Restauración ecológica de sitios afectados por prospecciones mineras en la cuenca del Toa

Gerardo Begué-Quiala[1], Jorge Luís Delgado-Labañino[2], Tereza Hernández-Columbié[3], y Jorgelino Gámez-Diez[2]

(1)Unidad de Servicios Ambientales (UPSA) Alejandro de Humboldt, Delegación Territorial del CITMA Guantánamo, Cuba. Email: *beque@upsa.gtmo.inf.cu*.
(2)Departamento de Conservación La Melba, Parque Nacional Alejandro de Humboldt (PNAH).
(3)Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba (ISMM).

Recibido: noviembre 2017	Aceptado: enero 2018

Resumen

La degradación de los suelos es uno de los procesos más dañinos que atenta contra la integridad, protección y conservación de éstos, el presente trabajo se desarrolló en la antigua concesión minera Piloto, cuya extensión total es de 6303.3ha, ubicada en la parte alta de la cuenca del Toa. Los principales objetivos de la investigación fueron recuperar suelos dañados con impactos residuales de prospecciones mineras acaecidas hace 44 y 20 años respectivamente, incrementar la cobertura vegetal del área, así como mitigar la erosión hídrica y fomento de sitios biológicamente activos para la formación del suelo. El uso de métodos alternativos y adaptativos, entre ellos, la trampa orgánica de sedimentos, los pilotes rompeolas, la trampa de agua, los métodos de silvicultura y otros, fueron propicios para mitigar la degradación edáfica. Los resultados mostraron quela intervención humana en el proceso cambió la fisonomía del paisaje natural, por lo que se plantaron más de 160 000 mil plantas, se incrementó el índice de boscosidad en 0.65%, además se recuperaron 41.4ha de parches de ecosistemas severamente impactados, el efecto invasivo en algunos afluentes trajo consigo lagunatos artificiales con un pH modificado con tendencia a la fuerte acidez.

Palabras clave: Daños, cuenca, minería, restauración ecológica

Ecological restoration of sites affected by mining surveys in the Toa basin

Abstract

Soil degradation is one of the most harmful processes that violates the integrity, protection and conservation of these, the present work was carried out in the former Pilot mining concession, whose total extension is 6303.3ha, located at the top of the Toa Basin.The main objectives of the investigation wererecover damaged soils with residual impacts from mining prospecting that occurred 44 and 20 years ago respectively, increase the plant cover of the area,as well as mitigating water erosion and the promotion of biologically active soil formation sites.The use of alternative and adaptive methods, including organic sediment traps, breakwater stakes, water trap, forestry methods and others, were conducive to mitigating soil degradation.The results showed that human intervention in the process changed the physiognomy of the natural landscape, so more than 160 000 thousand plants were planted, increased the forest coverage by 0.65%, and 41.4ha of severely impacted ecosystem patches were recovered,the invasive effect in some tributaries brought with it artificial lagoons with a modified pH with a tendency to strong acidity.

Key words: Damage, besin, mining, restoreation

1. Introducción

Las actividades mineras y prospecciones en el Norte de Oriente (extremo este de las provincias de Holguín y Guantánamo) en sus más de 60 años de desarrollo han dejado una notable huella ecológica en los ecosistemas minados, esta se acentuó más en la década de los 80 con la modernización de la industria existente y la construcción de otra, aunque es importante destacar que hace más 30 años se inició un sólido trabajo de rehabilitación minera y restauración en algunos casos con el propósito de rescatar y darle otro uso y valor a los sitios dañados.

La restauración ecológica debe distinguir metodológicamente dos importantes fases entre el proyecto de rehabilitación y el proyecto de restauración, según (Primack*et al*., 2001a). La rehabilitación:solo procura la reparación de ciertas funciones y estructuras del ecosistema, por ejemplo, se centra básicamente en las especies dominantes, y retrasa la acción sobre las especies endémicas, raras y menos comunes, estas son partes del programa de restauración. La restauración o reconstrucción: considera la estructura comunitaria, la composición de especies y el restablecimiento de procesos ecológicos a través de un activo programa de modificación del sitio y de reintroducción de especies. Ésta trata que el ecosistema actual recuperado se asemeje lo más posible al original en cuestión.

El 70 % de la superficie del territorio nacional de Cuba sufre en mayor o menor grado el efecto de los procesos erosivos (Pérez, 1990), también (Hernández *et al*., 2011) hablaron de la degradación de los suelos ferralíticos rojos lixiviados y sus indicadores en las llanuras de la Habana, los mismos con un gran desarrollo agrícola. La provincia Guantánamo con más del 75 % de sus 6200 km^2 formados por montañas, este patrón revela que las interacciones agrícolas, mineras, silvícolas y de otros proyectos de desarrollo, pueden convertirse en los principales catalizadores para los complicados procesos de degradación y erosión de los suelos, sino se manejan con una óptica de sostenibilidad (Villaverde *et al*., 2014).

Este trabajo de conservación e investigación con rehabilitación y restauración ecológica incluida en todo el tiempo de ejecución tuvo importantes novedades científicas y técnicas, entre ellas se destacaron un grupo de inventivas y soluciones basadas en naturaleza: la trampa de agua, las estacas rompeolas y la trampa orgánica de sedimentos, esta última por funcionalidad y ecoeficiencia se protegió por CENDA (Centro Nacional de Derecho de Autor), además se hicieron otras investigaciones relacionadas con el comportamiento de la biodiversidad zoológica. Su importancia estuvo relacionada con la política del estado cubano de proteger al medio ambiente y lograr un aprovechamiento sostenible del mismo, en esta circunstancia garantizando la protección integral de ecosistemas claves, procesos ecológicos y uno de los recursos naturales más amenazados del planeta, el agua potable.

Sus principales aportes se relacionaron con mantenimiento e incremento de la calidad ambiental y ecológica de estos ecosistemas, garantizando mejor calidad de vida para las comunidades locales, en el orden económico se redujo el costo por la utilización de métodos y soluciones basadas en naturaleza y la no utilización de tecnologías costosas e invasivas en el proceso, además se aplicó el principio básico de la economía ecológica **el que contamina, afecta y daña al medio ambiente paga por su resarcimiento,** la empresa que ocasionó los impactos pagó por su recuperación.

A consideración de todo lo expresado los objetivos principales de este trabajo fueron recuperar los procesos avanzados de formación de cárcavas y otras manifestaciones de degradación de los suelos con métodos adaptativos, en sitios que presentaban impactos residuales de más de 44 años, incrementar la cobertura vegetal del área, mitigar el efecto negativo de la escorrentía superficial, proceso dañino para los mismos cuando están desprovistos de esa cobertura, así como el fomento de los sitios biológicamente activos para la formación del suelo.

2.1. Materiales y métodos

Este trabajo se realizó en áreas de la antigua concesión minera Piloto, cuya extensión es de 6306.3ha**(Figura 1)** y está ubicada en la altiplanicie de El Toldo, en el interior del Parque Nacional Alejandro de Humboldt (PNAH), núcleo principal de la reserva de Biosfera Cuchillas del Toa, en la porción noreste de las provincias Guantánamo y Holguín, las mencionadas áreas incluyen en su interior la parte alta de la cuenca del Toa (Begué-Quiala*et al*., 2013).

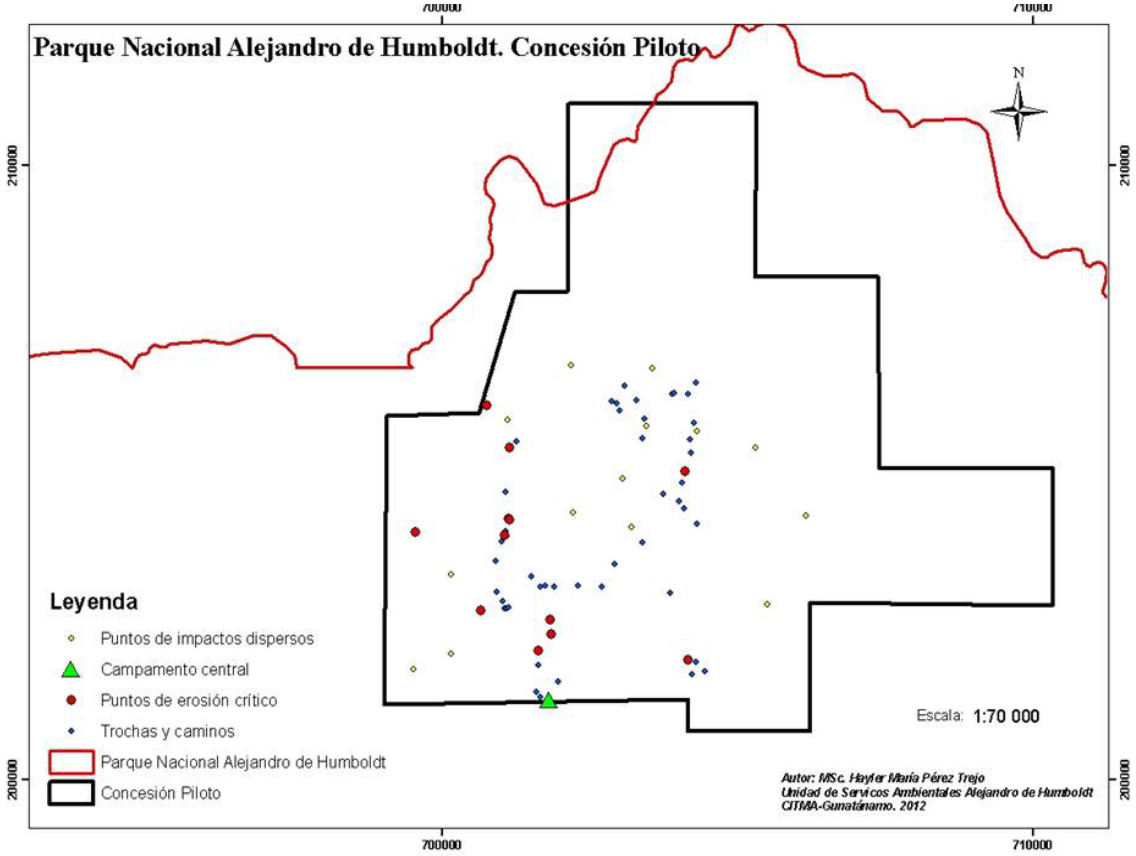


Fig. 1. *Mapa de la distribución de los diferentes tipos de impactos en las áreas de la concesión. Fuente. Unidad de Servicios Ambientales Alejandro de Humboldt, 2012.*

La identificación y clasificación de las cárcavas según su magnitud, quedó establecida de manera tripartita: pequeñas zanjas hasta 30cm, medianas con amplitud de 30cm-1m y grandes cárcavas, las que poseen más de 1m de profundidad, con ancho y largo variable.Durante la investigación se utilizó un conjunto de métodos o técnicas silviculturales clásicos, tales como: moteo con cepellón con una modificación, la cama orgánica, reforestación con herbáceas en cuartones con diques de contención, siembra por vía directa, regeneración natural asistida y el método de nodriza, también se incluyeron los sistemas ingenieriles con elementos naturales: la trampa orgánica de sedimentos, las estacas rompeolas, la trampa de agua y los diques de contención muertos y vivos: todas consideradas soluciones basadas en naturaleza (**que no es más que las soluciones verdes, incremento de la reforestación, protección del suelo con infraestructuras naturales, mantener e incrementar los manglares, humedales. No incluye las infraestructuras construidas, ejemplo, canales, represas, grandes diques de protección, etc., aunque en algunos casos puede complementarlos)**, según la (IUCN, 2016).

El moteo con cepellón con la cama orgánica, consiste en hacer un hoyo de plantación con profundidad de 30-40cm y diámetro de 40cm, posteriormente se deposita una capa de hojarascas y material vegetal, el que se cubre con otra capa de tierra, sobre la que se sitúa el cepellón, el cual se rellena con el substrato hasta hacer un montículo o cavacote alrededor del tallo, estas siembras se hacían en los sitios sin cobertura vegetal o que en la práctica fuera necesario realizar.

La reforestación con plantas herbáceas en cuartones con diques de contención: consiste en usar los diques de contención en sitios con pendientes superiores a los 10^0 y con fuerte lavado superficial combinado con un cordón de plantas herbáceas sembradas detrás del mismo a 10cm de distancia entre ellas, y una separación entre diques de 5m, cuyo espacio se removió parcial y totalmente, para crear condiciones propicias para la germinación de cualquier semilla, en muchos casos se realizó la reforestación del terreno.

Siembra por vía directa: es un método sivicultural consistente en sembrar las semillas forestales directas, sin aviveramiento o producción de posturas, es válido para semillas medianas y grandes, es funcional económico y eficiente. Regeneración natural asistida: consiste en crear en determinados sitios condiciones hechas por los humanos para permitir que las semillas forestales que lleguen por cualquier vía de dispersión, encuentren condiciones idóneas para germinar y el método de nodriza: es la creaciónde un grupo o plantones de plantas para que en algunos sitios les sirvan de protección y faciliten alimentos a otras y así se expenda la vegetación.

La innovación adaptativa trampa orgánica de sedimentos fue creada durante el trabajo, por su funcionalidad se protegió por CENDA (Centro Nacional de Derecho de Autor) con el No. 0480-0215. La misma consiste: en construir una cama de materiales de origen orgánico entre los espacios inter-diques de contención y las cárcavas que tradicionalmente se quedaban sin cubrir, se cubren con todo el material vegetal, ramas, hojarascas de la vegetación y otros remanentes orgánicos, en los cuales sesitúan encima lastre o contrapeso para evitar que sea removida o arrastrada del lugar por la escorrentía hídrica. Este método incrementa la complejidad estructural del lugar, manteniendo y mejorando las interacciones entre los componentes del medio.

Las estacas rompeolas consisten en hincar o enterrar estacas de notable porte en aquellos sitios donde la velocidad de la corriente de agua es impetuosa, la finalidad es evitar que colapsen los diques, estas se colocan de forma logarítmica o de triángulo con vistas a no crear filas lineales, de forma tal que vayan fragmentando y debilitando el flujo hasta minimizar la energía hídrica. Con frecuencias se combinaron con las zanjas de desviación con el propósito de disminuir caudal y mitigar la fuerza de la corriente en los sitios previamente evaluados.

La trampa de agua es un método ingeniero también diseñado y creado por el equipo de trabajo consistente en construir un foso de 3-5m^3 de capacidad con profundidad de 1-1.5m, ancho 1m y 3m de largo, se escogieron sitios y puntos donde por escorrentía se mueven volúmenes notables de agua, la finalidad de la inventiva es disminuir la fuerza hidráulica de la corriente, garantizar que un porcentaje del agua se infiltre a las capas profundas del suelo, así como permitir estancamientos de agua que funcionen, como bebederos artificiales a la fauna silvestre y hábitat a la fluvial, que es dependiente del agua para su ciclo de vida, anfibios, insectos, etc.

Se hicieron mediciones del pH en ríos corrientes, sistemaslóticos y lagunatos artificiales estancados, sistemaslénticos, se midió el pH en ocho sistemas de cada tipo, para la comparación de posibles cambios en esta variable física del agua, la época escogida fue la etapa estival en la que los sistemas fluviales tienen menor caudal, se utilizó el test estadístico no paramétrico U de Mann Whitney-Wilcoxon, porque los datos medidos no se acogieron a una distribución normal. Para otra variable como la pendiente cuyos datos tuvieron una distribución normal se utilizó el test paramétrico de Student.

Entre los materiales y tecnología se utilizaron GPS Magellan, estación meteorológica digital Kestrel-5000, grabadora Sony, cámaras fotográficas Fujifilm, brújulas, clinómetro, pH Chímetro ZX-620 y papel pH profesional o tornasol, set de jardinería con siete piezas (cultivador, transplantador, deshierbador, bieldito, cucharita, tijera de podar y serrucho), termohigrómetro digital, prismáticos, lupa, disco de Secchi, cámara trampa Bushnell HD densitómetro, cintas métricas y diámetricas, caja trampa, así como el SIG (Sistema de Información Geográfica con el Software MapInfo Professional®, etc.Las principales herramientas fueron: Motosierra Stihl 441, picos, palas, machetes, limas, mandarrias, barretas, spiochas y otras.

3. Resultados y discusión

3.1. Recuperación de suelos dañados e identificación y clasificación de procesos avanzados de erosión, como consecuencia de las prospecciones mineras del 1975 y 1997

Uno de los resultados con mayor relevancia de este trabajo, durante el tiempo en que se desarrolló en la antigua concesión minera Piloto, que según ambos estudios de prospección tiene más de 89 millones de toneladas de mineral (níquel, cobalto y hierro fundamentalmente) fue la recuperación de 41.4ha de paisajes lunares ocasionados por las mencionadas intervenciones, donde tuvo su mayor incidencia en los suelos del área. La idea de desconcesionarla y pasarla a reserva estatal se sustenta en preservar la mayor reserva de agua potable de Cuba y la cuenca del Caribe, encontrándose hoy en el interior de un importante Parque Nacional Alejandro de Humboldt, lo que se convierte en una gran fortaleza y oportunidad, el mismo ostenta desde el 2001 la categoría de Sitio Natural de Patrimonio Mundial otorgada por la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura).

De las 311 cárcavas corregidas el 36.7%, 115 clasificaron como grandes, de más de 1m de profundidad, 171 calificaron como medianas, el 54.9% y las restantes 26, el 8.2% eran pequeñas, hasta 30cm de profundidad**(Figura 2)**, se encontraron indistintamente en sitios llanos y con pendientes.En el área de estudio los procesos erosivos se manifestaron esencialmente de tres formas diferentes, pero muy interrelacionadas entre sí: (1) la erosión laminar o deluvial, (2)la erosión en surcos y (3) la erosión en cárcavas.

La erosión laminar o deluvial se ha manifestado con una fuerte remoción de las capas delgadas y uniformes del suelo, en la que tiene un papel preponderante la escorrentía superficial, creando en ocasiones cortezas de intemperísmos físicos, es decir, un área muy endurecida o costra, la cual ofrece considerable resistencia a la erosión laminar, sin embargo, el fuerte lavado no permite que las semillas que caen en el sitio germinen y puedan desarrollarse, para esto se necesitó de intervención humana **(Figura 3)**

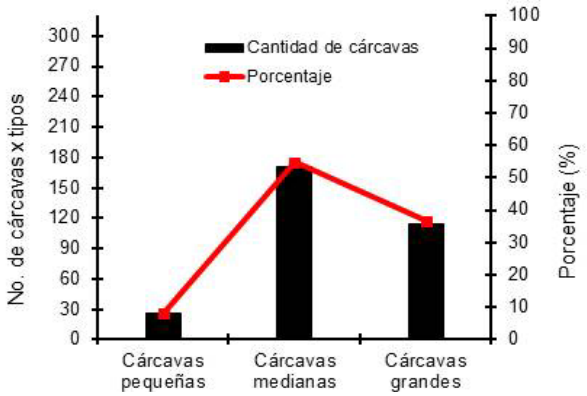


Fig. 2. *Tipos de procesos erosivos evaluados en el área. Fuente UPSA-CITMA Gtmo. 2017.*



Fig.3*. Manifestación de la erosión laminar, con presencia de una capa muy endurecida en la superficie. Foto. G. Begué-Quiala, 2015.*

La erosión en surcos se manifestó esencialmente en los sitios y áreas con pendientes superiores a 8^0 que quedaron desnudas sin vegetación, éstas a través del tiempo no tuvieron ninguna recuperación pasiva, ni tampoco se manejaron activamente con el fin de mejorar la resiliencia de los puntos afectados.

La erosión en forma de cárcavas es el proceso erosivo más frecuente en el área, se caracterizó por su magnitud, profundidad y amplitud, en muchos de los sitios afectados por este fenómeno, él cual es una derivación de la erosión en surco.Se pudo validar que su manifestación estuvo muy relacionada con las propiedades físicas y mecánicas del suelo, que es vulnerable, más la acción combinada de la corriente de agua con sus efectos de ablación y abrasivo caló el sustrato, hasta incrementar el socavamiento del lugar **(Figura 4).**



Fig. 4. *Manifestación de la erosión en cárcava, obsérvese la magnitud de la misma. Foto. G. Begué-Quiala, 2015.*

En el trabajo de restauración ecológica al que fue sometida esta antigua concesión minera, se pudo demostrar que los procesos erosivos hídricos fueron muy frecuentes y afectaron la estructura biofísica de algunos ecosistemas, plantea (Locatelli, 2011) que la restauración de ecosistemas forestales degradados aumenta las reservas de carbono como un elemento importante para mitigar el calentamiento global del planeta.

La erosión en estas tres dimensiones o tipologías, estuvo presente en grandes extensiones de obras ingenieriles: trochas, caminos mineros, así como en plataformas de perforación donde los suelos tuvieron fuertes afectaciones por las prospecciones mineras realizadas, no obstante, solo se afectó el 1.5% de su superficie, pero su capacidad de resilienciaen 45 años fue notablemente baja, este comportamiento tiene estrecha relación con lo que sucede con este recurso en el país, según (Planos *et al*., 2013) algunos estudios agroquímicos realizados en los últimos años en áreas de cultivos de importancia económica, han evidenciado que la mayoría de los suelos cubanos poseen bajos contenidos de nutrientes, una alta tendencia a la acidez y una drástica reducción de la materia orgánica. Estos resultados coinciden y dan fe de cuan frágil es este recurso a nivel nacional, así también lo corroboran estudios realizados por otros investigadores en distintas partes del país, por ejemplo, (Fraser*et al*., 2011).

Los procesos erosivos independientemente de la tipología en que se manifiesten, tienen una afectación directa sobre tres de los atributos más importantes de los ecosistemas, según (Noss, 1990), la composición, la estructura y función. Cuando se afectan la composición y la estructura en el medio, es evidente el daño a funciones claves, tales como la estabilización del suelo, la fijación de nitrógeno realizada por bacterias simbiontes con las leguminosas, entre otras. De todos los procesos que producen la destrucción del suelo y la pérdida de fertilidad, el más dañino y severo es la erosión.

El humus es la materia orgánica del suelo y existe una estrecha relación entre él y la fertilidad del mismo, la humificación constituye un proceso biológico, llevado a cabo por los microorganismos del suelo (megabiota: organismos de más de 2mm de diámetro y visibles a simple vista, mesobiota: organismos entre 0.1-0.2mm de diámetro y microbiota: los organismos más pequeños menos de 0.1mm de diámetro), también tienen una importante contribución al funcionamiento multitrófico del ecosistema (flujo de energía y mejoramiento de la calidad del suelo (Barnes *et. al*., 2014). Los principales factores formadores de suelos son: el clima, la roca madre, organismos vivos, el relieve y el tiempo (Bollo, 1982).

3.2. Incremento de la cobertura vegetal como resultados de la aplicación de algunos métodos silviculturales en el proceso de restauración ecológica

El método de reforestación de moteo de plantas con cepellón mejorado tuvo un por ciento de supervivencia del 95%, esto manifiesta el éxito del mismo, la mortalidad se comprobó en las plantas que se extraen con poco cepellón y el sistema radicular fue muy afectado, o sea, una mala manipulación de las herramientas de extracción en el proceso, si no se tiene en cuenta este aspecto, se incrementa la mortalidad.El mismo se aplicó con la modificación conocida, como cama orgánica, la misma facilitó crear un área de acumulación de material orgánico en el hoyo de plantación que ayuda a la nutrición de la planta, además mejora la penetración de las raíces y raicillas en el sustrato. El mismo permitió emplear plantas desde 0.20m de altura hasta 1.10m, no se transportaron desde grandes distancias, por lo tanto, estaban adaptadas a la ecología del entorno, aspecto que influyó positivamente en la alta supervivencia lograda.

La reforestación con herbáceas, usada como nodriza para crear cobertura vegetal en el suelo desprovisto de vegetación ha tenido un impacto positivo. Esencialmente se usaron helechos de diferentes especies, algunas orquídeas terrestres y gramíneas, establecidas en el área, con un porcentajede supervivencia que osciló entre el 95-100% es adecuado y eficaz para este tipo de ecosistema. Los helechos del género *Nephrolepissp*fueron los más efectivos con el 100% de supervivencia, se motea en este caso el macollo risomatoso completo, este luego comienza a generar nuevos brotes que sustituyen a los que mueren, al mismo tiempo que se expanden y generan biomasa para la formación del suelo. Estas plantas expanden sus estructuras reproductivas, los esporangios encargados de la función de perpetuar la especie, por lo que son eficientes para cubrir los espacios sin vegetación, estos helechos constituyen bioindicadores de acidez en el suelo, además heliófilos, es decir, que pueden estar a pleno sol.

Sin dudas de los cambios biofísicos globales que afectan hoy a la humanidad, el cambio de usos de suelos tiene un papel preponderante, de ellos el más impresionante por su devastación es la minería en sus diferentes modalidades.

La remoción del suelo, como un método de facilitación de la regeneración natural mostró resultados notables con algunas especies, por ejemplo,pino de Mayarí (*Pinuscubensis*) abey de monte malo, (*Jacararandaarborea*) *y manglillo*(*Bonnetiacubensis*), entre otras, estas tres especies son endémicas de los bosques y pluvisilvas del Norte de

Oriente, además importantes especies forestales del área. Poseen semillas muy pequeñas de bajo peso específico y aladas, el viento es su principal dispersor, cuando caen en el substrato desnudo tienen una fuerte germinación, por esa conducta se consideran colonizadoras primarias.

Otro método silvicultural muy utilizado en la restauración ecológica de estos ecosistemas fue el de siembra por vía directa, generalmente se usaron especies de plantas de semillas medianas y grandes, se sembraban directas en terrazas de plantación, entre las especies utilizadas estuvieron ocuje colorado (*Callophylumutile*), canistel salvaje (*Sideroxylonmoaense*), estas también endémicas del este de Oriente, así como el hicaco (*Chrysobalanusicaco*) autóctona (Begué-Quiala*et al*., 2016 y Begué-Quiala*et al*., 2017).

Desde el 2013 hasta el 2017 tiempo que duró este servicio, en los sitios afectados se plantaron por las diferentes vías, unas 160 000 plántulas de distintas especies con un porcentaje de supervivencia 92.3%, no se incluyen en esta cifra otro número considerable de plantas que fueron resultados de los trabajos de manejo de la regeneración natural asistida. Estas acciones permitieron un incremento de la cobertura vegetal real del área en 0.65% valor importante para el incremento del índice de boscosidad de la región y del país en general.

3.3. Mitigación del efecto destructor de la escorrentía superficial y la fuerza hidráulica en trochas y caminos abandonados

Se pudo comprobar que todos los sistemas ingenieros de trochas, caminos y plataformas de perforación realizados en la concesión minera.Los que no experimentaron espacial y temporalmente una recuperación pasiva de la cobertura vegetal del suelo, manifestaron impactos marcados por la acción de la escorrentía superficial y los procesos erosivos del suelo.

Los suelos que ocupan la antigua concesión minera Piloto en su totalidad son derivados de roca ígnea ultrabásica,se caracterizan por su poca profundidad, además tienden a ser compactos, por lo que tienen deficiencias con la retención y absorción del agua de lluvia, por lo que se escurren y lavan con facilidad, arrastrando todas las partículas, sedimentos y otros materiales vegetales disponibles. Las semillas de plantas que en ocasiones yacen en el mismo nunca llegan a germinar, debido al arrastre pluvial y la no acumulación de nutrientes en esos espacios.

La escorrentía superficial es un fenómeno que se manifiesta desde el momento en que el suelo deja de absorber la totalidad de la lluvia que cae sobre él. Las precipitaciones en exceso no se infiltran lo que ocasiona que circule por la superficie, en la meseta del El Toldo donde está ubicada la antigua concesión minera Piloto el promedio de pluviosidad al año está entre los 2800-4000L/m^2, es decir, es un área lluviosa, limítrofe con el circuito más lluvioso de Cuba, Boca de Jaguaní-Aguacate 3000-4500L/m^2 (Begué*etal*., 2019).

Los suelos del área por su naturaleza física son proclives a la escorrentía, tienen una estructura compacta poco permeable y poca profundidad. Se ha demostrado que la velocidad de absorción de agua en los suelos sin vegetación se reduce rápidamente cuando la lluvia cae, ya que forma una capa compacta y delgada en la superficie del mismo (Febles y Durán, 2006). Es evidente que estos suelos cumplen el mismo patrón de otros bosques tropicales del mundo, son frágiles, poco profundos y pobre en nutrientes, son fácilmente degradables y se erosionan bajo abundantes precipitaciones (Primack*et al*., 2001b).

En esta área es muy frecuente la aparición de la erosión subsuperficial, que está relacionada con la alta compacidad del suelo y la aparición con frecuencia de la corteza de intemperísmo físico, creando una superficie muy endurecida, esta manifestación de erosión es típica de los suelos de la agrupación ferralítica y ferrítica (fundamentalmente los subtipos concrecionarios y laterizados), que se originan sobre las rocas ultrabásicas del tipo serpentinitas (Febles y Durán, 2006). En ocasiones en muchos lugares se forman un sistema de túneles de 200-800m de longitud, atraviesan diferentes porciones de bosques y corren verdaderos ríos subterráneos en épocas de intensas lluvias. Existen puntos donde el agua fluye hacia la superficie en forma de manantial ahí se crean cárcavas de gran dimensión.

Se destaca que el efecto destructor de la escorrentía superficial se logró mitigar con la aplicación de las medidas antierosivas, entre las que se encontraron: la construcción de diques de contención con madera rolliza, piedras, la construcción de canales de desviación, fortalecidas todas con la trampa de agua, la trampa orgánica de sedimentos y las estacas rompeolas.

Fomento de sitios y áreas biológicamente activas para incrementar la formación de humus y detritus en el suelo.

El papel clave que desempeñan los microorganismos en el proceso formador del suelo en los sistemas de conservación y protección edáfica no se puede minimizar, además la presencia de la vegetación, con su sistema radicular y su constante aporte de biomasa neutraliza los procesos erosivos y mantiene o incrementa la fertilidad del mismo, comprobado según (Guarat *et al*., 2018) en estudios realizados con frutales en el Parque Nacional Alejandro de Humboldt: demostró que la actividad de la fauna del suelo mejoró notablemente la productividad y fertilidad de los de los suelos evaluados.

La trampa orgánica de sedimentos resultó una inventiva utilizada por primera vez en esta área tuvo la finalidad de fungir como un filtro del flujo hídrico, mitigó el ímpetu de la corriente de agua que corre por la zanja, incrementó la retención y captura de los sedimentos, que anteriormente, solo se hacía en el dique de contención, contribuyó a acelerar en todo el espacio cubierto la descomposición biológica con una fuerte actividad de organismos y microorganismos del edafón.

Las trampas orgánicas de sedimentos mejoraron considerablemente el proceso de bioingeniería natural del suelo en el sitio, al aumentar la presencia de animales del suelo, constructores de hábitat y descomponedores de materia orgánica, que contribuyeron a activar el ciclo biogeoquímico de la naturaleza. Además incrementó la humedad del suelo *in situ*, disminuyendo la resequedad excesiva, que afecta a la fauna edáfica.Al mismo tiempo que se formó en ese espacio una zona activa biológicamente para la formación de humus y detritus a partir de la descomposición del material vegetal, estos componentes son importantes para la capa vegetal del suelo y la nutrición de las plantas.

Esta inventiva de la trampa orgánica de sedimentos arrojó un grupo de ventajas *in situ*:

- Se aprovecha material marginal del bosque y otros remanentes *in situ.*
- Es económica, porque sus costos de construcción son muy bajos y no usa ningún componente de infraestructura gris (soluciones de ingeniería que incluyen materiales e insumos de construcción).
- Se puede aprovechar todo tipo de material orgánico y biodegradable sin riesgos ambientales.
- Es un catalizador para desarrollar e incentivar la actividad de la fauna edáfica en el sitio.
- Protege los diques de contención del derribo por la fuerza hidráulica de la corriente de agua, etc.

Los árboles modifican el ambiente a través de su propia biomasa viva o muerta**(Figura 5)**, son considerados ingenieros del ecosistema, en este caso ingeniería autógena (Lavelle*et al.*, 1997).Con relación a aspectos importantes relacionados con el aprovechamiento y uso correcto de los suelos, se coincide con (Jarvis*et al*., 2011), ellos plantean que mejorar el uso de la tierra y las prácticas de manejo es una necesidad urgente para poder detener la degradación edáfica, restaurar los suelos ya perjudicados, mejorar la fertilidad y la productividad de los mismos.

Durante el proceso de estabilización de las cárcavas los espacios y otros pequeños intersticios de la misma se rellenan por sedimentación, desde ahí se pueden desarrollar comunidades biológicas de plantas y microorganismos del suelo, que van a facilitar el desarrollo de la bioingeniería natural en el sitio. Si el efecto de ablación y abrasivo de la corriente de agua en el interior de la cárcava se logra mitigar, ésta nunca se vuelve a rellenar de tierra, no obstante, desde ese mismo lecho, que ya posee cierta acumulación de sedimentos y suelos se desarrolla una nueva comunidad biótica **(Figura 6).**



Fig. 5. *Aplicación en algunas cárcavas del método de la trampa orgánica de sedimentos con contrapesos. Foto. G. Begué-Quiala, 2016.*



Fig. 6. *Esta es una cárcava profunda que se estabilizó y neutralizó, ya experimenta una recuperación de la vegetación desde su lecho. Foto. G. Begué-Quiala, 2014.*

Consecuencias asociadas en la violación de normas técnicas, por lo que no se construyeron las obras de fábricas sobre ríos y afluentes durante los estudios de prospección minera

Los resultados de los estudios realizados en las lagunas de aniego, creadas como consecuencia de la ausencia de las obras de fábricas sobre los ríos y arroyos han provocado en ellas un cambio del pH, con tendencia a hacerlo ligeramente ácido (Tabla 1).

Tabla I. Estadística inferencial y análisis del pH en diferentes sistemas fluviales evaluados

Sistemas fluviales	N	Media	Varianza	Desviación estándar	U	Grados de libertad	P
Afluentes corrientes y ríos (Sistemas lóticos).	8	8.15	0.05	0.22	42.0	15	<0.05
Lagunatos y estancamientos de agua (Sistemas lénticos).	8	5.85	0.09	0.31			

Se encontraron diferencias significativas (U=42, p<0.05), en el pH entre los dos tipos de sistemas fluviales, los ríos corrientes y las lagunas estancadas. Se comprobó que la tendencia de ser ligeramente ácido en los lagunatos, está atribuido a la gran descomposición de material biológico almacenado en esos sitios, que fueron bosques naturales. Es oportuno destacar que en muchos puntos de la concesión existen parches de la vegetación con capas de hojarascas de 1.10 hasta 1.20m de espesor (Begué-Quiala *et al*., 2013), sin embargo, en los lugares con considerable acumulación de biomasa que subyacen con agua desde entonces, esta situación provocó fuerte modificación en las condiciones físicas y químicas del agua; la principal causa que originó este fenómeno es, el no haber construido las obras de protección sobre estos pasos durante el trabajo de prospección minera, hay evidencias que en los trabajos de 1975 se construyó una obra, todavía persisten sus ruinas, en las labores desarrolladas en 1997 no se construyeron obras de fábricas, constituyendo una violación a la Licencia Ambiental otorgada.

Los pantanos tienden a acidificarse al avanzar la estación seca; (Holden y Green, 1960) observaron en particular que el pH es más bajo en los pantanos que en los ríos en esa época, máxime cuando se incrementa vegetación en descomposición en el fondo de la mayoría de las aguas estacionarias de la planicie inundable, con frecuencia hay ligeras diferencias respecto a los valores del pH.El pH óptimo de las aguas debe estar entre 6,5 y 8,5, es decir, entre neutra y ligeramente alcalina, el máximo aceptado es 9. Las aguas de pH menor de 6,5 son corrosivas debido al anhídrido carbónico, ácidoso sales ácidas que tienen en disolución (Chirinos *et al*., 2007). De todas formas que el pH en las aguas corrientes está en el rango de óptimo, no sucedió así con las estancadas por lo explicado anteriormente.

La transparencia del agua medida con el disco de Secchi se comportó en época sin lluvia con el 100% y en momento de lluvia en un 65%, lo que puede presumir que son sistemas fluviales muy limpios y de aguas cristalinas, a pesar de los daños ocasionados por las prospecciones mineras del pasado. Este resultado revela que a pesar de persistir los impactos residuales y procesos erosivos, así como pequeños parches de paisajes lunares es baja la aportación de sedimentos a los sistemas fluviales en la meseta.

La pendiente muestreada y medida osciló en un rango de amplitud de (0-20^o) y una media de 9.4^o, por lo que califica con grado de dificultad bajo, según los criterios utilizados según (Cinfuentes *et al*., 1990) (Tabla 2).

Tabla II. Rangos establecidos para establecimiento del grado de dificultad según gradiente de la pendiente

Pendiente	**Grado de dificultad**
$<10^o$	Bajo
10^0-20^0	Medio
$>20^0$	Alto

Fuente: Cinfuntes et al., 1990

Independientemente que la pendiente en los sistemas evaluados no pasó de 20 grados y resultó ser igual en ambos extremos impactados (T=0.02, g.l=19, p>0.05), en las porciones este-sur-este y norte-nor-este, se evidenció una alta vulnerabilidad a la erosión en los puntos muestreados, a pesar de ser llanos o tener cierto grado de pendiente **(Figura 7)**. Se le atribuye esa alta vulnerabilidad erosiva a otras características de los suelos y su origen litológico, por ejemplo, los que se

originan en rocas ultrabásicas del tipo serpentinitas, muy frecuente en el área estudiada, así como a otros criterios asociados y referidos en acápites precedentes.

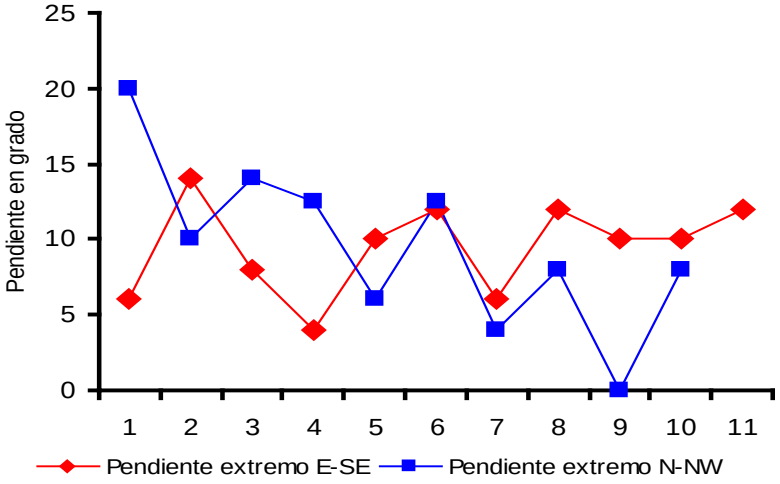


Fig. 7*. Comportamiento de la pendiente en los sistemas afectados.*

Este comportamiento revela que el área afectada en la concesión se corresponde con una planicie relativamente llana, no obstante, los sitios de mayores pendientes, laderas, elevaciones y accidentes abruptos del terreno (se tenían propuestas en caso de la explotación de mantenerse como islas de biodiversidad), por lo tanto, no fueron afectadas, también se conjuga el factor climático, esta zona es una de la más lluviosa del país. Este resultado reveló que cualquier manejo minero o de otra índole del tipo intensivo en el área, pone en peligro la integridad física de la cuenca del Toa y otras que nacen en esta altiplanicie y corren hacia la parte Norte, entre las más importantes están el Cayo Guam, en Moa, Quesigua, Punta Gorda y otras subcuencas, el Jaragua, Jaguaní, Piloto con sus afluentes tributarios y la cuenca del Jiguaní en Baracoa.

Conclusiones

Se pudo comprobar que con los métodos de conservación e ingenieros aplicados en el área de estudio se recuperaron 41.3ha de suelos degradados en los que se cuantificaron unas 311 cárcavas identificadas y clasificadas en tres tipos distintos, pequeñas, medianas y grandes, en el 100% de ellas las soluciones fueron basadas en naturaleza y métodos costo-eficientes con una economía notable del presupuesto y una alta eficiencia económica.

Los métodos silviculturales clásicos y tradicionales aplicados en la reforestación de sitios afectados y paisajes lunares tuvieron notable ecoeficiencia, por lo que se logró un incremento de la cobertura vegetal al 0.65%, en algunos se aplicaron innovaciones que coadyuvaron a lograr un índice global de supervivencia del 92.3%, catalogado satisfactorio.

La implementación y la generalización de las tres inventivas adaptativas: trampa orgánica de sedimentos, trampa de agua y las estacas rompeolas en los sistemas ingenieros construidos para mitigar el efecto devastador de la erosión hídrica, contribuyeron a la recuperación efectiva del suelo como un sólido baluarte para la política de conservación y manejo de los recursos naturales del Parque Nacional Alejandro de Humboldt.

Los sitios biológicamente activos se incrementaron notablemente en todos los puntos donde se aplicaron métodos de conservación e ingenieros que facilitaron la bioingeniería del suelo con la presencia de mayor cantidad de microorganismos edáficos, uno de los cinco componentes importantes para la formación del suelo.

La violación de las normas técnicas establecidas en la Licencia Ambiental otorgada en 1995 y la no construcción de las obras de fábricas sobre los ríos y afluentes produjeron la aparición de sistemas fluviales artificiales, en este caso los lagunatos de agua estancada (léntico) con pH de 5.85 ligeramente ácido.

Agradecimientos

Se le agradece con toda humildad y sinceridad a los cuatro Departamentos de Conservación del Parque Nacional Alejandro de Humboldt (PNAH), ellos son: Cupeyal del Norte, Ojito de Agua, La Melba y Baracoa, se hace mayor énfasis a La Melba, el cual se echó encima el 80% del tiempo de trabajo de campo. También se agradece al Departamento de Rehabilitación Minera de la Subdirección de Minas de la fábrica de níquel Comandante Pedro Sotto Alba (MoaNickel S.A).

Referencias bibliográficas

Barnes, A.D., Jochun, M., Mumme, S.,Haneda, N.F. Farajallah, A., Wirdato, T.H., Brose, U. **2014**. Consequences of tropica land use for multitrophic biodiversity and ecosystem functioning. NatureCommunications 5:5351.

Begué, G., Shagarodsky, T., Sánchez, Y., Delgado, J.L., Caraballo, O., Rodríguez, G. y Pérez, H.M. **2019.** Especies infrautilizadas de la agrobiodiversidad en la Reserva de Biosfera Cuchillas del Toa, Guantánamo-Holguín. *Revista Agrotecnia de Cuba*, 43 (1) enero-junio: 11-23.

Begué-Quiala, G., Delgado-Labañino J. L., Sánchez-Rodríguez Y., Peña-Hernández L. y Joubert- Martínez Y. **2017**. El hicaco (*Chrysobalanusicaco* L.) frutal infrautilizado: su rol en la protección de suelos y otras potencialidades. *Revista. Hombre, Ciencia y Tecnología* ISSN: 1028-0871 Vol. 21 No.3 julio-septiembre pp. 67-75, 2017.

Begué-Quiala, G. Jorge L. Delgado Labañino, Alejandro González Álvarez y Hayler M. Pérez Trejo. **2016.** Biología y manejo adaptativo de *Sideroxylonmoaense* (Bisse& J. E. Gut.) J. E. Gut. (Sapotaceae), recurso fitogenético endémico del nororiente de Cuba. *Revista Agrotecnia de Cuba*. ISSN impresa: 0568-3114, ISSN digital: 2414-4673 y http:www.ausuc.co.cu

Begué-Quiala, G. y J. A. Larramendi Joa. **2013.** Parque Nacional Alejandro de Humboldt la naturaleza y el hombre. Ediciones Polymita, pp. 175.

Bollo Manent, M. **1982**. *Compendio de geografía de los suelos*, La Habana, MES, Universidad de la Habana, Facultad de Geografía, pp.338.

Cifuentes, M., Alpizar, F., F. Courrau, J. Falck, L. Jiménez, R. Ortiz, P. Rodríguez, V. Romero, J. C. Tejeda. **1990**. Capacidad de Carga Turística de la Reserva Biológica Carara. Informe de Consulta, Servicio de Parques nacionales/ CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Chirinos, A., A. Guaremas y M. Sánchez. **2007**. Laboratorio de Análisis de Agua. Departamento de Química. Instituto Universitario de Tecnología, Alonso Gomero. Coro-Falcón, Venezuela.

Febles González, J. F. y José L. Durán Álvarez. **2006.** *Manual de Erosión y Conservación de Suelos*, Editorial Félix Varela, La Habana, pp. 447.

Fraser, T., Vantour, A. y Mustelier L.A. **2011.** Efectividad del empleo de la labranza conservacionista y la fertilización órgano-mineral enla producción de tomate y maíz. *Revista Agrotecnia de Cuba* Volumen 35 No.2: 47-54.

Guarat-Planche, R.F., Begué-Quiala, G., Villaverde-López, R., Gámez-Diez, J., y Correa-López P., 2018. Evaluación de plantaciones frutales en áreas del Parque Nacional Alejandro de Humboldt. *Revista Hombre, Ciencia y Tecnología*. 22(1): 16-23 enero-marzo. ISSN: 1028-0871.

Hernández, A., Morales, M., Ascanio, M.O., Borges, Y., Vargas, D. y Fundora, A. **2011.** Degradación de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados y sus indicadores, de la llanura roja de la Habana. *Revista Cultivos Tropicales* pp. 10-25.

Holden M. J. y J. Green. **1960**. The hydrology and plankton of river Sokoto. J. anim. Ecol.

Jarvis, D. I., C. Padoch y H. D. Cooper, (Eds.).**2011**. Manejo de la agrobiodiversidad en los ecosistemas agrícolas., pp. 501.

IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza), **2016.** Nature-based Solutions to address global societal challenges. E. Cohen-Shacham, G. Walters, C. Janzen, S. Maginnis (eds.).

Lavelle, P., D. Bignell, M. Lepage, V. Wolters. P. Roger. P. Ineson, O. W. Heal y S. Ghillion. **1997.** Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. EuropeanJounal of SoilBiology 33: 159-193.

Locatelli, B. **2011.**Forest and climate Change in Latin America: Linking adaptation and mitigacion. Forets, [En línea] 2 (1), 431-450

Pérez Jiménez, J. M. **1990.** Mapa de erosión actual de los suelos de Cuba a escala 1:250 000. Instituto de Suelos. MINAG, pp.19.

Planos Gutiérrez, E. Rivero Vega, R. Guevara Velazco. **2013**. *Impacto del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba*. AMA, INSMET, GEF y PNUD, pp. 430.

Primack, R. y Massardo F. **2001a**. Restauración ecológica. En: Primack, R, Rozzi, R., Massardo, F., y Feinsiger P. (eds.)) Fundamentos de conservación biológica. Perspectivas latinoamericanas. Fondo de Cultura Económica, México, pp. 797.

Primack, R., Massardo F., Rozzi, R. y Feinsiger P. **2001b**. Destrucción del hábitat. En: Primack, R, Rozzi, R., Massardo, F., y Feinsiger P. (eds.) *Fundamentos de la conservación biológica*. Perspectivas latinoamericanas. Fondo de la Cultura Económica, México, pp. 797.

Noss, R. T. **1990.** "Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach", Conservation Biology: 355-364.

Villaverde, R., Begué, G., Giraudy, C., Pérez, H.M, Ubals R., Acebal, R.,Joubert, Y., Hernández, N., Correa, P., Sánchez, L.N., Medina, A., Guarat, R.F., Balón. C.Y, Maury, O., Rodríguez, G.Matos, R., Delgado, J.L., Imbert J.R., y López, J.B. **2014.** Plan de manejo quinquenio 2014-2020, Parque Nacional Alejandro de Humboldt. Unidad Presupuestada de Servicios Ambientales Alejandro de Humboldt. Delegación Territorial del CITMA Guantánamo, Cuba, pp. 90.

Acerca de los autores:

Gerardo Begué Quiala: Biológo, Investigador Agregado de la Unidad Presupuestada de Servicios Ambientales (UPSA) Alejandro de Humboldt de la Delegación Territorial del CITMA de Guantánamo, donde se desempeña como subdirector técnico. Máster en Ecología y Sistemática Aplicada. Con 23 años de experiencia profesional en la institución con más de 18 artículos científicos en editoriales nacionales e internacionales, autor y coautor de algunos libros científicos de última generación, ha participado en más de 50 expediciones científicas de campo en diferentes sitios del país he sido jefe de proyectos de I+D+I en la entidad.

Jorge Luis Delgado Labañino: Especialista Ambiental, y Jefe del Departamento de Conservación La Melba, perteneciente al Parque Nacional Alejandro de Humboldt, graduado de ingeniero forestal con 15 años de experiencia profesional. Numerosas publicaciones de artículos científicos en coautoría con otros destacados investigadores, ha participado en la coautoría de capítulos de algunos libros científicos y participado en varios proyectos de I+D+I de mi institución y otras instituciones científicas nacionales, participa en expediciones científicas en el Norte de Oriente (Holguín y Guantánamo).

Tereza Hernández Columbié: Doctora en Ciencias Técnicas, profesora del Departamento de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín. Trabajó 25 años en las empresas mineras de Moa como Jefa de Proyectos de rehabilitación de áreas minadas y presas de colas. Actualmente trabajo las líneas investigativas de la gestión de los riesgos geológicos y tecnológicos, rehabilitación de suelos degradados y cierre de minas. Tengo 27 años de experiencia profesional en la minería, poseo 25 publicaciones en editoriales de alto impacto nacional e internacional. Actualmente dirijo dos proyectos nacionales sobre cierre de presas de colas y riesgos inducidos por el cambio climático.