 millón de pesos, el impacto ambiental es reversible entre uno a tres años y el lucro cesante es entre 30 y 59 días.	Requiere acciones inmediatas de eliminación o reducción de la vulnerabilidad
Medio	Una muerte o pérdidas de 200 mil a 0,5 millones de pesos, el	Requiere acciones

	impacto ambiental es reversible en menos de un año y el lucro cesante está ocho y 29 días.	medidas de eliminación o reducción de la vulnerabilidad.
Bajo	Lesiones permanentes o temporales y pérdidas de 50 mil a 200 mil pesos, el impacto ambiental es reversible inmediatamente y el lucro cesante no supera los siete días.	Requiere acciones correctivas y atención indicada para eliminar o reducir la vulnerabilidad.

Fuente: Guía metodológica EMNDC 2014.

El riesgo puede ser:

- ✓ Bajo cuando se puede aceptar como es y no se considera justificable emplear más recursos y gastos en reducirlo. A partir de asumir este riesgo, comienza todo un proceso de educación en la población y/o trabajadores conocido como percepción del riesgo.
- ✓ Medio cuando la sociedad es capaz de vivir con él siempre que esté segura de cierto beneficio neto y en consideración con que esté siendo controlado apropiadamente, mantenido bajo revisión y posteriormente reducido cómo y cuando sea posible.
- ✓ Alto cuando incide directamente en la seguridad de la sociedad y su desarrollo sostenible, asegura beneficio neto y su reducción es posible pero a mediano y largo plazo por su costo.
- ✓ Muy alto cuando incide directamente en la seguridad de la sociedad y su desarrollo sostenible no asegura beneficio neto y su reducción a partir del análisis costo - beneficio no es rentable o no es posible.

Para considerar el criterio de pérdidas económicas se tiene en cuenta los resultados del cálculo del Índice de Déficit por Desastre (IDD) realizado o los valores de las probables pérdidas por el desastre, estableciéndose el nivel de riesgo como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 26. Nivel de riesgo teniendo en cuenta el IDD y los valores de las pérdidas probables.

No	Nivel de Riesgo	Valor del IDD	Valores de las probables pérdidas
1	Muy alto	Mayor que 1	1 millón o más de pesos

2	Alto	0,8-1	500-999 mil pesos
3	Medio	0,5-0,7	200-500 mil pesos.
4	Bajo	Hasta 0,4	50-200 mil pesos.

Fuente: Guía metodológica EMNDC 2014.

Económicamente, cuando el nivel de riesgo es inferior a 50 mil pesos, la reducción de vulnerabilidad deberá lograrse a través de pequeñas inversiones, las reparaciones y/o los mantenimientos de diferentes tipos, acciones por proyectos de cooperación o se puede asumir a través del seguro u otras técnicas financieras de recuperación.

2.6 Conclusiones.

Para abordar la problemática expuesta en este capítulo fue necesario abarcar toda el área de estudio, a fin de que pudiera servir como unidad de análisis, observación, modelación, interpretación y síntesis y además, donde se viesen representadas las principales categorías utilizadas en la evaluación y manejo de desastres, que son: la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. El uso de esta unidad básica permitió desarrollar toda una estructuración teórico - práctica y la adaptación de la guía metodológica del Estado Mayor de la Defensa Civil del 2014, encaminada al estudio de gestión de riesgos por esta causa.

Este estudio puede considerarse como un pronóstico anticipado de los niveles de impacto que producirían la amenaza analizada ante las vulnerabilidades existentes. Para lograrlo, por supuesto que no basta con conocer la composición y las características de los elementos expuestos en esta área, se requiere de una minuciosa interpretación para estos fines específicos. Sus resultados nos permiten definir la base para el desarrollo de estrategias dirigidas a la prevención y mitigación y sobre todo, lo más importante, poner la gestión y administración del riesgo en función del desarrollo sostenible y sustentable de la sociedad cubana.

CAPÍTULO III. Análisis y discusión de los resultados

3.1 Introducción

En este capítulo se describen, de forma resumida, los principales resultados del estudio del peligro, la vulnerabilidad y el riesgo; siguiendo la metodología expuesta en el capítulo II y su relación con el objetivo general y los específicos propuestos. Teniendo en cuenta que aguas arriba de la cortina el elemento expuesto es la presa y aguas abajo son los asentamientos e infraestructuras creadas por el hombre.

Es importante considerar el aporte de cada uno de los resultados a fin de aumentar la cultura de percepción del riesgo en los pobladores que se encuentran en las áreas amenazadas.

3.2 Resultado del peligro de inundación en el área de estudio.

Se aplicaron los métodos establecidos para la determinación de las áreas en peligro de inundación y se establecieron 2 sectores, uno responde a una rotura del 10 % de la cortina de la presa (la cortina de la presa mide 2 km, por lo que el 10 % serían 200 m de afectación) teniendo en cuenta el nivel de aguas normales y que la rotura puede estar asociada a factores de carácter sísmicos, hidráulicos, geotécnicos, estructurales, operacionales, de mantenimiento, errores informáticos, actos de sabotaje y terrorismo, que son los casos más comunes que han ocurrido en el mundo.

El otro sector representa una rotura de 200 m (igual que el primer sector) de la cortina, pero en este caso se modeló para cuando la presa esté en el nivel de aguas máximas más el caudal máximo registrado en el río principal, que puede estar asociados a ciclones tropicales y factores hidrológicos, fundamentalmente.

Como resultado de las modelaciones realizadas por la metodología empleada se determinaron áreas de inundación que responden a las cotas en cada perfil trazado, según las condiciones formuladas (anexo 12 - 15). En el área de estudio se afectan partes de los asentamientos de Ciro Frías, Acueducto y Yateritas para el nivel de aguas normales, mientras que para el

nivel de aguas máximas más el caudal máximo registrado en el río se afecta el 80 % del asentamiento Ciro Frías, la totalidad de Acueducto y el 65 % en Yateritas.

En la tabla 27 se muestran las cotas hasta donde llegaría el agua en cada asentamiento en caso de rotura de la cortina de la presa Yateras y para las condiciones formuladas, realizada siguiendo los procedimientos de la metodología del capítulo II.

Tabla 27. Magnitud de las inundaciones en los asentamientos del área de estudio.

Asentamientos	Cota (NAN)	Cota (NAM*)
Ciro Frías	105	108
Yuraguana	80	84
Acueducto	40	43
Yateritas	16	19

Fuente: Elaborado por el autor.

3.3 Determinación de la vulnerabilidad.

Vulnerabilidad general

En la tabla 28 se muestra un resumen sobre el resultado de los indicadores que se tuvieron en cuenta, por la metodología empleada en el capítulo II, para evaluar la vulnerabilidad general en el área amenazada.

Tabla 28. Indicadores para clasificar el nivel de vulnerabilidad general

Indicadores generales	Nivel de Vulnerabilidad General
Capacidad de respuesta (Vr)	Alta
Posibilidades de pago por las empresas y cooperativas, del tributo territorial a la Administración Municipal (Vpa)	Media
Valor de las pérdidas económicas directas e indirectas (Vd)	Alta
Pérdidas por la afectación de alimentos, productos básicos (Vpb)	Media
Capacitación de la población en área de riesgo (Vpf)	Media
Valor de la vulnerabilidad general (Vg).	Alta

Fuente: elaborado por el autor.

Se aprecian efectos perjudiciales y se pierden en más del 1 % la capacidad de respuesta y servicio inmediato o mediato a las diferentes situaciones de desastres, por lo tanto la Vr es **alta**. Las empresas y cooperativas solo asumen parte del pago del tributo territorial para contribuir al desarrollo de la administración municipal, como el desastre generado por el peligro de inundación por rotura de presas genera daños severos en las infraestructuras y la población en sentido general pero el estado tiene definido en sus prioridades, para estos caso, salvaguardar la vida de las personas y en segundo lugar la voluntad política de reparar y reponer las infraestructuras dañadas en el menor tiempo posible, siempre que la economía la permita, por lo tanto la Vpa es **media**.

El Valor de las pérdidas económicas directas e indirectas, con relación al valor de la infraestructura dañada y la pérdida del ingreso esperado por la producción (servicio) interrumpida es superior al 40 %, por lo tanto el nivel de la vulnerabilidad por este concepto es **alta**.

La afectación de alimentos, productos básicos, medios y equipos almacenados de la economía se cataloga de **medio**, debido fundamentalmente a que la totalidad de estos recursos no se encuentran localizados en el área directa del peligro y que en un momento de desastres se pueden emplear para el consumo y abastecimiento de las empresas y la población. La capacitación de la población en esta área no es elevada y como no está construido el embalse la percepción del riesgo por este concepto es prácticamente nula, por lo que se evalúa la vulnerabilidad de **media**.

Por todo lo planteado anteriormente, por ser una amenaza repentina que puede causar grandes daños en las infraestructuras, el medio ambiente y producir muertes en las personas y animales, se define la vulnerabilidad general de **alta**.

Vulnerabilidad particular

En la tabla 29 se muestra un resumen sobre el resultado de los indicadores que se evaluaron para el cálculo de la vulnerabilidad particular en el área amenazada, a partir del análisis realizado por la metodología explicada en el capítulo II.

Tabla 29. Indicadores para clasificar el nivel de vulnerabilidad particular

Vulnerabilidad Particular	
Ciclones tropicales (Vct).	Media
Sismos (Vs).	Alta
Hidrológicas (Vhi).	Baja
Hidráulicas (Vha).	Baja
Geotécnia (Vgt).	Baja
Estructural (Ve).	Baja
Materiales y construcción (Vmc).	Baja
Operación y mantenimiento (Vom).	Baja
Intensas Sequías (Vis).	Baja
Otros (Vo)	Baja
Valor de la vulnerabilidad particular (Vp)	Baja

Fuente: elaborado y adaptado por el autor.

Las vulnerabilidades asociadas a ciclones tropicales se evalúan de **media** debido a que en la determinación de las trayectorias de los organismos tropicales se determinan con cierto grado de variación, debido a que responden al estado general de la atmósfera, el movimiento del resto de los sistemas predominantes en el área y a la temperatura del mar. No obstante son fenómenos naturales que pueden generar grandes daños. Las mayores precipitaciones en la provincia de Guantánamo se registran al paso de estos organismos.

La vulnerabilidad sísmica se evalúa de **alta** debido a la presencia de fallas geológicas cercanas a la ubicación de la presa, el área se considera como de sismicidad media, con registros de sismos significativos con magnitudes mayores de 4,0 Richter en sectores cercanos al sitio de interés entre 1998 y el 2010, así como los últimos registrados con magnitudes mayores de 1,5 Richter que reflejan la existencia de una influyente actividad sísmica; donde pueden ocasionar daños en las construcciones, debiéndose tomar medidas sismorresistentes en todos los objetos estructurales, fundamentalmente para los sectores del cierre de la presa.

Las vulnerabilidades estructurales, hidrológicas, hidráulicas, geotecnia, de materiales y construcción, operación y mantenimiento, intensas sequías y otros se evalúa de **baja**; debido a que en nuestro país cuando se construyen estos tipos de

obras se realizan con grado de seguridad elevado, que sea capaz de soportar los peligros de diseños y de esta manera proteger la seguridad de las personas y los recursos; lo que no ocurre en otros países por ejemplo, donde la mayoría de los embalses son privados y por cuestiones económicas muchas veces no se proyectan lo suficientemente seguras o no se le aplica el mantenimiento en el tiempo previsto, entre otras razones.

Vulnerabilidad total

Como se explicó en el capítulo II la vulnerabilidad total es la sumatoria de la general y particular. En este caso la general se determinó de alta y la particular de baja, por lo tanto la total es **media**. En el anexo 16 se reflejan las áreas más vulnerables y que se corresponden con los asentamientos Ciro frías, Acueducto y Yateritas, así como gran parte de la carretera Guantánamo - Baracoa.

3.5 Resultado de la evaluación del riesgo sísmico.

El análisis de la sismicidad se realizó para los períodos 1969 – 2011. Los resultados con elementos del régimen sísmico para los diferentes rangos de tiempo (Tabla 30 y figura 4) muestran los intervalos por magnitudes de los eventos ocurridos en estos años.

Tabla 30. Terremotos registrados en el sector cercano al área de interés.

Intervalo de Magnitudes	1969 - 2011
2,0 a 2,5	182
2,5 a 3,0	76
3,0 a 3,5	43
3,5 a 4,0	23
4,0 a 4,5	5
4,5 a 5,0	2
Totales	331

Fuente: Reporte de investigación de los parámetros sismológicos regionales para factibilidad del proyecto de construcción del conjunto Presa Yateras – Canal magistral y otras instalaciones (Zapata, et al, 2012)

Aunque no existen reportes de terremotos fuertes por la inmediación de los asentamientos de la provincia Guantánamo, si ocurriera un extremo fuerte en las acuatorias de Santiago de Cuba, los valores de intensidad que se esperan serán similares o un grado menor a los percibidos (Chuy *et al.*, 2005). En el área de interés constructivo se pueden esperar amplificaciones de

los estremecimientos de 2,0 a 2,5 para períodos entre 0,1 a 0,5 segundos, lo que direcciona hacia efectos negativos sobre las estructuras de hormigón armado, al provocar fallas en las cimentaciones, grietas en los núcleos, deslizamientos de tierras en los taludes sobre la cortina.

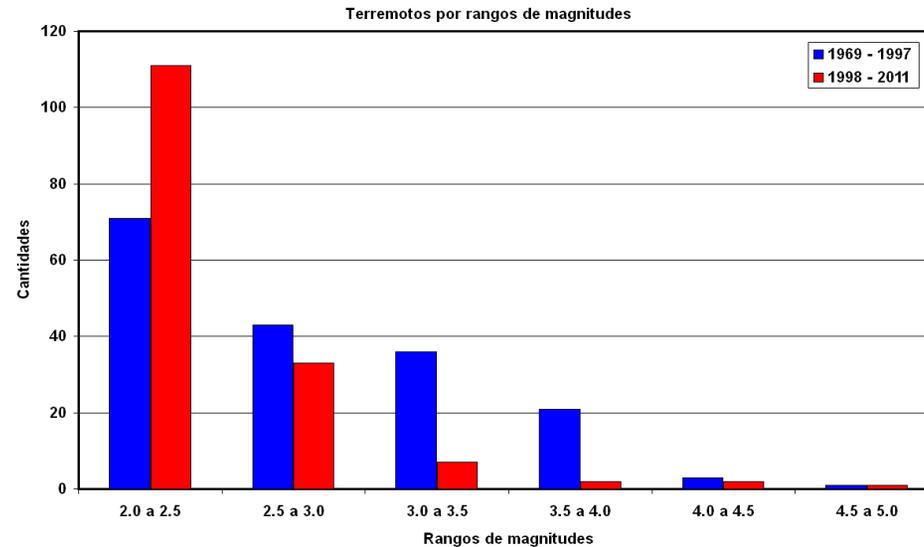


Figura 4. Terremotos ocurridos desde 1959 hasta 2011.

En la tabla 31 se presentan los terremotos ocurridos en la zona sismoactiva Oriente 3 con magnitudes mayores a los 4,0 Richter, registrados desde 1998 hasta 2010 y en la tabla 32 los ocurridos con magnitud mayor de 1,5 Richter desde 2011 hasta 2012; donde se nota la regularidad en las bajas magnitudes y de los 18 registrados con estas magnitudes en 16 meses, sólo dos de ellos tuvieron valores entre los 2,0 y 2,5 Richter (Zapata, *et al*, 2012).

Tabla 31. Terremotos mayores de 4 Richter en el zona sismoactiva Oriente 3. Donde HH (hora UTC), MM (minutos), SS (segundos), H (profundidad en km), Est (número de estaciones sismológicas registradoras), M (magnitud Richter), lat. N (latitud Norte en grados) y lon. W (longitud Oeste en grados).

Año	Mes	Día	HH	MM	SS	H	Est	M	Lat. N	Lon. W
1998	11	27	1	31	30,3	0	4	4,1	25,575	74,019
1998	12	28	7	23	33,3	50	5	4,8	20,947	74,649
2002	10	10	12	46	31,4	7,1	5	4,6	25,957	74,253
2003	3	22	1	50	11,1	30,7	8	4,4	23,355	74,450

2010	2	12	12	9	11,7	0	1	5,1	19,721	74,891
2010	2	12	12	9	16,3	10	7	4,7	19,778	74,358

Fuente: Reporte de Investigación de los parámetros sismológicos regionales. 2012.

Tabla 32 Terremotos registrados cercanos al sector de interés con magnitudes mayores de 1,5 Richter entre 2011 y 2012.

Año	Mes	Día	HHMM	SS	Lat. N	Lon. W	H	Est	M
2011	3	15	847	2,6	19,882	75,035	0	2	1,5
2011	4	23	711	19	20,007	74,880	0	1	1,5
2011	5	24	1019	25	20,078	75,030	50	3	1,8
2011	5	24	1503	16	19,994	75,133	0	1	1,7
2011	5	25	1503	16	19,994	75,133	0	1	1,7
2011	6	22	1715	31	19,991	74,938	50	3	1,7
2011	8	2	652	28	20,019	75,021	0	3	1,8
2011	8	8	938	47	19,857	75,131	0	1	1,8
2011	8	17	654	59	19,868	75,112	0	5	2,0
2011	8	17	1753	42	19,867	75,142	0	1	1,9
2011	9	15	454	8	20,006	75,137	10	3	1,7
2011	9	26	239	57	19,941	75,143	0	1	1,5
2011	10	19	543	31	19,989	74,981	0	1	1,5
2011	12	20	1723	24	19,997	75,080	10	3	1,6
2012	2	2	1919	13	19,903	75,142	10	3	1,8
2012	2	14	917	40	19,982	75,078	0	1	1,7
2012	3	7	1224	22	19,894	74,899	10	7	2,5
2012	3	29	312	57	19,933	74,090	18	3	1,5

Fuente: Reporte de Investigación de los parámetros sismológicos regionales. 2012.

En el esquema geológico muestra la presencia de fallas cercanas del área donde va la presa, por lo antes planteado, es necesario que la obra sea diseñada para soportar fuertes sismos, donde se deben considerar estas zonas de debilidad tectónica, ya que podrían provocar: asentamientos, fuertes estremecimientos, ruptura de la superficie y daños en los componentes estructurales de la obra.

Para la determinación de los efectos sísmicos se modelaron los acelerogramas según los parámetros del terremoto característico (6,9 Richter) y magnitudes intermedias. Los cálculos fueron realizados para un suelo S3, constituido por alternancias de areniscas, aleurolitas y arcillas calcáreas de la formación Maquey, como la más representativa en el área de

estudio y la más desfavorable de las existentes. En la tabla 33 se muestran los valores de las aceleraciones esperadas para diferentes períodos de retorno, obtenidos por el complejo de variantes de parámetros, así como valores teóricos de aceleración e intensidad a partir de ecuaciones empíricas para los suelos existentes S2 y S3 (Zapata, *et al*, 2012).

Tabla 33 Aceleraciones para diferentes períodos de retorno, donde Pr (período de retorno en años), a (aceleraciones en cm/s^2), I (intensidad en MSK) y tipos de suelos S2 y S3.

Pr (años)	Tipos	a S2	I S2	a S3	I S3
1 000	Muy raro	0,236	8,0	0,315	8,5
475	Raro	0,189	7,5	0,252	8,0
100	Ocasional	0,125	7,0	0,167	7,5

Fuente: CENAIS

A partir de la información presentada en la tabla anterior, se determinó para un período de recurrencia de 100 años intensidades máximas menores de los 8,0 grados MSK y para 1 000 años intensidades de 8 y 8,5 MSK, para suelos del tipo S2 y S3, respectivamente.

Para el cálculo de las aceleraciones se consideraron los mismos parámetros de los sismos potenciales, como los ocurridos en la zona sismoactiva Oriente 3 (para sismos muy raros y raros) y la posibilidad de repetición de estos con los parámetros de los ocurridos el 20 de agosto de 1852, 3 de febrero de 1932 y el 12 febrero de 2010. En la tabla 34 se muestran las aceleraciones picos determinados de los acelerogramas sintéticos, calculados para un suelo S3.

Tabla 34 Resultados de las aceleraciones (cm/s^2) y tiempo de aparición (s) para suelo S3 obtenidos de los sismogramas sintéticos, para las ondas P (primarias) y S secundarias); I (intensidad en MSK)

Fecha	M	P	t P _{máx}	S _{máx}	t S _{máx}	I
Oriente 3	7,60	0,338	243,05	0,451	385,01	9,0
Oriente 3	6,80	0,208	243,05	0,258	385,01	8,0
1852/08/20	7,30	0,086	9,35	0,252	10,70	8,0
1932/02/03	6,75	0,064	13,35	0,099	14,42	7,0
2010/02/12	5,10	0,011	7,47	0,023	9,15	5,0

Fuente: Reporte de Investigación de los parámetros sismológicos regionales. SSN, 2012.

Un movimiento sísmico fuerte puede generar olas en el embalse con el riesgo de que sobrepasen por encima del nivel de aguas máximas (NAM) permisibles; esto traería como consecuencia la rápida inundación de todas las infraestructuras sociales, servicios públicos, otros objetivos de importancia económica y poblados ubicados aguas abajo de la presa; este peligro puede ser aún mayor cuando además existen derrumbes o deslizamientos de tierras producidos por el propio terremoto.

3.4 Determinación del riesgo.

Al realizar la multiplicación de peligro actuante en el área por el valor de la vulnerabilidad (como se explicó en el capítulo II) para el cálculo del riesgo, se tiene que las áreas en riesgo coinciden con las más vulnerables (anexo 16) y se clasifica como **medio**, ya que la sociedad es capaz de vivir con él siempre que esté segura y la construcción de la presa le reporte cierto beneficio neto y en consideración con que esté siendo controlado apropiadamente, mantenido bajo revisión y posteriormente reducirlo cómo y cuando sea posible.

Hay que tener en cuenta que en caso de rotura ocurrirán muertes y desapariciones en las personas y los animales y las pérdidas serán de más de un millón de pesos en el caso de las infraestructuras de los asentamientos, el impacto ambiental es reversible en más de tres años y el lucro cesante es de más de 60 días.

Es un riesgo que incide directamente en la seguridad de la sociedad y su desarrollo sostenible y su reducción a partir del análisis costo – beneficio solo es en la medida que se reduzcan las vulnerabilidades y se establezca un sistema de acciones de medidas encaminadas a la disminución de las mismas en el Plan de Reducción de Desastres, ya que es inaceptable que los asentamientos se trasladen del lugar donde se encuentran ubicados espacialmente, por lo que siempre serán zonas bajo riesgo y vulnerables a este tipo de amenaza.

El nivel de riesgo teniendo en cuenta el IPMP es **muy alto**, ya que los valores de las pérdidas que se estiman que se perderán son mayores de un millón de pesos CUP, solamente el costo de construcción de la presa asciende a 77 052 441, 59 pesos, más el costo de las casas e infraestructuras que se afectarían por esta causa.

3.6 Conclusiones.

Los dos sectores de peligro afecta a los asentamientos de Ciro Frías, El Acueducto y Yateritas, Así como una parte de la carretera que comunica a la cabecera provincial con los municipios del este de la provincia.

La vulnerabilidad general se valoró de alta, mientras que la particular es baja fundamentalmente porque en nuestro país las presas se construyen con un alto grado de seguridad. La presa quedará cerca de la zona sismoactiva Oriente 3 con magnitudes mayores a los 4,0 Richter, registrados en los últimos años.

Los sectores más vulnerables coinciden con las de mayores riesgos y este último es evaluado de medio, por lo tanto la sociedad es capaz de vivir con él siempre que se tomen las medidas para ser controlado, de manera que se logre un desarrollo sostenible en función del beneficio que le reporta la presa a la población y sobre todo en épocas de intensas sequías como la de este año 2015.

CONCLUSIONES

1. Con los análisis de la estimación de la vulnerabilidad particular, se logró realizar una propuesta a la Guía metodológica del EMNDC del 2014, para el Estudio de Reducción de Desastres por roturas de presas; representa el procedimiento que garantiza la adquisición del conocimiento necesario en el desarrollo de una correcta gestión y administración de los riesgos, de manera que se puedan garantizar acciones preventivas y correctivas en las políticas de desarrollo.
2. Las áreas o espacios más vulnerables se corresponden con las afectaciones a los asentamientos Ciro Frías, Acueducto, Yateritas y gran parte de la carretera que comunica a la cabecera provincial con los municipios San Antonio de Sur, Imías, Baracoa y Maisí.
3. El riesgo se clasifica como **medio**, ya que la sociedad es capaz de convivir con él, siempre que la presa se construya segura y se realicen los controles, revisiones y mantenimientos planificados. Si ocurriera una rotura, las pérdidas económicas oscilarán en más de 1 millón de pesos; solamente su construcción está por encima de los 77 millones de pesos, por lo que induce un riesgo **muy alto** desde el punto de vista económico.

RECOMENDACIONES

1. Seguir actualizando las vulnerabilidades particulares con especialistas de las ramas afines para cada caso en específico, ya que en la medida que se tengan más indicadores, se podrá realizar una mejor evaluación de las mismas, con vista a perfeccionar la adaptación propuesta de la guía del 2014 del EMNDC para la amenaza de las roturas de presas de tierra.
2. Identificar y evaluar los peligros asociados a fenómenos inducidos, que puedan afectar a los asentamientos e infraestructuras aledañas.
3. Determinar el tiempo en que llega el agua a las áreas más vulnerables, una vez que se rompe la presa, para establecer el sistema de alerta temprana y las medidas correspondientes en el Plan de Reducción de Desastres.
4. Se considera necesario realizar mediciones microsísmicas a distancias entre 250 - 300 m de la cortina de la presa, que posibiliten determinar con exactitud los factores de amplificación y períodos de oscilación de los suelos presentes.

5. Diseñar el Plan de Reducción de Desastres de manera que permita ordenar medidas de prevención, preparación, cooperación, respuestas y reconstrucción; así como identificar los aseguramientos y materiales necesarios para enfrentar cada etapa.

Vocabulario y abreviaturas utilizadas

Existen multitud de términos y acepciones utilizadas en el contexto del análisis de riesgos. Diferentes industrias, administraciones, organismos y autores aplican nomenclatura y conceptos diversos, en ocasiones confusos.

Amenaza o peligro: Peligro latente que representa la probable manifestación de un fenómeno físico de origen natural, socio - natural o antropogénicos, que puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura y los bienes y servicios. Es un factor de riesgo físico externo a un elemento o grupo de elementos sociales expuestos, que se expresa como la probabilidad de que un fenómeno se presente con una cierta intensidad, en un sitio específico y dentro de un período de tiempo definido.

Amenaza o peligro natural: Peligro latente asociado con la posible manifestación de un fenómeno de origen natural, por ejemplo, un terremoto, una erupción volcánica, un tsunami o un huracán cuya génesis se encuentra totalmente en los procesos naturales de transformación y modificación de la Tierra y el ambiente. Suelen clasificarse de acuerdo con sus orígenes

terrestres o atmosféricos, permitiendo identificar, entre otras, amenazas geológicas, geomorfológicas, climatológicas, hidrometeorológicas, oceánicas y bióticas.

Amenaza o peligro antropogénico o antrópico: Peligro latente generado por la actividad humana en la producción, distribución, transporte, consumo de bienes y servicios y la construcción y uso de infraestructura y edificios. Comprenden una gama amplia de peligros como lo son las distintas formas de contaminación de aguas, aire y suelos, los incendios, las explosiones, los derrames de sustancias tóxicas, los accidentes de los sistemas de transporte, la ruptura de presas de retención de agua, etc.

CENAI: Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.

Riesgo: Medida de la probabilidad y severidad de un evento que tiene efectos adversos sobre la vida humana, la salud, la propiedad o el medio ambiente. Es estimado mediante la combinación de las esperanzas matemáticas de los escenarios, probabilidades de ocurrencia y sus consecuencias.

Gestión del riesgo: Estrategia para contribuir al logro del Desarrollo Sostenible, mediante un proceso de concertación, a través de políticas y acciones, enfocadas hacia la inserción de la prevención en la planificación del Desarrollo.

Escenario pre desastre de inundación por rotura de la cortina de una presa de tierra: En el contexto de un sistema determinado, se trata de una combinación única de estados como por ejemplo:

- ✓ Evento de inicio.
- ✓ Nivel previo del embalse.
- ✓ Estado de las compuertas o elementos hidromecánicos.
- ✓ Intensidad del viento.
- ✓ Caudales fluyentes al embalse.
- ✓ Modo de rotura.

- ✓ Población existente aguas abajo en ese preciso momento (según la época del año, el día de la semana o el momento del día).

Por tanto, un escenario permite concretar y establecer una serie de circunstancias de interés en el contexto de un análisis de riesgos. En este sentido, puede considerarse escenarios de sollicitación, escenarios de rotura, escenarios de avenida, etc.

Estimación de riesgo: Proceso por el que se cuantifica las componentes del riesgo, esto es, la probabilidad de fallo y las consecuencias asociadas al mismo.

Sufosión: es un proceso que ocurre en rocas sedimentarias de granos insolubles con matriz carbonatada, o en caso de lentes de rocas carbonatadas. Se produce la disolución del cemento carbonatado y el arrastre mecánico hacia la profundidad a través de grietas (ese arrastre mecánico descendente de partículas a través de las soluciones de continuidad en las rocas se conoce como sufosión) de los sedimentos no carbonatados.

Ángulo de la pendiente: Este índice morfométrico expresa la inclinación de la superficie terrestre con respecto a un plano horizontal. El conocimiento del ángulo de la pendiente es necesario para el estudio de muchos de los procesos exógenos (procesos gravitacionales, erosión hídrica, por ejemplo), puesto que la energía de que disponen esos procesos depende de la inclinación de la superficie (Seco, 1982).

Disección horizontal: Este índice morfométrico expresa el grado de desmembramiento de la superficie terrestre provocado por la acción de las corrientes de agua superficiales, tanto permanentes como temporales. En efecto, sobre una superficie que pudo ser inicialmente continua, el escurrimiento superficial de las aguas puede organizarse a través de ciertas líneas, para convertirse en un escurrimiento concentrado o lineal, en el que las aguas fluyen a lo largo de un cauce y erosionan la superficie sobre la cual corren. Estas líneas de drenaje que coinciden con el talweg o vaguada, interrumpen la continuidad de la superficie inicial y su densidad permite establecer el valor de la disección horizontal del relieve (Seco, 1982).

Disección vertical del relieve: Este índice, al que también se denomina amplitud del relieve o profundidad de disección, expresa el grado de profundización alcanzado por las corrientes de agua superficiales en su acción erosiva sobre la superficie

terrestre. La disección vertical del relieve es un indicador del trabajo erosivo realizado por el escurrimiento concentrado de las aguas superficiales (Seco, 1982).

Los indicadores generales: son aquellos factores que tienen influencia en el incremento del riesgo independientemente del peligro apreciado, procuran o facilitan la ocurrencia de desastres, expresándose como Vulnerabilidad General.

Los indicadores particulares: son los factores más directos por cada peligro específico, son determinantes para que ocurra un desastre, encontrándose o no los factores generales, expresándose al final como Vulnerabilidad Particular.

Sifonamiento: es cuando el agua fluye a través del terraplén y del cimiento, su carga hidráulica se disipa venciendo las fuerzas viscosas inducidas que se oponen al flujo en los poros del suelo; recíprocamente, el agua que fluye genera fuerzas erosivas que tienden a empujar a las partículas, arrastrándola en la dirección del flujo. En el momento en que este arrastre se produce comienza el sifonamiento mecánico del suelo. Las fuerzas resistentes dependen de la cohesión, del acomodamiento y el peso de las partículas, así como la existencia de filtros aguas abajo.

SS1: huracán de categoría 1 en la escala Saffir - Simpson según velocidad del viento máximo sostenido.

EMNDC: Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil.

ERD: Estudios de Reducción de Desastres.

m snm: metros sobre el nivel del mar.

INRH: Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos

HHMM: hora y minutos

SS: segundos

Lat.N: latitud norte

Lon.W: longitud oeste

Est: estación

M: magnitud

IDD: índice de Déficit por Desastres

IPMP: Índice de Pérdidas Máximas Permisibles

Referencias Bibliográficas

1. ACEVEDO, M. G. 1989: Regionalización Geomorfológica. En: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*. La Habana: Academia de Ciencias de Cuba.
2. ALEXEEV, A. (1973). *Métodos Generalizados para el Cálculo del Escurrimiento Máximo Basados en el Principio de la Intensidad Extrema y Recomendaciones*. Ciudad de La Habana. 215 p.
3. ALEXEEV, A. (1975). Confección de las Curvas de Probabilidad de los Gastos Máximos de los Ríos. *Voluntad Hidráulica*. 36 p.
4. ALEXEEV, A. (1977). Confección de los Hidrogramas de las Avenidas de los Ríos. *Voluntad Hidráulica*. 41 p.
5. ALEXEEV, A.; et. al. (1973). *Cálculo del Escurrimiento Máximo Basado en la Intensidad Extrema del Escurrimiento y las Precipitaciones*. Ciudad de La Habana. 370 p.
6. BATISTA, J. L. (1974). Isolíneas de Módulo de Escurrimiento Medio Anual. *Voluntad Hidráulica*. 32. P. 37.
7. BATISTA, J. L. (1976). Escurrimiento Sólido. *Voluntad Hidráulica*. 37. P. 25.
8. BATISTA, J. L. (1976). Gastos Máximos en Cuencas Pequeñas. *Voluntad Hidráulica*. 40. P. 32.
9. BOCCO, G. A. PRIEGO, H. COTLER. (2005). La geografía Física y el Ordenamiento Ecológico del Territorio. *Gaceta Ecológica* INE-SEMARNAT 76, México, p. 23-34.
10. CENAI. Boletín Informativo (junio 17, 2013): Sismo perceptible en Santiago de Cuba. *Publicación periódico Granma*. Sección: Nacionales. 8 p.
11. CAPOTE, R.; et al. (1989). Vegetación Actual. En: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*. La Habana: Academia de Ciencias de Cuba.

12. CARVAJAL, Y. P. (2014). *Cálculo de Rotura de Presas, Caso Presa Palmarito*. Volumen, 45.
13. CHUY RODRÍGUEZ, T.J. (1999). *Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de Peligrosidad y Microzonación Sísmica*. Tesis en opción al Grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. Fondos del MES del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. 487 pp.
14. CHUY RODRÍGUEZ, T.J.; ALVAREZ, J.L., ZAPATA, J.A. et al. (1992). *Investigaciones Sismológicas Complejas para el Complejo Hidroenergético Toa - Duaba*. Reportes de Investigaciones. Fondos del CENAI. 385 pp.
15. CHUY RODRÍGUEZ, T.J.; et.al. (2004). *Evaluación de la amenazas por la actividad geodinámica e hidrometeorológica en comunidades del municipio Guantánamo*. Informe Final del Proyecto T – 147 del CITMA Guantánamo. Fondos del CENAI.
16. CHUY RODRÍGUEZ, T.J. y G. DESPAIGNE LONGCHAMP. (2005). *Sismicidad y peligro sísmico en el municipio Guantánamo*. Santiago de Cuba. Cuba. 34 p.
17. COBIELLA, J.L.; et. al. (1984). *Geología de la Región Central y Suroriental de la Provincia de Guantánamo*. Santiago de Cuba: Editorial Oriente.
18. COLECTIVO DE AUTORES (2008). *Informe Técnico - Económico Tránsito Toa – Yateras – Guaso*. Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos. Villa Clara.
19. COLECTIVO DE AUTORES (2005). *Peligro de inundaciones en la ciudad de Guantánamo por la rotura de las presas Guaso y Jaibo*. Santiago de Cuba. Cuba. 24 p.
20. COLECTIVO DE AUTORES (2012). *Principales medidas para la protección de la población y la economía para situaciones de desastres*. La Habana.
21. COLECTIVO DE AUTORES (2004). *Estudio de Impacto Ambiental Tránsito Sabanalamar – Pozo Azul*. Guantánamo.
22. DEL RISCO RODRÍGUEZ, E. y A.V ANDAMA CEBALLOS. (1989). *Regionalización florística*. En: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*. La Habana: Academia de Ciencias de Cuba.

23. DERRUAU, M. (1970). *Geomorfología*. Barcelona: Ediciones Ariel. 442 p.
24. DÍAZ, A. A. (1990). *Hidrología de la Zona Semiárida Maisí – Guantánamo*. Informe Hidrometeorológico. La Habana: INRH.
25. DÍAZ DÍAZ, J.L. (1989). Relieve. Morfoestructural 1: 2 000 000, IV. En: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*. La Habana: Academia de Ciencias de Cuba.
26. DÍAZ, J.; et al (1986). Los principios básicos de la clasificación morfoestructural del relieve cubano y su aplicación en la región oriental de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, 12 p.
27. DORTICÓS, P.L. (1984). Consideraciones Acerca de los Cálculos Hidrológicos para Cuencas Pequeñas. *Voluntad Hidráulica*, 63. Ciudad de La Habana.
28. ESTADO MAYOR NACIONAL DE LA DEFENSA CIVIL. (2010). *Directiva No. 1 del Vicepresidente del Consejo de Defensa Nacional, para la Reducción de Desastres*. Ciudad de la Habana, Cuba.
29. ESTADO MAYOR NACIONAL DE LA DEFENSA CIVIL (2013). *Guía para evaluar el nivel de Reducción de la vulnerabilidad y el riesgo en los organismos, entidades y territorios*. Ciudad de la Habana, Cuba.
30. ESTADO MAYOR NACIONAL DE LA DEFENSA CIVIL (2005). *Guía para la realización de estudios de riesgos para situaciones de desastres*. Ciudad de la Habana, Cuba.
31. ESTADO MAYOR NACIONAL DE LA DEFENSA CIVIL (2012). *Guía metodológica para la organización del proceso de reducción de desastres*. Ciudad de la Habana, Cuba.
32. FALLAS, J. (2010). Georreferenciación de archivos ráster y ajuste geoespacial de capas vectoriales con ArcGIS. Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional de Costa Rica, Costa Rica, 61 p.
33. GRUPO DE CARTOGRAFÍA DIGITAL Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA. (2001). *Mapa Geológico de Oriente 2001*. La Habana: Instituto de Geología y Paleontología.

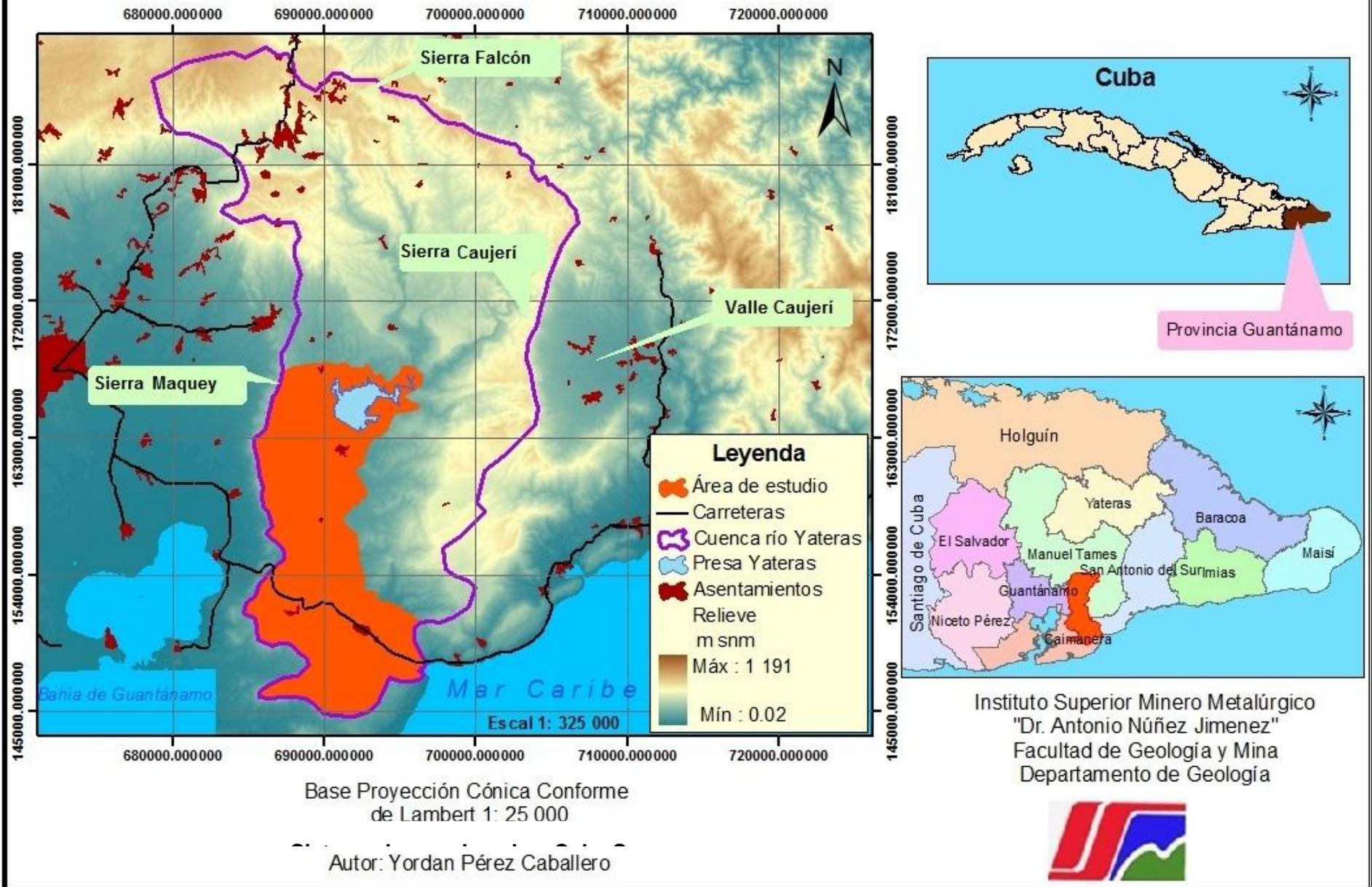
34. GRUPO DE CARTOGRAFÍA DIGITAL Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA. (2001). *Mapa Tectónico de Oriente*. La Habana: Instituto de Geología y Paleontología.
35. GUARDADO LACABA, R.; et. al. (2000). Cartografía y Evaluación del Impacto Geoambiental a través de un Sistema de Información Geográfica. *Minería y Geología*, XVII: 31.
36. GUTIÉRREZ, O. (1998). Contribución a la cartografía de los paisajes. Ciudad de La Habana. Facultad de Geografía. Tesis de Maestría. 98 p.
37. HECHAVARRÍA, F.G. (2006). *Estrategia Prospectiva para la Prevención de Desastres a Nivel Local en Cuba*. Geociencias. Ciudad de La Habana, Facultad de Ingeniería Civil. Doctor en Ciencias Técnicas. 112 p.
38. HERRIS, S.C. (2003). *Zonación Ingeniero Geológica de Peligrosidad y Riesgo por Inundación del Territorio de Sagua de Tánamo*. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Facultad de Geología y Minería. 71 p.
39. *Léxico Estratigráfico de Cuba* (2013). La Habana: Centro Nacional de Información Geológica.
40. MATAKIEV, D. (1973). El Ecurrimiento Medio y Formas de las Avenidas. *Voluntad Hidráulica*: 89-99 p.
41. MEMBRILLERA; et. al. (2005). Aplicación del Análisis de Riesgos a la Seguridad de Presas.
42. MARTÍN, G. (2007). Georeferenciación con ArcGIS 9.3. (inédito). Instituto de Geografía Tropical, Ciudad de La Habana. 18 p.
43. MOSQUERA, C. (2008). Cartografía temática del medio ambiente, Instituto de Geografía Tropical, Ciudad de La Habana. 38 p.
44. OVIEDO, V. (2007). *Compendio de cartografía temática*. (inédito). La Habana: Universidad de La Habana, Facultad de Geografía. 120 p.
45. PARDO, G.R. (2014). *Guía para Evaluar el Nivel de Reducción de la Vulnerabilidad y el Riesgo en los Organismos, Entidades y Territorios*. La Habana: Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil República de Cuba. 82 p.

46. PÉREZ, J. (2012). *Propuesta metodológica para la evaluación de impactos ambientales en obras hidrotécnicas*. Tesis de Maestría. Ciudad de la Habana. Instituto Superior de Tecnologías Aplicadas. 69p.
47. PÉREZ, M.O. (1974). Curvas de Duración de los Gastos Diarios de Agua y Coeficiente de Regulación Natural del Escurrimiento. *Voluntad Hidráulica*, 32.
48. PÉREZ, M.O. (1978). Acerca del Cálculo de los Gastos Máximos en Cuencas Pequeñas. *Voluntad Hidráulica*, 47.
49. PÉREZ, M.O. (1984). Eventos Hidrometeorológicos Extraordinarios y su Relación con el Diseño de las Obras Hidráulicas. *Voluntad Hidráulica*, 63.
50. PÉREZ, M.O. (1984). Eventos Hidrometeorológicos Extraordinarios y su Relación con el Diseño de las Obras Hidráulicas. *Voluntad Hidráulica*, 63.
51. PÉREZ, M.O. (1985). Escurrimiento Máximo de Avenidas: Coeficientes de Paso. *Voluntad Hidráulica*, 66.
52. PERIGÓ, E.; et. al. (2010). Cronología de los ciclones tropicales que han afectado a la provincia de Guantánamo. *Período 1851-2010*. Centro Meteorológico Provincial. Guantánamo.
53. REMENIERAS, G. (1968). *Hidrología del Ingeniero*. Ciudad de La Habana.
54. Rojas, Y. (2007). *Las tormentas locales en la provincia de Guantánamo*. Tesis presentada en opción al grado académico de Máster en Ciencias Meteorológicas. Ciudad de La Habana. 49 p.
55. SAINZ, A.M.C. (2007). Riesgos Geológicos en los Embalses de Yesa e Itioz. En: *Jornadas Técnicas sobre Estabilidad de Laderas en Embalses*, Zaragoza.
56. SECO, R. (1982). *Geomorfología. Procesos exogenéticos*. La Habana. 87 p.
57. SECO, R. y. D.B., R. (1995). *Cartografía Ingeniero Geomorfológica. Leyendas utilizadas en Cuba*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación.
58. SPIRIDONOV, A.I. (1981). *Principios de la Metodología de las Investigaciones de Campo y el Mapeo Geomorfológico*. La Habana: Ministerio de Educación Superior. 658 p.

- 59.SVITICH, A.A. (1986). *Paleogeografía del Pleistoceno y Métodos para su Estudio*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación. 95 p.
- 60.VICENTE, J. y BEHM, V. (2008). Consulta, Edición y Análisis con ArcGIS 9.3 Tomo I. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. España, 110 p.
- 61.WISLER, O.C.; BRASTER, F.E. (1969). *Hidrología*. La Habana: Instituto Cubano del Libro. 263 p.
- 62.ZAPATA, J.A.; et al. (1992). Investigaciones Sismológicas Complejas para el Complejo Hidroenergético Toa - Duaba. Reportes de Investigaciones. Fondos del CENAI. Santiago de Cuba. 9 p.

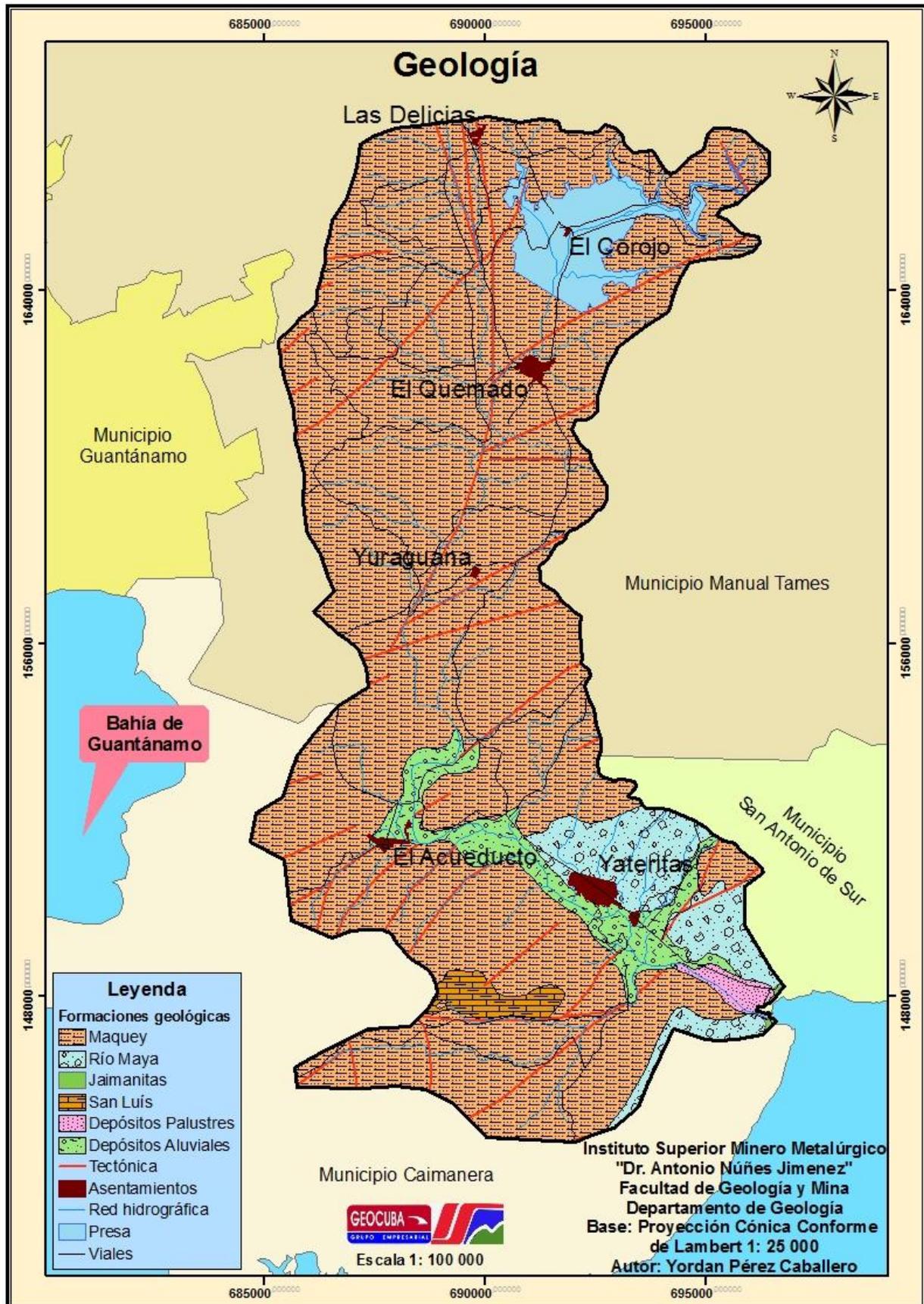
Anexo 1. Localización espacial del área de estudio

Localización del área de estudio



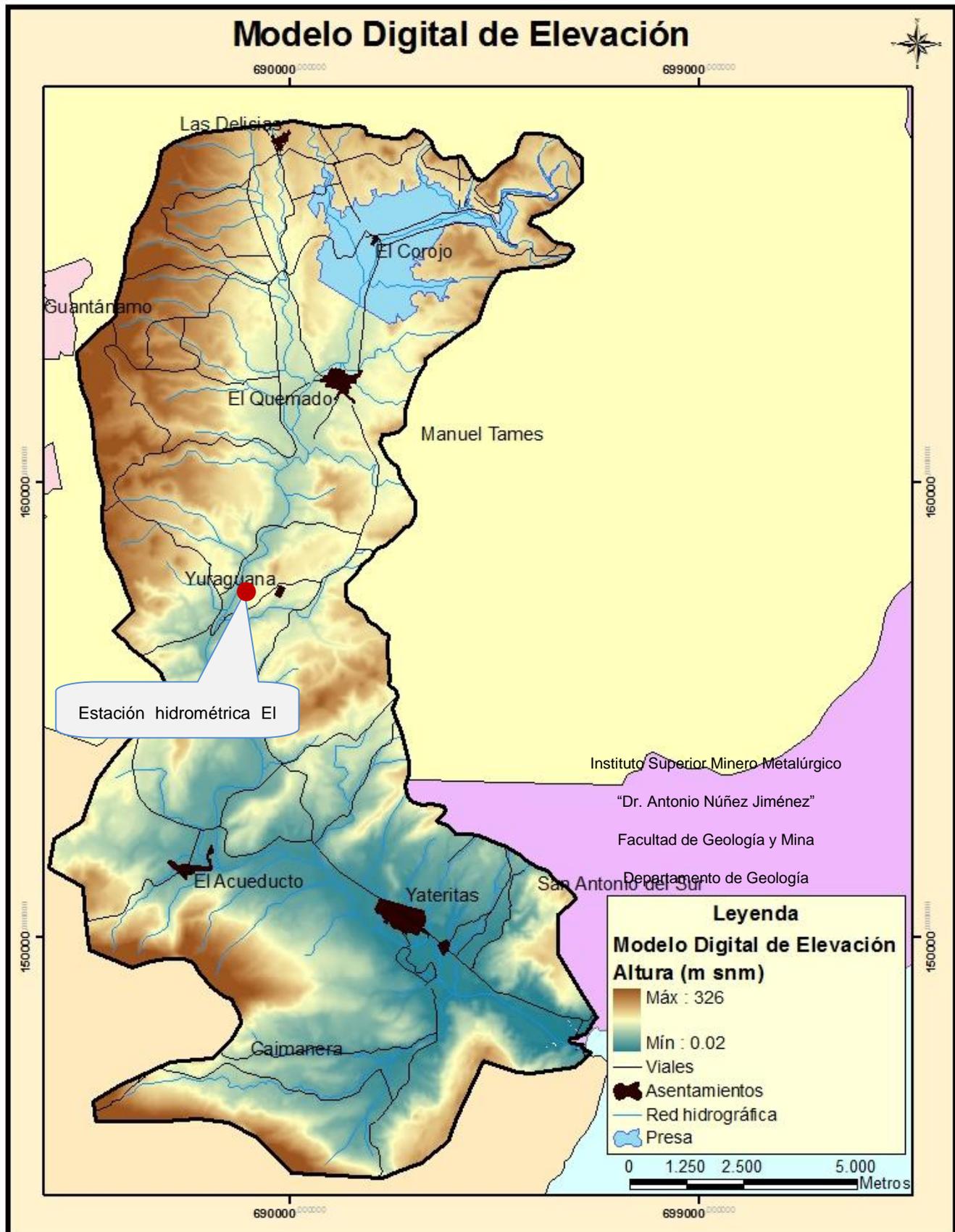


Anexo 2. Mapa Geológico del área de estudio



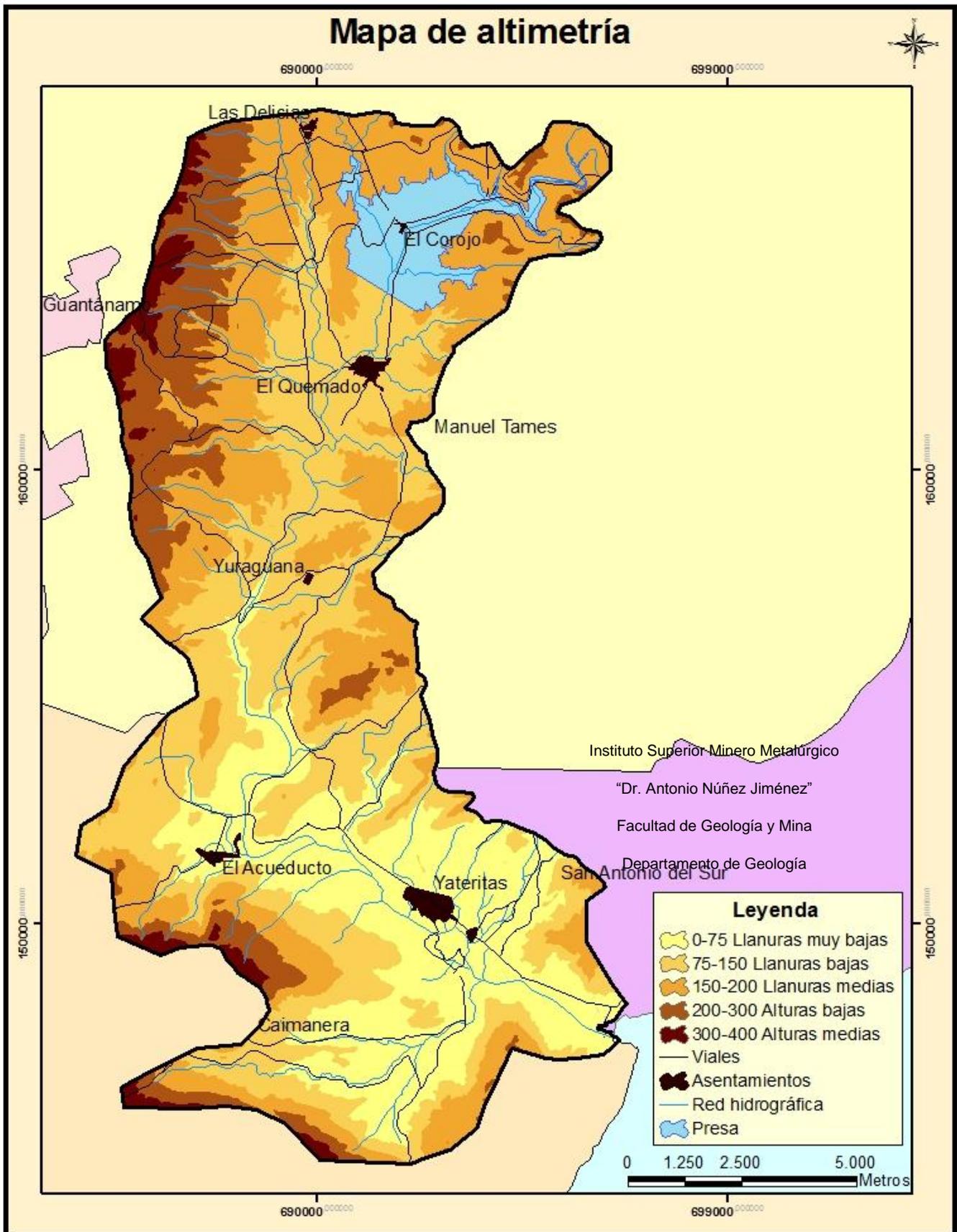


Anexo 3. Modelo Digital de Elevación del área de estudio



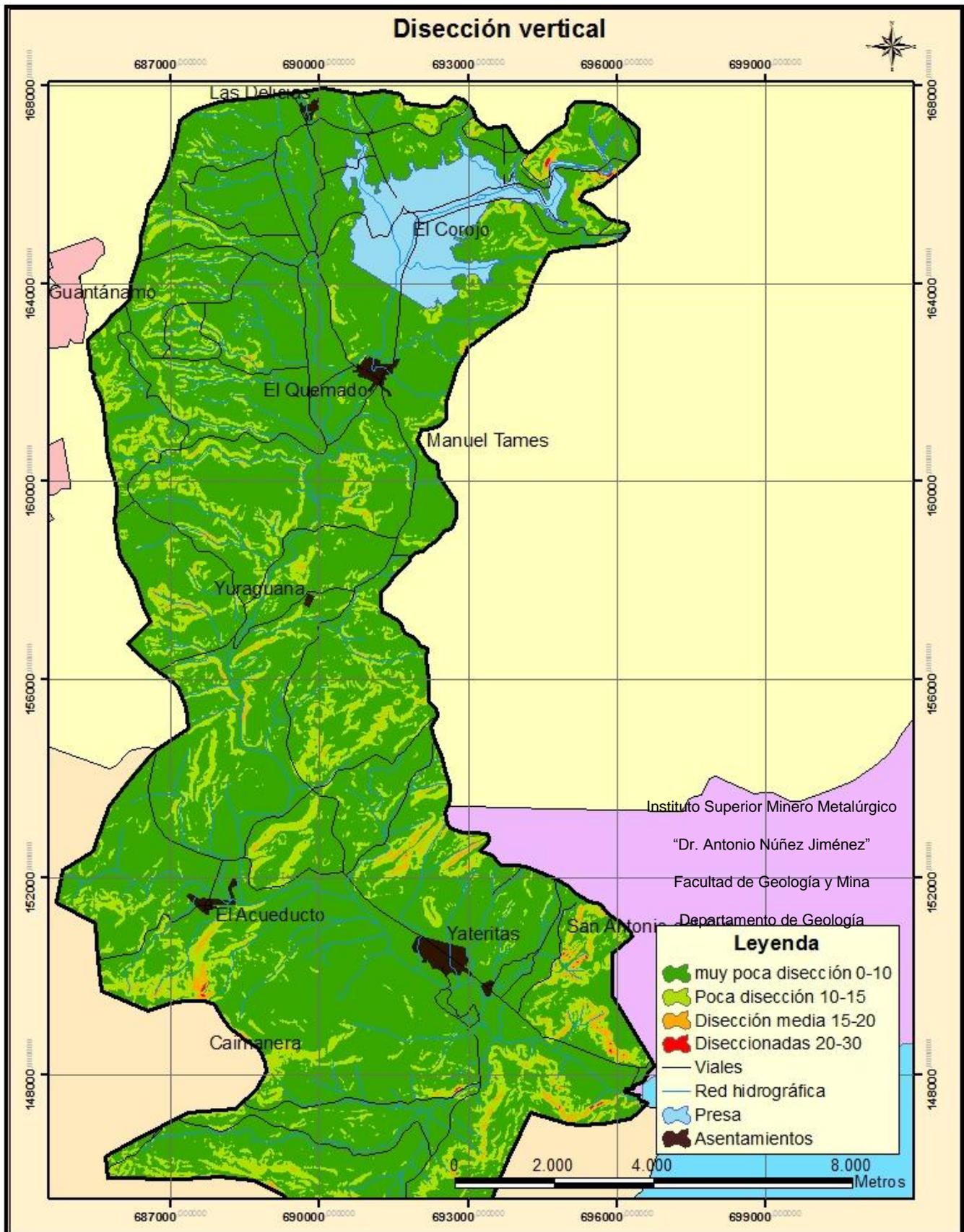


Anexo 4. Mapa altimétrico del área de estudio



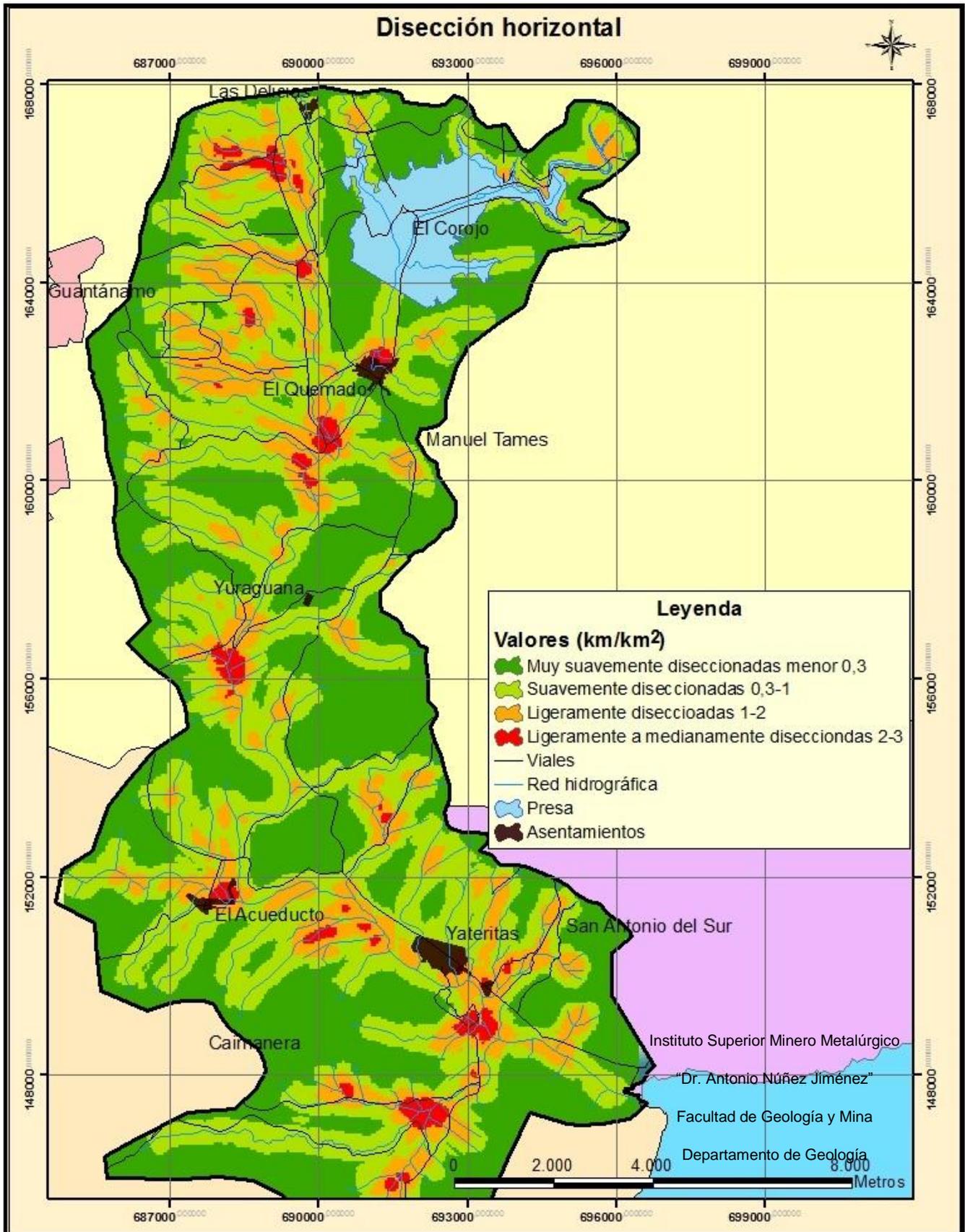


Anexo 5. Mapa de disección vertical o profundidad de disección (m)



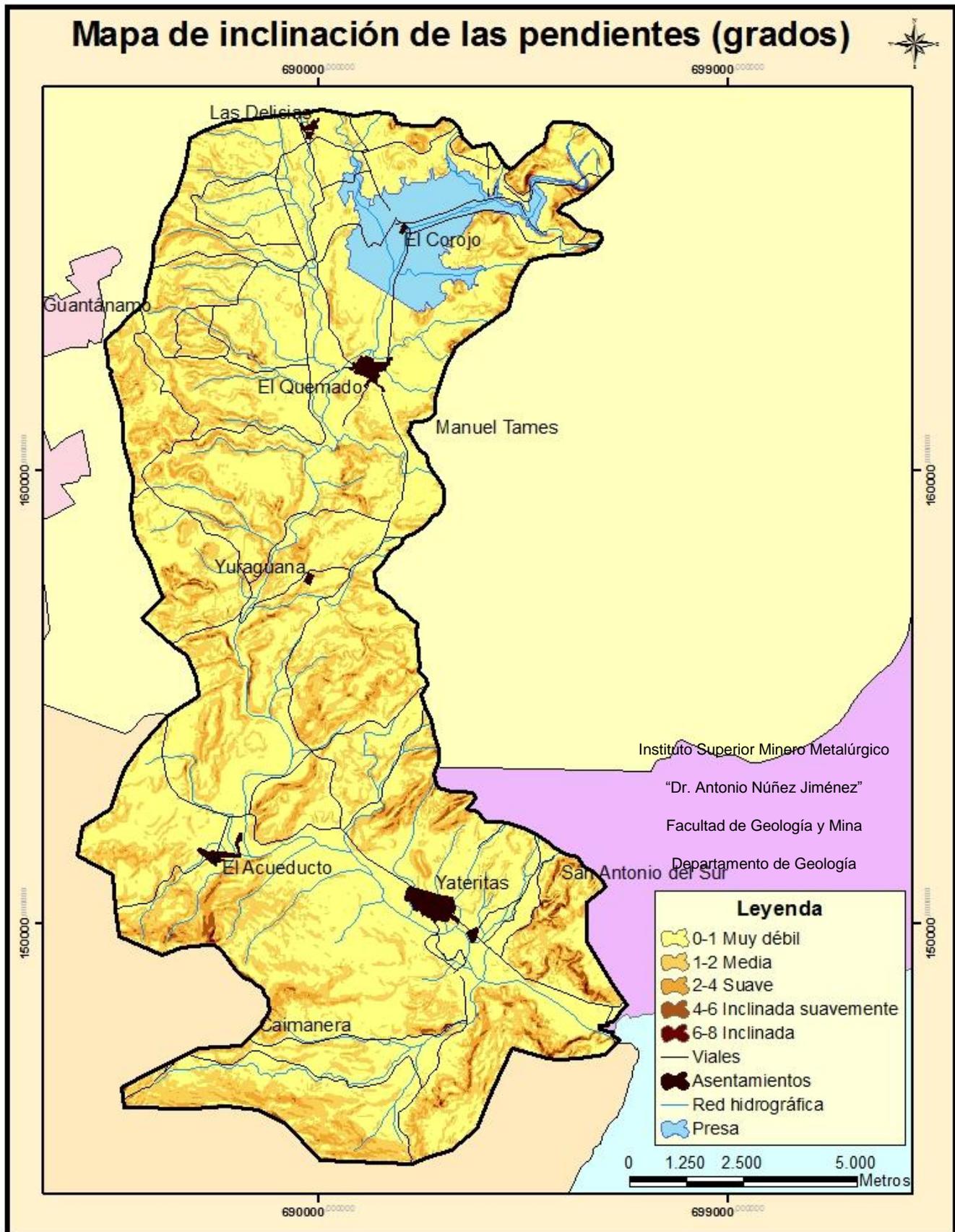


Anexo 6. Mapa de disección horizontal



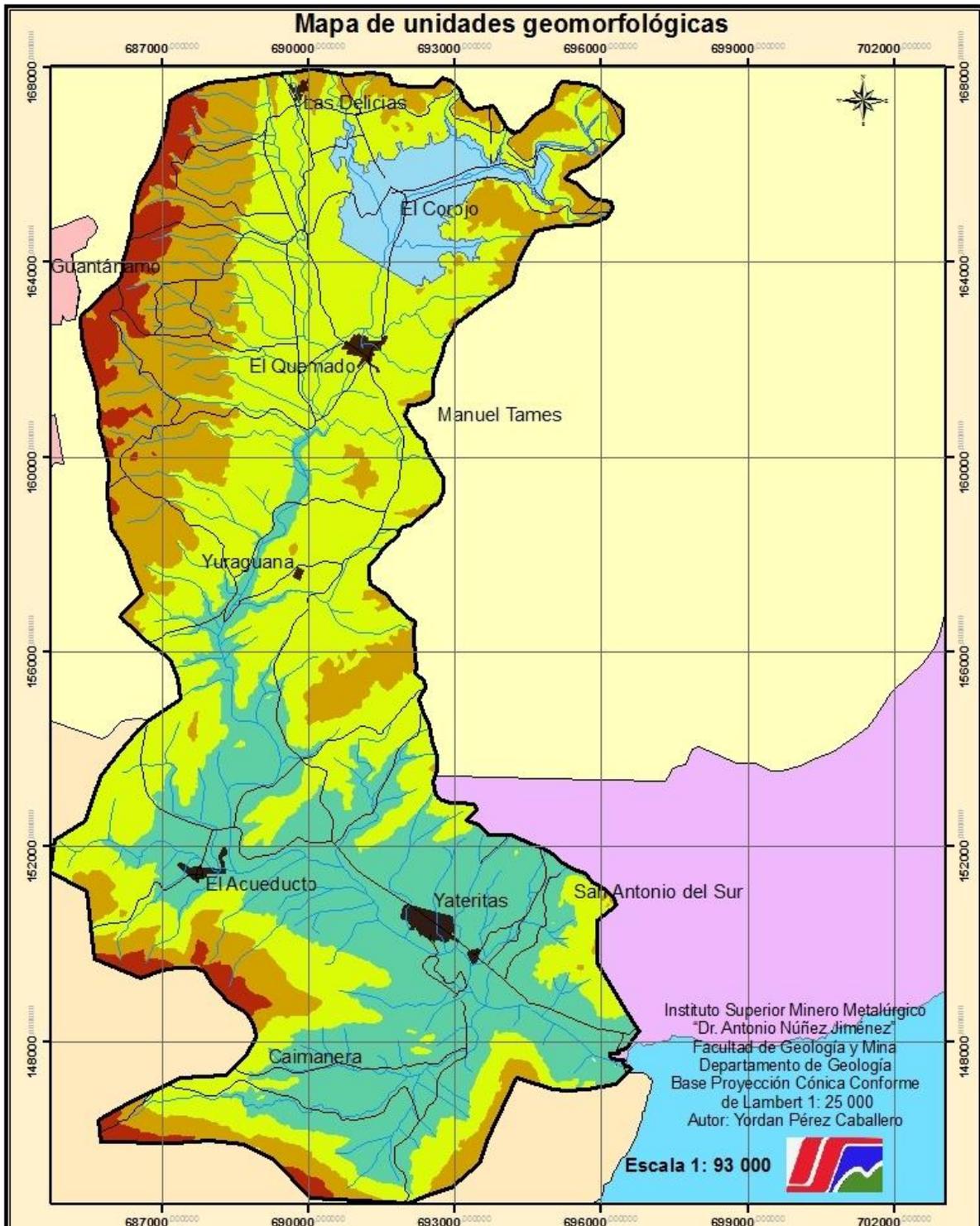


Anexo 7. Mapa de inclinación de las pendientes del área de estudio





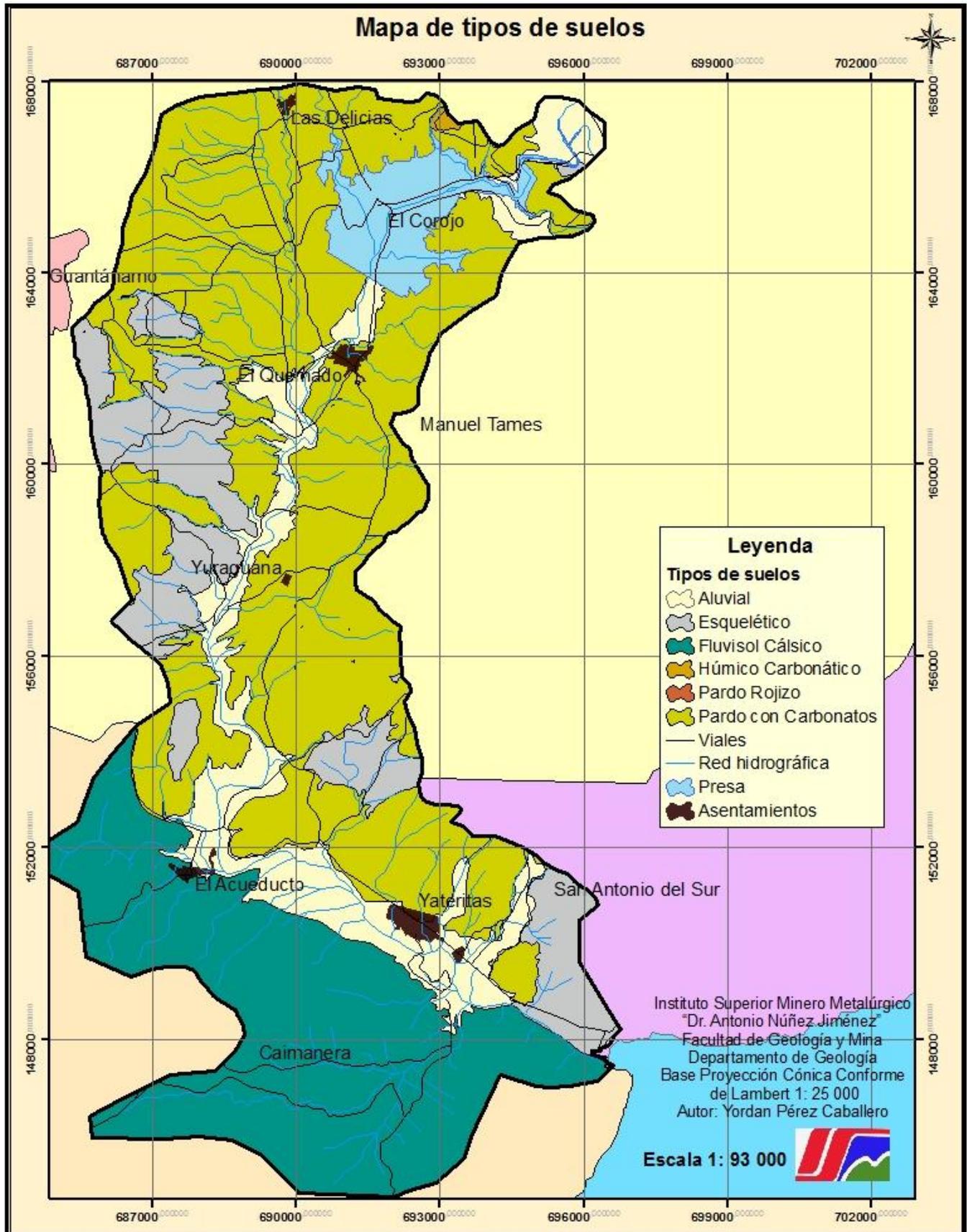
Anexo 8. Mapa de unidades geomorfológicas



- Mapa de unidades geomorfológicas**
- Legenda**
- Unidades geomorfológicas en el área de estudio**
- Alturas desde bajas a medias, tectónicas estructurales de horst y bloque en cadena monoclinales
 - Llanura acumulativa y erosiva acumulativa, baja, plana y ligeramente ondulada
 - Llanura acumulativa, muy baja y plana
 - Llanura media, tectónica y erosiva acumulativa de bloque monoclinial
 - Viales
 - Red hidrográfica
 - Presa
 - Asentamientos

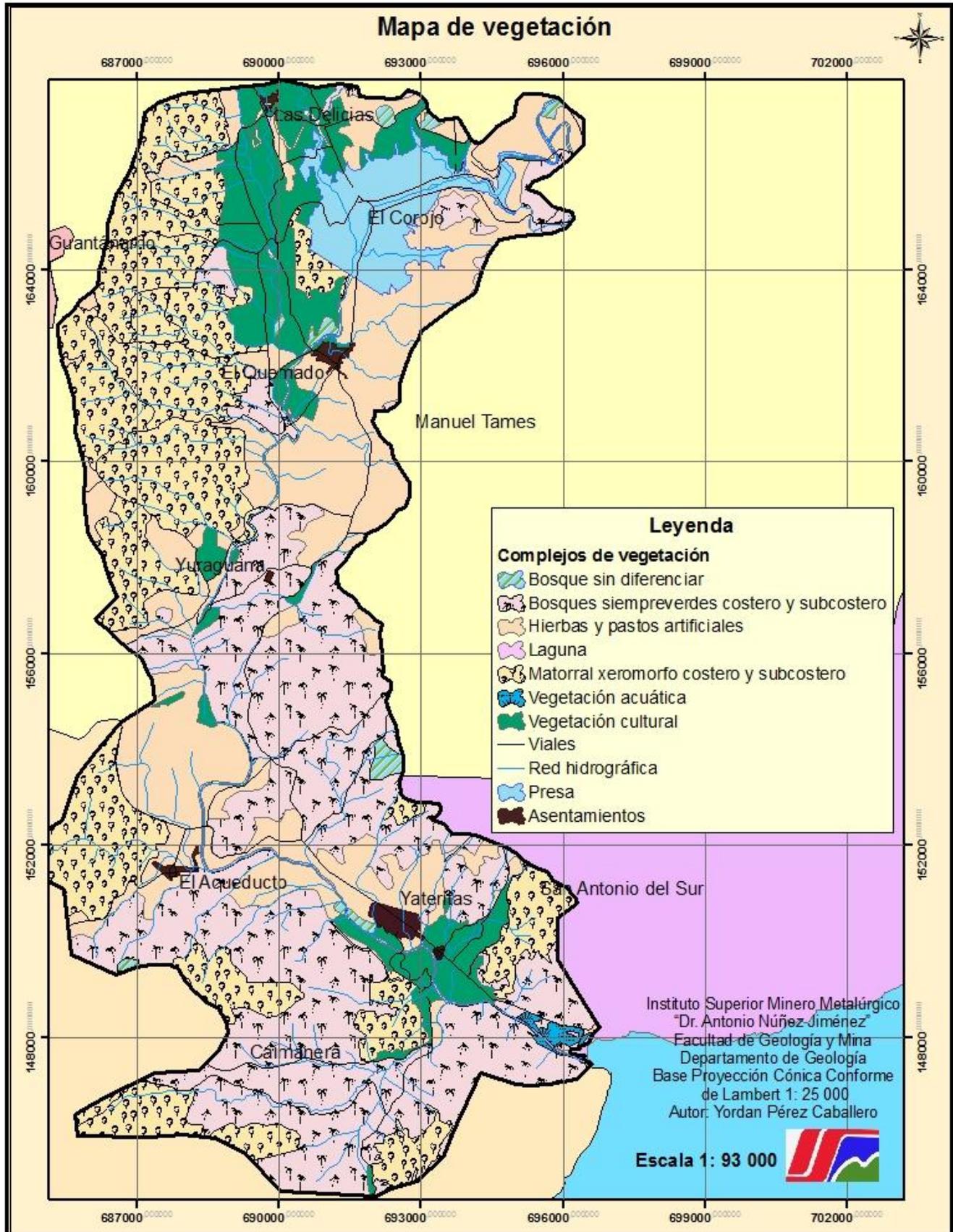


Anexo 9. Mapa de Tipos de Suelos del área de estudio



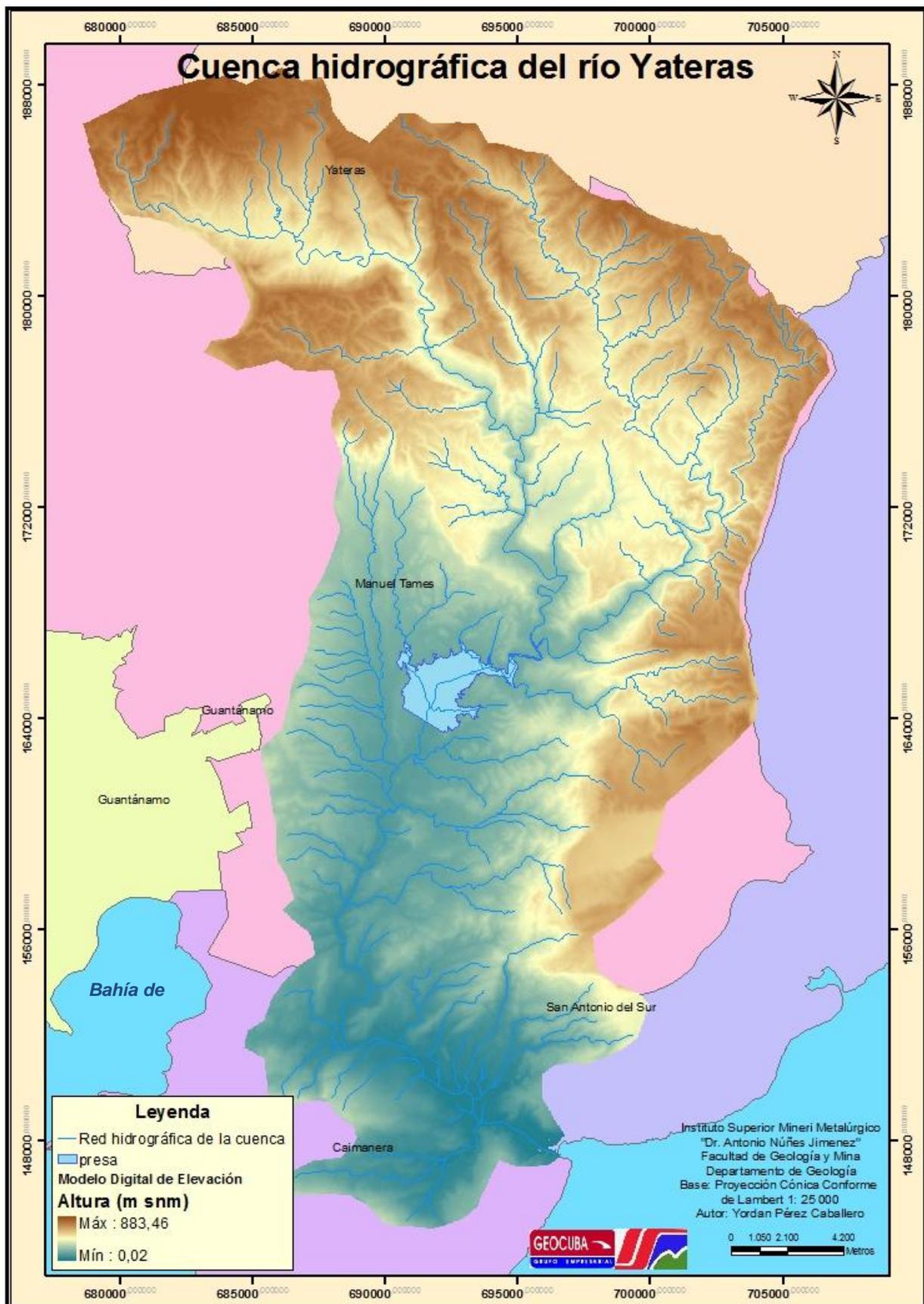


Anexo 10. Mapa de vegetación



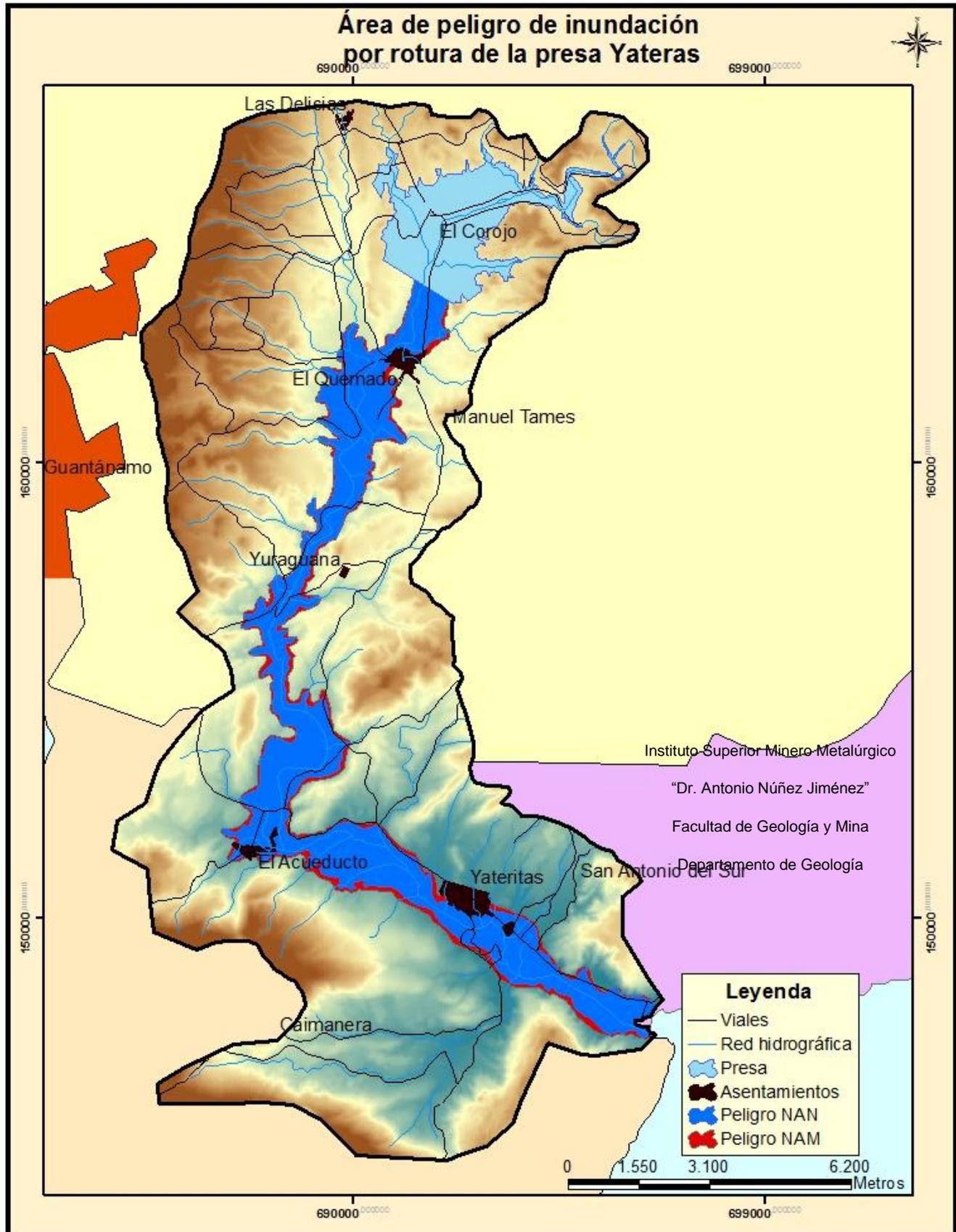


Anexo 11. Mapa de la cuenca del río Yateras



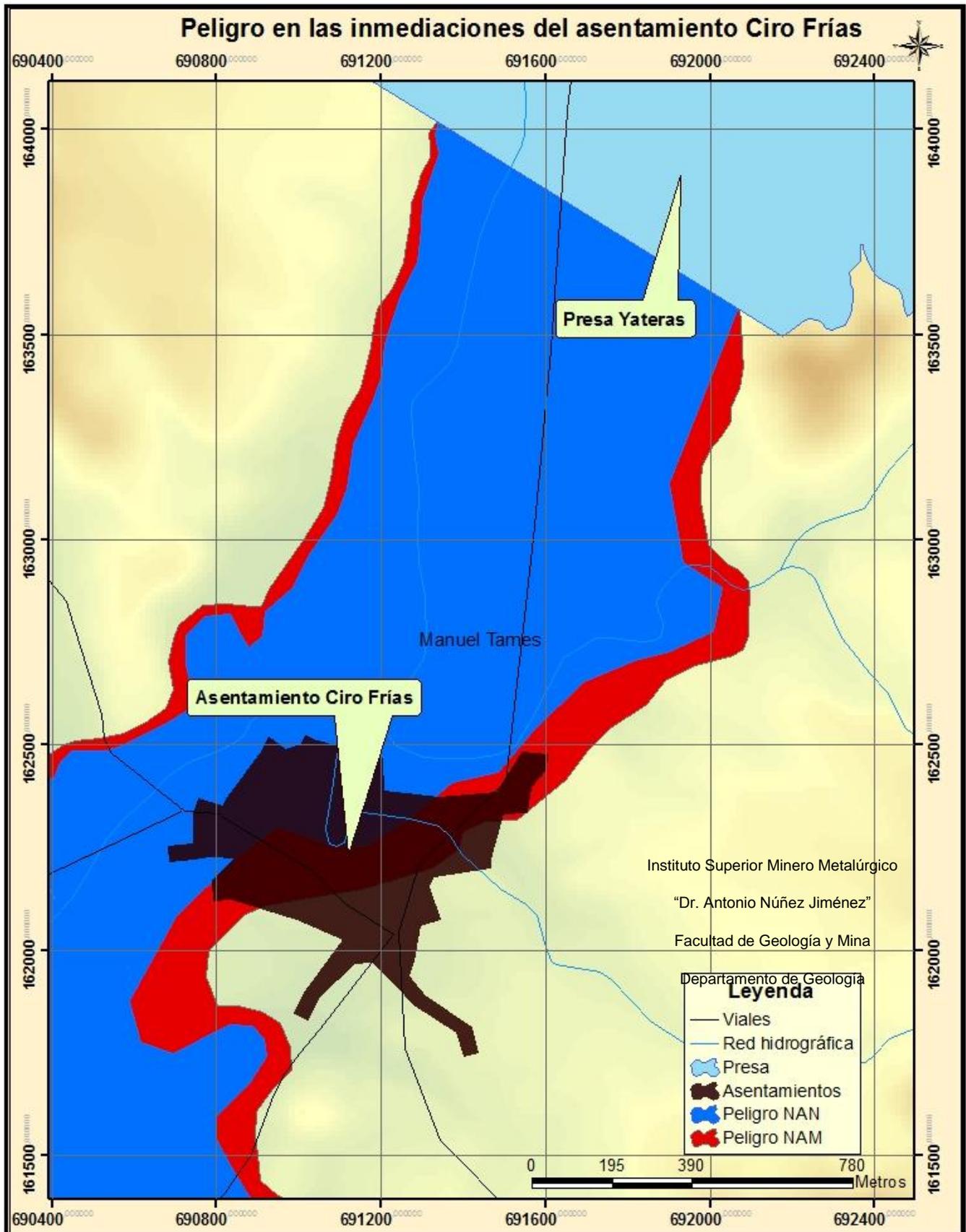


Anexo 12. Mapa de peligro del área de estudio



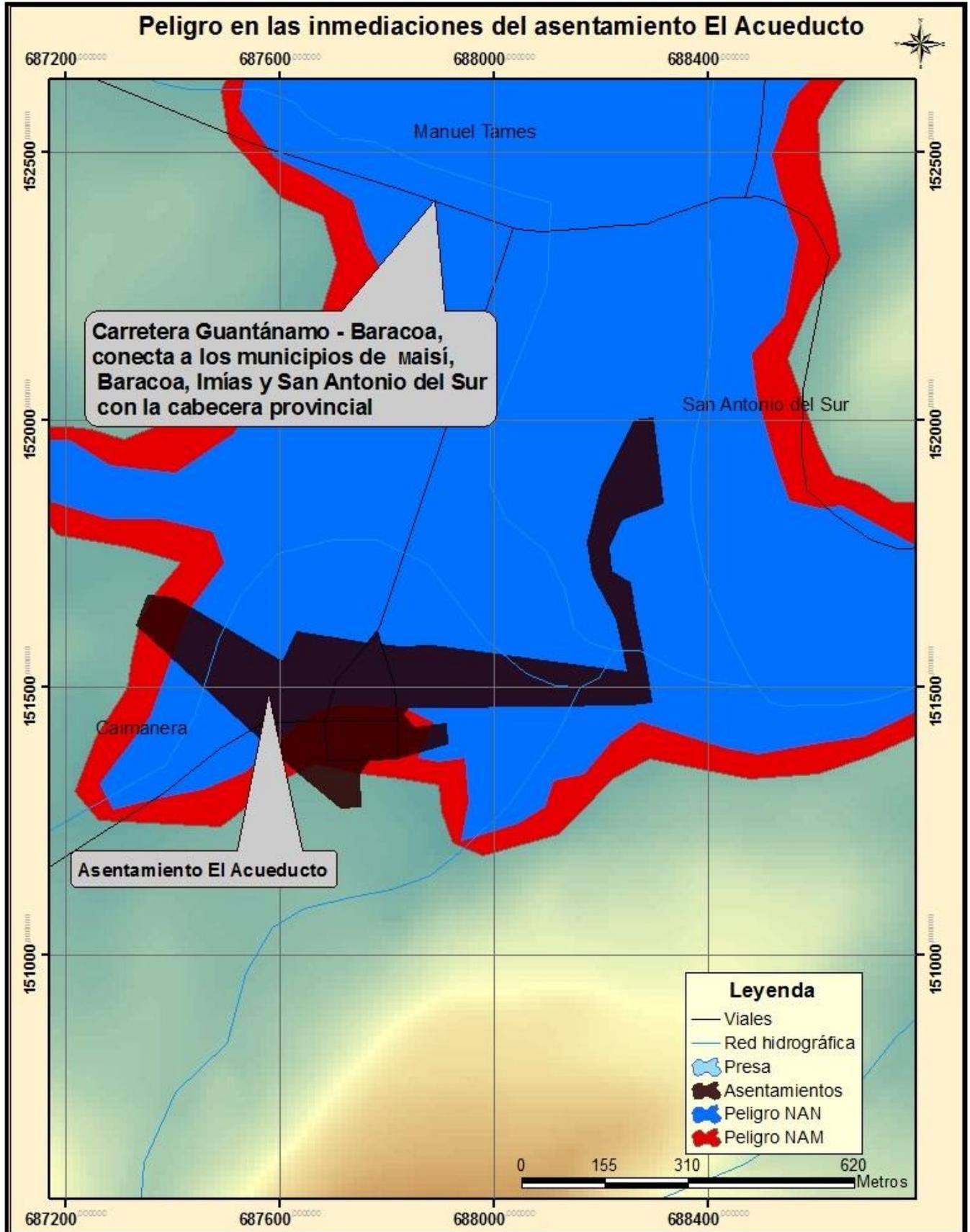


Anexo 13. Mapa de peligro en el asentamiento Ciro Frías



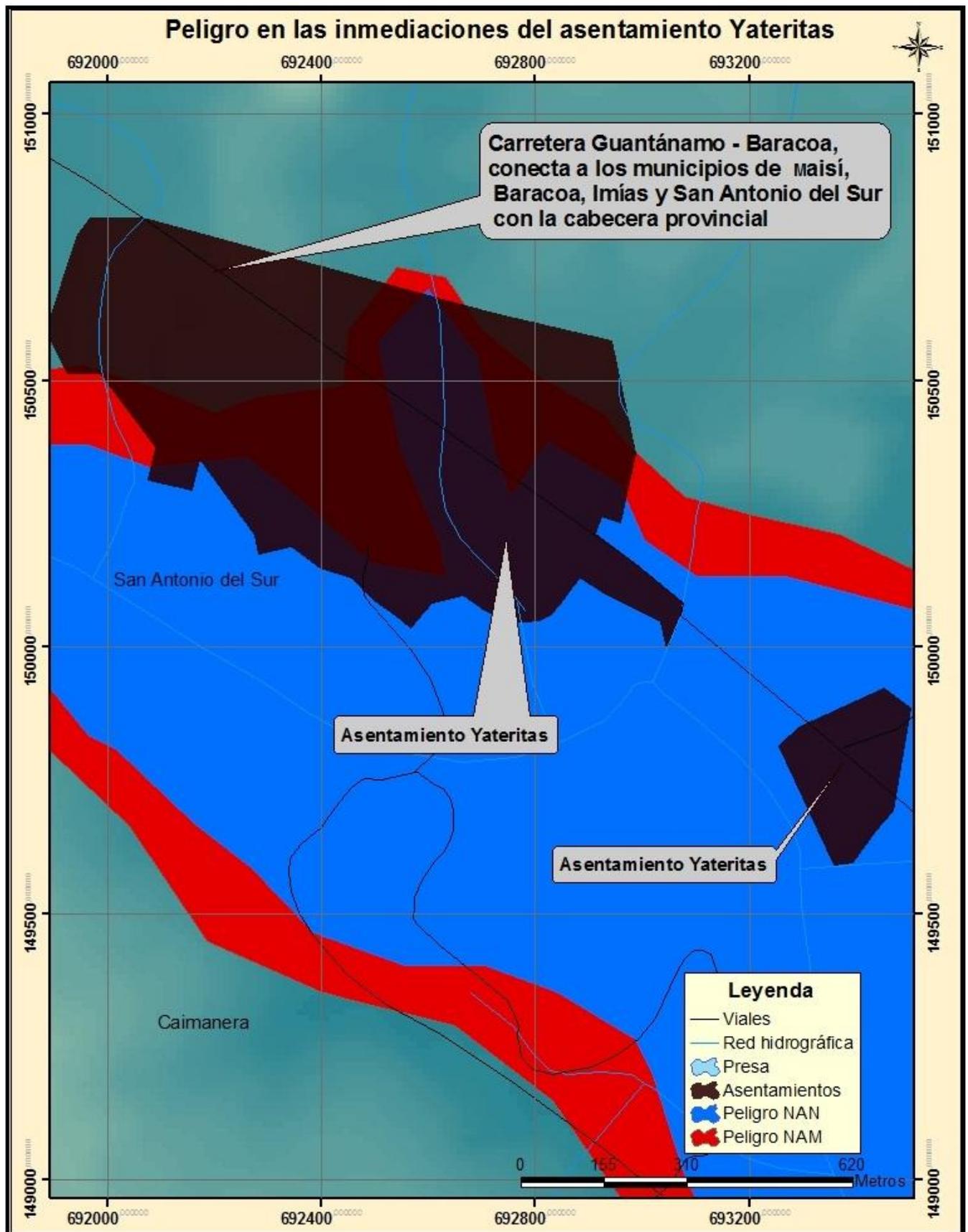


Anexo 14. Mapa de peligro del asentamiento El Acueducto



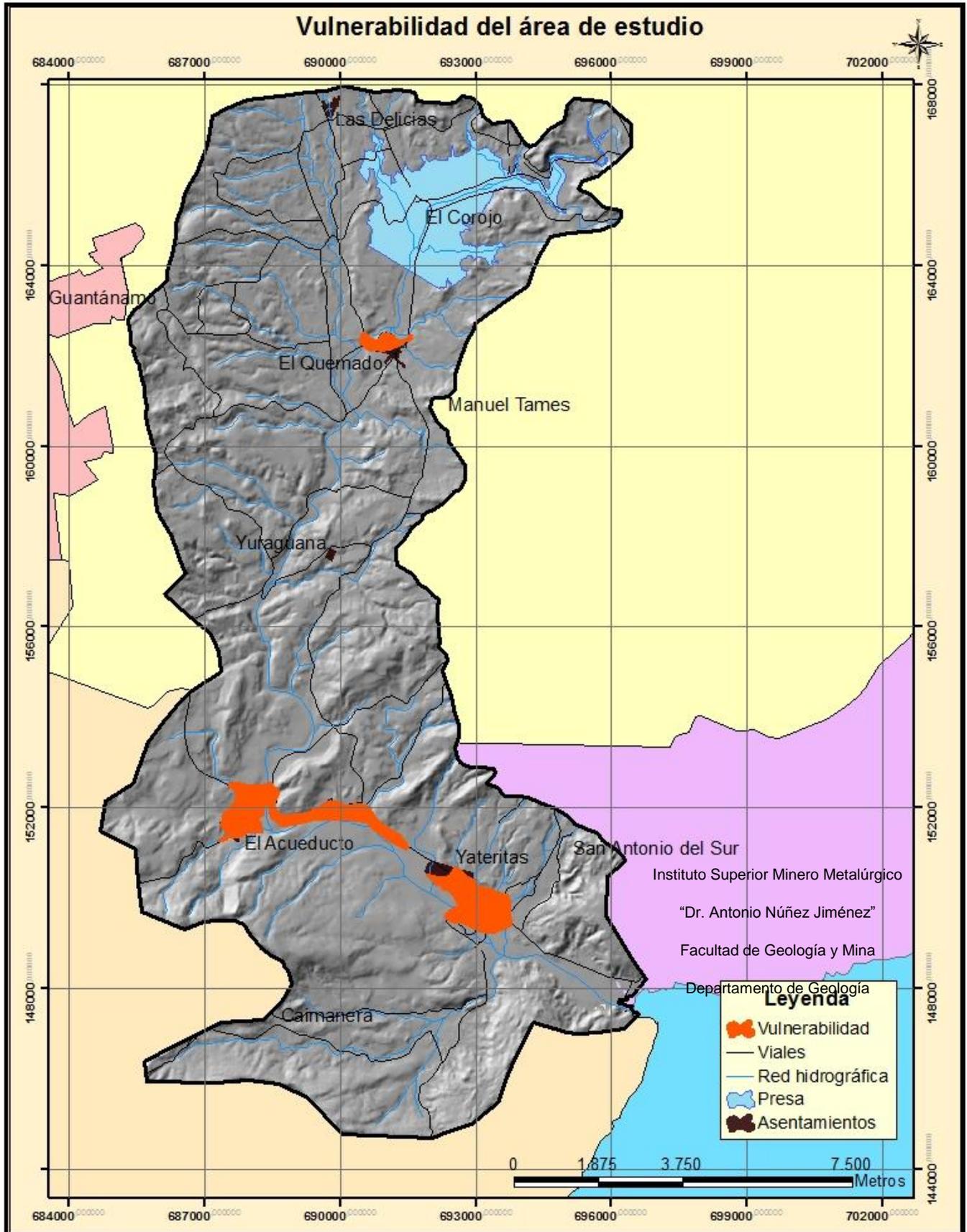


Anexo 15. Mapa de peligro del asentamiento Yateritas





Anexo 16. Mapa de vulnerabilidad del área de estudio

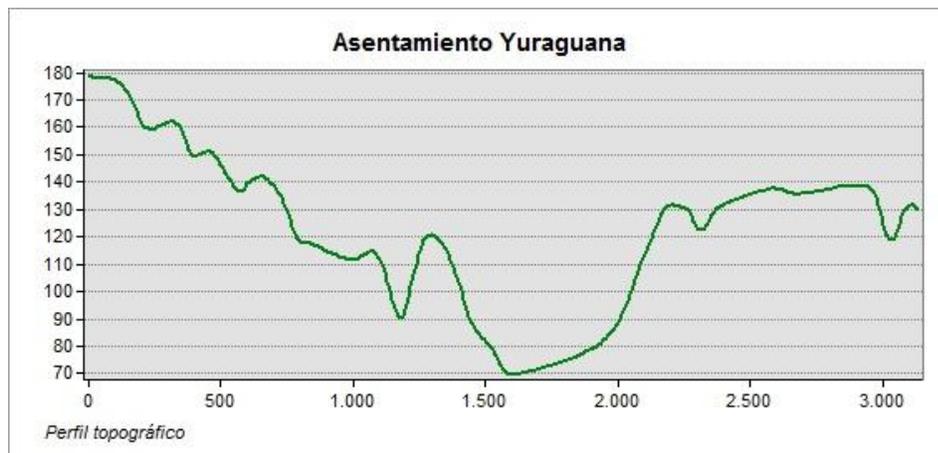




Anexo 17. Perfil en las inmediaciones del asentamiento Ciro Frías

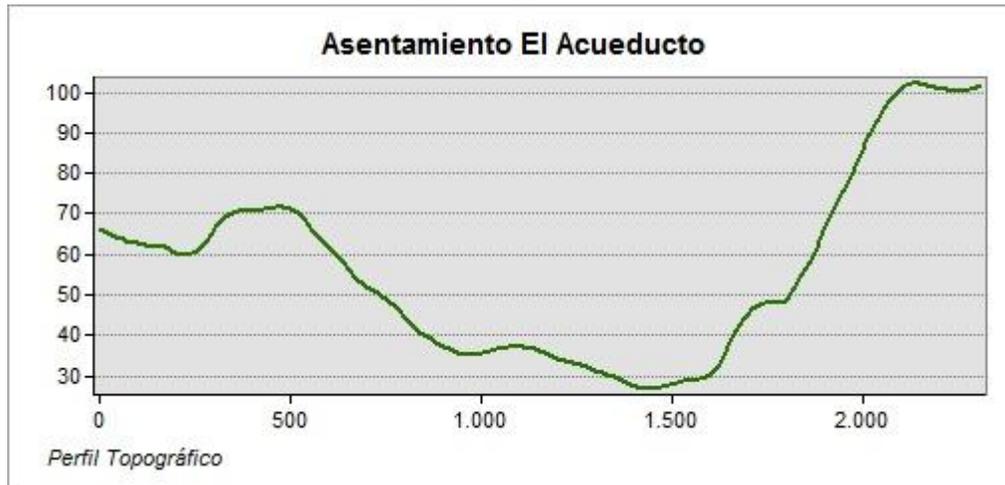


Anexo 18. Perfil en las inmediaciones del asentamiento Yuraguana

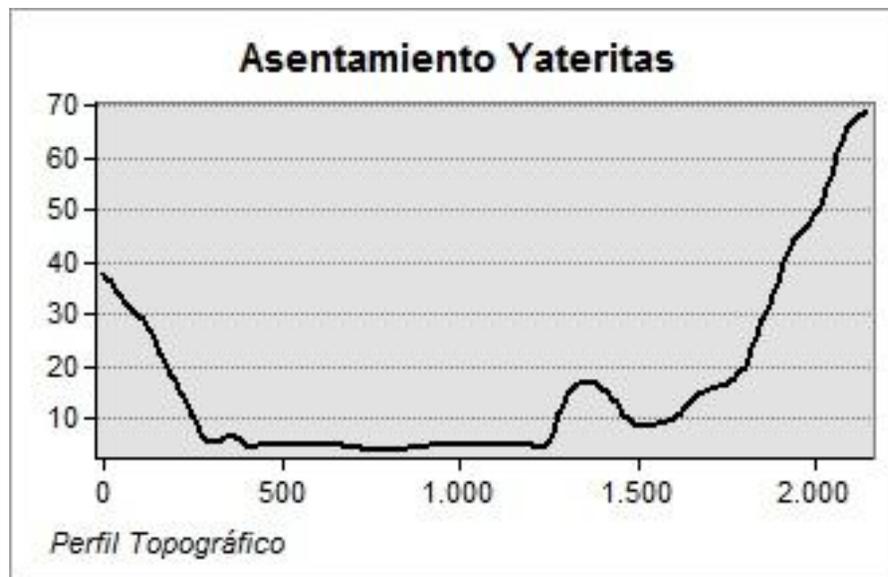




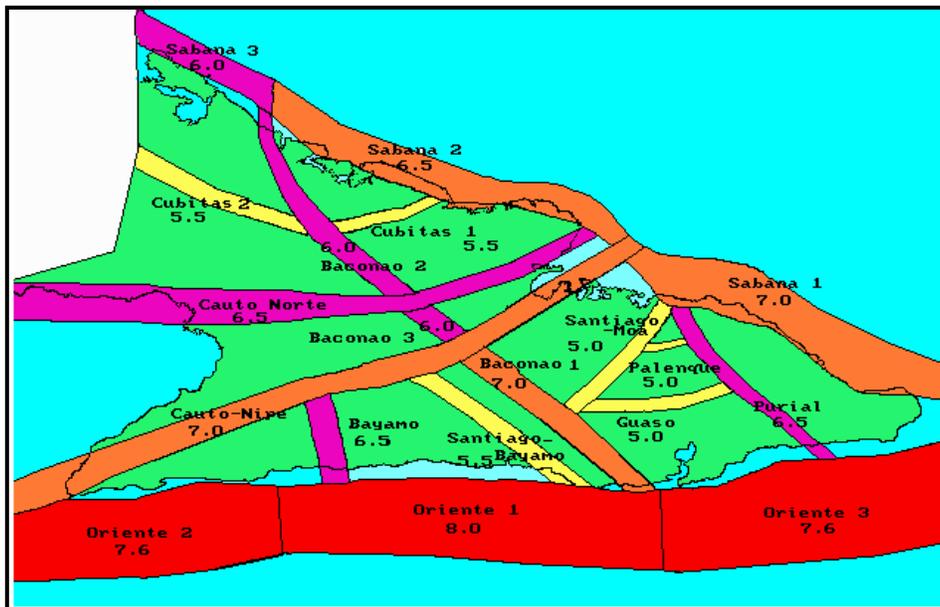
Anexo 19. Perfil en las inmediaciones del asentamiento El Acueducto



Anexo 20. Perfil en las inmediaciones del asentamiento Yateritas



Anexo 21. Zonas Sismogénicas de la región oriental del país



Anexo 22. Esquema de zonificación sísmica de la parte oriental del país

