

INFORME CIENTÍFICO TÉCNICO

PROGRAMA:

**Cambio Climático en Cuba: Impactos, Mitigación y
Adaptación**

PROYECTO:

**Incidencia del Cambio Climático en Áreas Vulnerables
a la Desertificación de las Tierras en Cuba**

**Instituto de Geografía Tropical
Junio 2015**

Índice

Contenido

Resumen.....	3
I. Introducción	4
I.1- La Desertificación de las Tierras en el Panorama Mundial y en Cuba	7
I.2- El cambio climático a nivel global y en Cuba	10
I.2.1- Cambio climático observado a nivel global.....	10
I.2.2- Cambio climático a nivel global en el futuro.....	12
I.2.3- Cambios observados en el clima de Cuba.....	14
Objetivo general.....	15
Objetivos específicos:.....	15
II- Materiales y métodos	15
II.1- Materiales	15
II.2- Metodología utilizada para el diagnóstico de la desertificación	16
I.2.1- Etapa de Organización	16
I.2.2- Etapa de Caracterización.....	18
I.2.3- Etapa de Análisis de Resultados y Validación de Campo	28
III- Resultados alcanzados	33
III.1- Mapa de áreas vulnerables a la desertificación de las tierras en Cuba ante el cambio climático	33
III.2- Mapa de áreas vulnerables a la desertificación ante el cambio climático por la cobertura de las formaciones vegetales de Cuba a escala 1:250 000	38
III.3- Creación de bases de datos en ambiente de Sistema de Información Geográfica para la determinación de las áreas vulnerables a la desertificación de las tierras en Cuba.....	40
III.4- Medidas preventivas alternativas de manejo para la ADAPTACIÓN	42
IV- Conclusiones y recomendaciones.....	44
Conclusiones	44
Recomendaciones	44
V- Referencias bibliográficas	46

RESUMEN

En el ámbito internacional se reconoce la urgente necesidad de abordar el diagnóstico de los procesos de desertificación desde una perspectiva integradora, capaz de analizar el estado de los recursos naturales y de valorar las dimensiones socioeconómicas. El presente trabajo ofrece los resultados de las investigaciones realizadas por especialistas de varias instituciones del CITMA. El estudio de áreas vulnerables a la desertificación es abordado a partir de la integración de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la Teledetección, la Evaluación Multicriterio (EMC) y otras técnicas permitió mediante un Sistema de Información Geográfica, crear las capas temáticas necesarias para generar mapas de áreas vulnerables a la Desertificación a escala 1: 250 000, para los escenarios ECHAM4_A2_71_99, ECHAM4_A2_41_70, ECHAM4_A2_11_40, ECHAM4_A2_61_89, ECHAM4_B2_71_99, ECHAM4_B2_41_70, ECHAM4_B2_11_40, ECHAM4_B2_61_89, HadCM3P_A2_61_89 y HadCM3P_A2_71_99. Los resultados obtenidos en los mapas temáticos permiten a los decisores determinar las áreas con grados de vulnerabilidad a la desertificación y poder realizar estudios más detallados en los lugares de mayor interés, para así aplicar las medidas de adaptación que correspondan.

PALABRAS CLAVES: Diagnóstico, Desertificación, Teledetección y SIG

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad no hay foro internacional donde el tema de la degradación ambiental y el cambio climático, no tengan un espacio significativo. Esto se debe a las incuestionables afectaciones que tienen los recursos climáticos, hídricos, edáficos y de la biodiversidad, que son los síntomas o manifestaciones de un gran dilema en el cual subyace como causante principal, la desmedida explotación de la naturaleza propiciada por el excesivo consumo, sin establecer las adecuadas medidas de protección (FAO, 2010).

La desertificación como un proceso global de deterioro ambiental de las tierras secas que además de afectar al medio biofísico, ocasiona un impacto importante en la vida humana, al tiempo que los grupos sociales son vistos como agentes que contribuyen a aumentar este proceso. En el ámbito internacional se reconoce la urgente necesidad de abordar la medición de los procesos de desertificación desde una perspectiva integradora, capaz de analizar el estado de los recursos naturales y de valorar el peso de las dimensiones socioeconómicas.

El vínculo entre degradación, desertificación y asentamientos humanos parece ser un concepto de aplicación general, y la FAO (1993), propone la definición siguiente para expresarlo con mayor claridad: "Conjunto de factores geológicos, climáticos, biológicos y humanos que provocan la degradación de la calidad física, química y biológica de los suelos de las zonas áridas y semiáridas, poniendo en peligro la biodiversidad y la supervivencia de las comunidades humanas". En este sentido a la degradación de las tierras la define como la reducción o pérdida de la productividad biológica o económica de las tierras por causas antrópicas y causas climáticas

La desertificación es un problema que afecta a los cinco continentes; esta se define por la UNCCD, (2004) como la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y sub-húmedas secas; resultante de diversos factores, entre ellos, las variaciones climáticas y las actividades humanas.

En el ámbito internacional se consideran tierras áridas, semiáridas y subhúmedas secas, aquellas en las que se registra un equilibrio negativo entre el nivel de precipitaciones anuales y las pérdidas de humedad por evapotranspiración. Esta relación se conoce como "Índice de Aridez", y sus valores oscilan entre 0.05-0.65 y ha sido utilizado para establecer las áreas vulnerables o de riesgo a la desertificación en el Atlas Mundial de este flagelo (PNUMA, 2002). Además, es posible que algunas tierras ubicadas hoy en zonas subhúmedas húmedas, experimenten también incipientes procesos de desertificación como consecuencia de eventos recurrentes de sequía moderada o severa, por esta razón se hace necesario evaluar la ocurrencia del proceso en distintos escenarios de cambio climático.

La desertificación como resultado de la variabilidad climática y del cambio climático, puede ser responsable de la devastación de grandes superficies terrestres del planeta con enormes consecuencias para la vida humana (Ibáñez, 2006; PNUD, 2007).

En realidad, en las últimas décadas en el ámbito mundial los procesos de desertificación aumentaron de forma acelerada con implicaciones ambientales y socioeconómicas, en particular, para América Latina y el Caribe, convirtiéndose en un tema actual y crucial para los países de esta región.

El archipiélago cubano no escapa a los fenómenos de degradación y desertificación de las tierras que ocurren en el ámbito mundial. En el país, grandes extensiones de tierras están afectadas por la erosión, salinidad, compactación y baja fertilidad, sobre todo las ubicadas en zonas secas. Este problema ambiental limita en la actualidad, con diversas manifestaciones, el desarrollo sostenible de la agricultura y otros sectores de la sociedad cubana.

Por su parte el cambio climático en los últimos años ha cobrado gran importancia, no solamente por las causas que originan este fenómeno, sino principalmente por el impacto que puede causar al ser humano.

La preocupación a escala mundial por el incremento de los gases de efecto invernadero en las concentraciones de la atmósfera en una proporción tal, que ocasionaría el reforzamiento de este efecto y el consiguiente aumento de la temperatura, produciendo lo que se conoce como calentamiento global, el cual se está evidenciando en las últimas décadas a partir de la ocurrencia de eventos de temperaturas extremas y de sequías que se han mantenido dentro del promedio de 15 a 17 por año (Ramírez et al., 2015).

Según Paz Castro, (2010) se considera como cambio climático toda variación del clima a lo largo del tiempo, por efecto de la variabilidad natural del clima o como resultado de las actividades humanas. Este concepto difiere en parte del concepto de cambio climático utilizado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, que se refiere sólo al cambio debido a las actividades humanas.

Las estrategias fundamentales de respuesta para afrontar el cambio climático según ISMET, (2008) son la mitigación y la adaptación.

La primera se refiere básicamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y a la absorción de estas emisiones a través de la captura biológica, como es la absorción del dióxido de carbono por sumideros como los bosques, o la captura geológica en depósitos subterráneos u oceánicos.

A la segunda conoce como el proceso de ajuste de los sistemas humanos o naturales en respuesta a estímulos climáticos actuales o esperados, para atenuar los efectos perjudiciales o aprovechar los que resulten beneficiosos; en este sentido se conoce como capacidad de adaptación a la capacidad de estos sistemas para ajustarse respondiendo a tales estímulos.

La vulnerabilidad es el “grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático, y en particular la variabilidad climática y los fenómenos extremos” (IPCC, 2001a).

Cabe destacar, que según la FAO (2006), la vulnerabilidad es el grado de resistencia, exposición o susceptibilidad (física, social, cultural, política, económica, etc.), de un elemento o de un conjunto de elementos que se encuentren en riesgo (vida humana, patrimonio, servicios vitales, infraestructuras, áreas agrícolas, etc.), como resultado de la ocurrencia de un peligro, expresándose en porcentaje. Conceptualmente, es la facilidad con que un elemento expuesto a un fenómeno peligroso sufre daño por exposición frente a dicho peligro.

En Cuba, en el glosario de términos de la Defensa Civil, se define el concepto de vulnerabilidad a los desastres como la predisposición a sufrir pérdidas o daños, de los elementos bióticos y abióticos expuestos al impacto de un peligro de determinada severidad (EMDC, 2002).

El IPCC define el impacto climático como “las consecuencias del cambio climático en sistemas naturales o humanos”(IPCC, 2001b). Son impactos potenciales los que pueden ocurrir ante un cambio proyectado en el clima, sin tener en cuenta las medidas de adaptación y residuales los que pueden ocurrir después de la adaptación (Paz Castro, 2010). Los tipos de impacto variaran de manera particular a cada una de las localidades que conforman el paisaje según sus características geográficas y/o socio-económicas.

Según Ramírez et al., (2015), existen principalmente dos tipos de impactos, los globales y locales. Los globales son aquellos que fungirán desde el ámbito global, tal como el aumento de la temperatura y la variación en la precipitación. Y los locales son aquellos particulares de cada localidad, y que determinan las actividades de los habitantes, tales como la geografía, las actividades económicas, el desarrollo social, etc.

Los impactos o efectos son el resultado de la combinación de una amenaza y la vulnerabilidad que presente el sistema en el cual suceda un evento. En ese sentido se puede decir que la amenaza es un peligro que causa una emergencia, y la vulnerabilidad a esa amenaza causa un desastre.

Un concepto fundamental en el análisis de riesgos de la desertificación ante el cambio climático es justamente el de vulnerabilidad. Desde hace algunas décadas, pero con mayor intensidad en las dos últimas, se ha manifestado un gran interés por analizar y medir los efectos del cambio climático en áreas con proceso de desertificación.

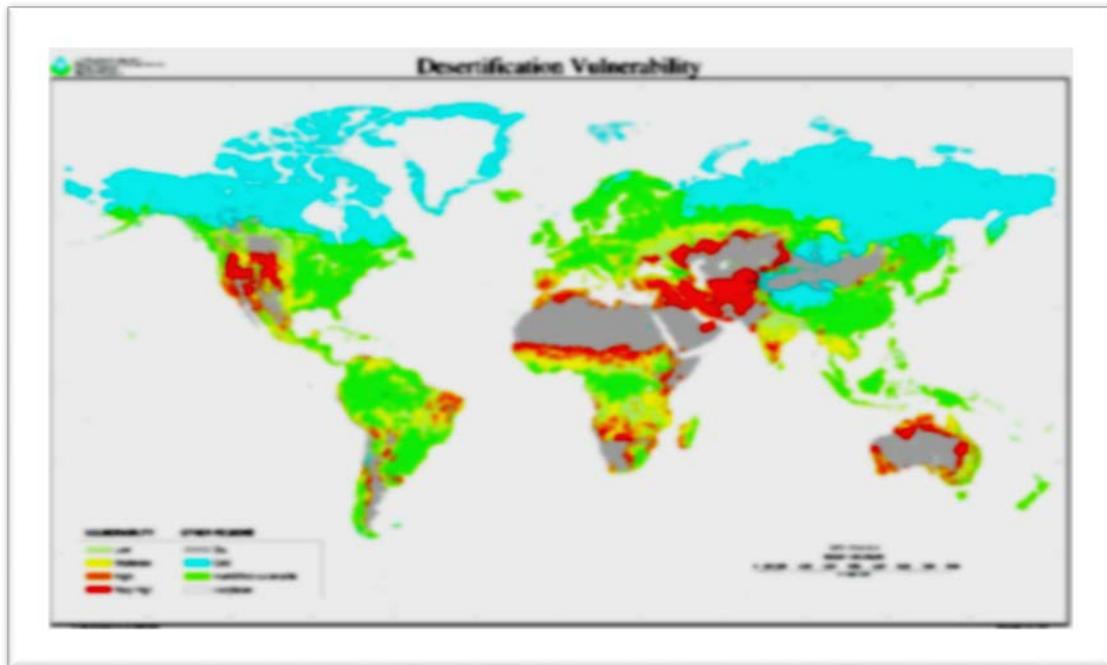
Por lo anterior, la tarea de identificar la vulnerabilidad de áreas en proceso de desertificación por el cambio climático es un paso obligado en Cuba para implementar medidas efectivas, que atenúen el paso hacia estos procesos negativos y ayude a los decisores en solución de un problema tan complejo como es la desertificación, a través de su observación, descripción y evaluación de su estado actual; con el objetivo de formular políticas adecuadas para cada caso.

I.1- LA DESERTIFICACIÓN DE LAS TIERRAS EN EL PANORAMA MUNDIAL Y EN CUBA

Existen evidencias que demuestran que los desiertos se produjeron progresivamente hace unos 8000 años. Las laderas y valles del Líbano, Siria, el litoral de Egipto y Túnez, hace 2000-3000 años estaban cubiertos de una rica vegetación. La tala de árboles, la destrucción de la vegetación forestal y herbácea, el pisoteo de los pastos por el ganado y la erosión causada por el agua o el viento, transformaron esas regiones en semidesiertos o desiertos. Una gran parte del desierto de Sonora, en Arizona, y casi la totalidad del desierto de Nuevo México, deben su existencia al pastoreo excesivo practicado en los últimos siglos, al igual que las vastas extensiones de tierras áridas del Asia Central (Kovda, 1977; CITMA, 2000). Estos desiertos o tierras desertificadas se extienden por el mundo (Ver Figura 1) y amenazan el desarrollo sostenible de la humanidad entera (Breckle, 2008).

La desertificación es una ruptura del frágil equilibrio que permitió el desarrollo de la fauna, de la flora y del ser humano en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Esta ruptura de los equilibrios físicos, químicos y biológicos que lo mantenían en vigor desencadena una serie de procesos autodestructivos en los que intervienen todos los elementos que antes favorecían los procesos vitales. Así, la vulnerabilidad de los suelos a la erosión, la reducción del nivel de las capas freáticas, la menor regeneración natural de la vegetación y el empobrecimiento de los suelos son las consecuencias inmediatas de la desertificación y al mismo tiempo causas de la autoalimentación de este proceso.

Por este motivo, las consecuencias de la desertificación son extremadamente graves para las poblaciones pobres de los países en desarrollo. De hecho, al limitar las posibilidades que brinda la naturaleza, la desertificación reduce la producción y le da



un cariz cada vez más aleatorio. Obligada a resolver lo posible cuanto antes, la población hace lo que puede para sobrevivir, y esta actitud lamentablemente contribuye a incrementar los procesos de la desertificación y a impedir cualquier clase de desarrollo.

Figura 1. Áreas Vulnerables a la Desertificación en el Ámbito Mundial. Fuente: (Breckle, 2008).

Todas estas consecuencias debilitan aún más las economías de los países en desarrollo, sobre todo, cuando la desertificación abarca la mayor parte del territorio. Los países africanos de las zonas áridas, semiáridas y secas Subhúmedas son especialmente vulnerables a la desertificación y los que más sufren sus consecuencias.

La desertificación en muchos países provoca también una modificación en sentido positivo del comportamiento. Las mujeres se enfrentan con nuevos problemas generados por la ausencia de los hombres que han emigrado en busca de trabajo; y los jóvenes aspiran por su parte a una vida más fácil y con más posibilidades de futuro.

La lucha contra la desertificación y la sequía es parte de esa batalla para proteger las tierras, la vegetación y las comunidades de la degradación, así como aumentar los indicadores de la seguridad alimentaria. En tal sentido, la Conferencia de Naciones Unidas sobre medio Ambiente y Desarrollo, conocida como Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en 1992 propuso la creación de la Convención

Internacional de Lucha Contra la Desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación (CITMA, 2000, 2006).

Como primer paso la FAO, (2005) recomienda que todos los países -99 en total-, según las cifras del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2004), en cuyo territorio haya tierras áridas, semiáridas y subhúmedas secas propensas a ser afectadas por la desertificación, tomen conciencia de este fenómeno que repercute en la vida de alrededor 1000 millones de seres humanos que viven en una superficie aproximada que abarca entre 3500 y 4000 millones de hectáreas del mundo, y representa aproximadamente un 30 % de las zonas continentales del planeta.

Es conocido que la desertificación o degradación de las tierras bajo condiciones áridas, semiáridas y subhúmedas secas, es un problema global, cuyos efectos se manifiestan claramente en distintos niveles, desde el nacional hasta el local. Este último constituye el ámbito por excelencia de las acciones de mitigación, rehabilitación y control para evitar el avance de este fenómeno (Abraham & Beekman, 2006). La conceptualización de este principio ayuda a establecer los Programas de Lucha contra la Desertificación y la Sequía en cada país, a partir de un adecuado diagnóstico de sus tierras en proceso o vulnerables a la amenaza de este flagelo.

Según el CITMA, (2000), "No se debe temer hablar de desertificación en Cuba. Usar otro término, sería ignorar el verdadero peligro que se cierne sobre el país a mayor o menor plazo y que es hoy, una realidad palpable y amenazadora por el deterioro cada vez más creciente de las tierras situadas en zonas estacionalmente seca".

La degradación de los suelos, como resultado histórico del mal uso y manejo de las tierras ha generado la manifestación de un 43.3% de erosión media y fuerte, un 14.9% de afectación por la salinidad y un 7.7% presentan degradación de la cubierta vegetal, así como otros procesos degradativos de las tierras agrícolas (AMA, 2006). Estos procesos cuando interactúan en los ambientes secos y subhúmedos secos pueden conducir a procesos de desertificación (Fuentes et al., 2006; Urquiza et al., 2011).

De acuerdo con informaciones del Instituto de Suelos, (2001), el país posee 1 743 246 ha, afectadas por la desertificación alrededor de un 14% del territorio nacional, superficie que se distribuye en 24 subzonas edafoclimáticas, las que se ubican generalmente cerca de las costas. Las subzonas de ambiente subhúmedo con ecosistemas frágiles potencialmente degradables hacia la aridez abarcan 866 743 ha, las subzonas de ambiente seco con probabilidades de desertificación tienen 714 253 ha, mientras que las subzonas con condiciones de máxima aridez se presentan en 162 250 ha, situadas en el oriente del País.

Las subzonas de ambientes semiárido y seco, tienen precipitaciones menores de 800 mm anuales y períodos de sequía de 9 a 11 meses, la evaporación es muy alta con valores superiores a 2 400 mm anuales y la relación precipitación/evaporación es menor de 0.45. En las subzonas de ambiente subhúmedo seco las precipitaciones, generalmente pueden oscilar entre 800 y 1000 mm anuales con períodos de sequía

entre 8 y 10 meses, la evaporación presenta valores entre 2 000 y 2 400 mm anuales y la relación precipitación/ evaporación es menor de 0.60.

En Cuba, el 76.8% de los suelos poseen bajas categorías agroproductivas, lo cual impide que las especies cultivadas en ellos, obtengan más del 30% del potencial genético productivo que las mismas tienen reflejadas en las cartas tecnológicas. Esta situación, demuestra las incidencias de los factores limitantes degradativos que tienen las tierras para producir alimentos y satisfacer las demandas urgentes de la población cubana (Urquiza et al., 2011).

La sequía, definida como “un período de condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitaciones cause un grave desequilibrio hidrológico” (OMM, 1992; Lapinel et al., 1998), la cual tiene, efectos nocivos en las actividades socioeconómicas, se agravaron en los últimos decenios y contribuyeron a que en amplias zonas costeras y tierras secas del país, experimenten significativos síntomas de degradación (Solano et al., 2008).

Estudios realizados para valorar el índice de aridez en Cuba (Rivero et al., 1995; Vázquez et al., 2007), han confirmado la existencia de núcleos semiáridos en la porción sur de las provincias de Guantánamo y Santiago de Cuba, mientras que las zonas subhúmedas secas, abarcan buena parte de las provincias orientales, las costas de Camagüey y otras localidades del país, las cuales son propensas a sufrir procesos severos de degradación y desertificación de las tierras, perjudicando de una forma directa a los pobladores de esos territorios.

Otros fenómenos asociados con el clima, son las tormentas y huracanes tropicales, las que han incrementado el número y la intensidad de sus incidencias en el archipiélago cubano, ocasionando peligrosos procesos de inundaciones y erosiones de la cubierta vegetal y edáfica del país, lo que aumenta significativamente su degradación y su vulnerabilidad a la desertificación (Solano et al., 2008; Vantour et al., 2010).

La Estrategia Ambiental Nacional 2011-2015, es el documento rector de la política ambiental cubana, establece los principios en los que se basa el quehacer ambiental nacional, caracteriza los principales problemas ambientales del país y propone las vías e instrumentos para su prevención, solución o disminución, con vistas a mejorar la protección del medio ambiente y el uso racional de los recursos naturales en aras de alcanzar las metas de un desarrollo económico y social sostenible (CITMA, 2011).

I.2- EL CAMBIO CLIMÁTICO A NIVEL GLOBAL Y EN CUBA

I.2.1- Cambio climático observado a nivel global

Según Gutiérrez et al., (2014) el calentamiento del sistema climático es inequívoco, y desde la década de 1950, muchos de los cambios observados clima global no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios, como se relacionan a continuación.

- La temperatura del aire sobre la superficie terrestre y oceánica, ha experimentado un calentamiento de 0,85°C durante el período 1880-2012.
- La capa superior del océano (0-700 metros) se ha calentado entre 1971 y 2010. En ese período se ha observado un calentamiento de 0,11°C por década en los 75 metros superiores.
- En los últimos 20 años, los mantos de hielo de Groenlandia y la Antártida han ido perdiendo masa, los glaciares han continuado reduciéndose en casi todo el mundo y el hielo del Ártico y el manto de nieve en primavera en el hemisferio norte han seguido reduciéndose en extensión.
- Durante el período 1901-2010, el nivel medio global del mar se elevó 0,19 metros.
- Desde 1950 se han observado cambios en numerosos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos. Los ciclones tropicales en la cuenca del Atlántico norte han sido de mayor intensidad desde 1970.
- Las emisiones antropogénicas de CO₂ acumuladas de 1750 a 2011 han sido de 555 GtC¹ (375 GtC por emisiones liberadas de CO₂ procedentes de la combustión de combustibles fósiles y la producción de cemento y 180 GtC por la deforestación y otros cambios de uso de la tierra). De estas emisiones, 240 GtC se han acumulado en la atmósfera, 155 GtC han sido incorporadas al océano y 160 GtC se han acumulado en ecosistemas naturales terrestres.
- Las concentraciones atmosféricas de los GEI han aumentado desde 1750 debido a la actividad humana.
- El forzamiento radiativo ha dado lugar a una absorción de energía por el sistema climático. La mayor contribución es causada por el aumento de la concentración atmosférica de CO₂ que se viene produciendo desde 1750. En el período 1951- 2010, los gases de efecto invernadero contribuyeron al calentamiento medio global en superficie en un rango de 0,5°C a 1,3°C, mientras que los forzamientos naturales contribuyeron en un rango de -0,1°C a 0,1°C.
- Se ha detectado influencia humana en el calentamiento de la atmósfera y el océano, en alteraciones en el ciclo global del agua, en reducciones de la cantidad de nieve y hielo, en la elevación media mundial del nivel del mar y en cambios en algunos fenómenos climáticos extremos.

Los impactos de los cambios observados se evidencian fundamentalmente en:

- En muchas regiones, los cambios en la precipitación y el derretimiento de la nieve y el hielo están alterando los sistemas hidrológicos, afectando los recursos hídricos en términos de cantidad y calidad.

¹1 gigatonelada de carbono = 1 GtC = 10¹⁵ gramos de carbono. Esto equivale a 3,667 GtCO₂

- Muchas especies terrestres, marinas y de agua dulce han variado su distribución geográfica, actividades estacionales, patrones migratorios, abundancia e interacción con otras especies en respuesta al cambio climático observado.
- En cuanto a los cultivos los impactos negativos observados por el cambio climático son mucho más comunes que los positivos.
- Los gobiernos a distintos niveles han comenzado a desarrollar planes y políticas de adaptación, y a integrar las consideraciones relativas al cambio climático en los planes de desarrollo más amplios.

I.2.2- Cambio climático a nivel global en el futuro

Para analizar el posible cambio del clima en el futuro se han evaluado diferentes escenarios. En el glosario del V Informe de Evaluación del Grupo de Trabajo I del IPCC se define al escenario de emisión como: “una representación plausible de la evolución futura de las emisiones de sustancias que podrían ser radiativamente activas (*por ejemplo, gases de efecto invernadero, aerosoles*), basado en un conjunto coherente e internamente consistente de supuestos sobre factores impulsores (*tales como desarrollo demográfico, desarrollo socio-económico, cambio tecnológico*) y sus relaciones principales” (IPCC, 2013).

En 1990 y 1992, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) desarrolló varios escenarios de emisiones a largo plazo, conocidos como IS92. Esos escenarios se han utilizado profusamente para el análisis de un posible cambio climático, de sus repercusiones y de las opciones para mitigar dicho cambio. Los escenarios IS92 se utilizaron en las proyecciones climáticas de la segunda evaluación del IPCC (1996).

Una evaluación exhaustiva de los escenarios IS92, aparece en el Informe Especial del IPCC a la Primera Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (IPCC, 1995). En dicha evaluación, se constató la necesidad de abordar un nuevo conjunto de escenarios que tuviera en cuenta los avances logrados en la comprensión de los factores impulsores de las emisiones. Los nuevos escenarios se describen en un Informe Especial del IPCC sobre Escenarios de Emisión (Nakićenović & Swart, 2000) y se conocen como escenarios SRES (del inglés Special Report on Emissions Scenarios).

En los escenarios SRES, cuatro líneas evolutivas cualitativas dan origen a cuatro conjuntos o “familias” de escenarios, denominados A1, A2, B1, B2, cuyas características generales son las siguientes:

A1: Rápido crecimiento económico y convergencia entre regiones; población mundial con máximo a mediados de siglo XXI y después disminuye.

A2: Lento crecimiento económico y orientado básicamente a las regiones; cambio tecnológico fragmentado; población mundial en continuo crecimiento.

B1: Economía orientada a los servicios y la información; población mundial con máximo a mediados de siglo XXI y después disminuye; preponderancia a las soluciones de orden global encaminadas a la sostenibilidad económica, social y ambiental.

B2: Niveles de desarrollo económico intermedios con predominio de soluciones locales y regionales; población mundial en aumento, pero a un ritmo menor que en A2.

Las cuatro familias comprenden seis grupos de escenarios; tres grupos en la familia A1 [un grupo con predominio de combustibles fósiles (A1F1), otro con predominio de combustibles no fósiles (A1T) y un tercero con balance de combustible (A1B)] y otros 3 grupos, uno para cada una de las familias A2, B1 y B2.

Los escenarios SRES se utilizaron en las proyecciones climáticas de la tercera y cuarta evaluación del IPCC (2001, 2007).

Teniendo en cuenta estos escenarios a nivel global se proyecta que el cambio climático amplifique los riesgos climáticos existentes así como que cree otros nuevos en los sistemas naturales y humanos. Algunos de estos riesgos se limitarán a un sector o región en particular, y otros tendrán efectos en cascada. Estos se proyectan de la manera siguiente:

- En el siglo XXI se reduzca significante los recursos de agua superficial renovable y los recursos de aguas subterráneas en la mayor parte de las regiones subtropicales secas, intensificando la competencia por agua entre sectores.
- Gran parte de las especies terrestres y de agua dulce enfrentan un incremento en el riesgo de extinción bajo el cambio climático proyectado durante el siglo XXI.
- Debido al incremento del nivel del mar proyectado para el siglo XXI y más allá, los sistemas costeros y las áreas bajas experimentarán de forma creciente impactos adversos tales como sumergimiento, inundaciones costeras y erosión costera.
- Para mediados del siglo XXI y más allá, la redistribución global de especies marinas y la reducción de la biodiversidad marina en regiones sensibles representarán un desafío para la sostenibilidad de la productividad pesquera y de otros servicios ecosistémicos.
- Para los cultivos principales (trigo, arroz y maíz) en zonas tropicales y templadas, se proyecta que el cambio climático sin adaptación impactará negativamente la producción para incrementos de la temperatura local de 2°C o más por encima de los niveles de finales del siglo XX, aunque algunas localidades individuales pueden beneficiarse.
- Los esfuerzos encaminados a fortalecer o crear resiliencia en áreas urbanas y que facilitan el desarrollo sostenible pueden acelerar una adaptación exitosa al cambio climático globalmente.
- Se esperan grandes impactos futuros en áreas rurales, debido a impactos en la disponibilidad y oferta de agua, seguridad alimentaria, e ingresos agrícolas,

incluyendo cambios en las áreas de producción de alimentos y cultivos no alimentarios a nivel global.

- Se proyecta que para la mayoría de los sectores económicos, los impactos de factores tales como cambios en la población, estructura de edades, ingreso, tecnologías, precios relativos, estilos de vida, regulaciones y gobernabilidad serán grandes en comparación con los impactos del cambio climático.
- A lo largo del siglo XXI se espera que el cambio climático conduzca a incremento de las enfermedades en muchas regiones y especialmente en los países en desarrollo de bajos ingresos, en comparación con un escenario de referencia sin cambio climático.
- Se proyecta que el cambio climático en el siglo XXI incremente el desplazamiento de personas, y que pueda indirectamente incrementar los riesgos de conflictos violentos.
- Se proyecta que los impactos del cambio climático a lo largo del siglo XXI hagan más lento el crecimiento económico y más difícil la reducción de la pobreza.

I.2.3- Cambios observados en el clima de Cuba

- La temperatura superficial del aire se ha incrementado en 0.9°C desde mediados del pasado siglo; condicionado por el aumento de la temperatura mínima promedio en 1.9°C; produciéndose una disminución en la oscilación diurna de la temperatura;
- Un ligero aumento de las anomalías positivas de las precipitaciones desde finales de la década de los años 70 del siglo XX. Las lluvias del período poco lluvioso han aumentado; sin embargo, la variación más importante de este elemento se relaciona con la tendencia a la disminución en la región oriental, que desde la década de los años 90 del siglo XX ha manifestado significativos déficit en los acumulados de precipitación;
- Significativo incremento que los eventos de sequía del período 1961-1990 con respecto a 1931-1960.
- Inició desde 1996 de un nuevo período muy activo de la actividad de huracanes sobre Cuba.

En Cuba se han modelado un conjunto de variables e índices climáticos para predecir el clima futuro y su impacto. Los resultados se pueden observar (Centella et al., 2006; Solano Ojeda et al., 2012; Centella et al., 2013).

Proyección del clima de Cuba para finales del siglo XXI:

- Aumento de hasta 4°C de la temperatura media del aire;
- disminución de la precipitación anual entre el 15 y el 63%;
- aumento de la evapotranspiración potencial y la evaporación real, lo que conlleva a la disminución progresiva de la productividad primaria neta de los ecosistemas terrestres y agrícolas, así como de la densidad potencial de biomasa;
- los climas subhúmedos secos avanzarán en extensión desde la región oriental hacia el occidente;

- en los macizos montañosos orientales se establecerán climas subhúmedos secos, susceptibles de desertificación.

Teniendo en cuenta lo anterior nos trazamos para el presente proyecto de investigación los objetivos siguientes:

Objetivo general:

- Determinar para la escala 1:250 000 las áreas vulnerables a la desertificación de las tierras en Cuba.

Objetivos específicos:

1. Actualizar el mapa de áreas vulnerables a la desertificación por la vegetación a escala 1:250000 empleando la teledetección.
2. Crear Bases de Datos en ambiente de Sistema de Información Geográfica para la determinación de las áreas vulnerables a la desertificación de las tierras en Cuba.
3. Proponer medidas alternativas, viables y sostenibles, en las áreas vulnerables a la desertificación que contribuyan al Programa Cambio Climático en Cuba.

II- MATERIALES Y MÉTODOS

II.1- MATERIALES

En la ejecución de esta investigación se emplearon informaciones documentadas, cartográficas y fotográficas de más de 20 instituciones nacionales y territoriales de las República de Cuba, destacándose los datos aportados por el Instituto de Suelos, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Instituto de Meteorología, Instituto de Ecología y Sistemática y GEOCUBA Investigación y Consultoría. Estas instituciones estudiaron distintas facetas del medio geográfico y socioeconómico del país durante más de 40 años, cuyos resultados se logró recopilar, ordenar y reclasificar una cantidad de información que se soporta en forma de base digital para la escala 1: 250 000, con el empleo de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Algunas de estas informaciones se exponen a continuación:

- Mapa Topográfico Digital de Cuba a escala 1: 250 000 (GEOCUBA, 2004).
- Atlas Nacional de Cuba (Instituto de Geografía Tropical, 1989).
- Mapa Geológico digital de Cuba a escala 1:100 000 (Echevarría, et al; 2009).
- Modelo Digital del Terreno con 90m de resolución (STRM, NASA, versión 2, 2006)
- Mapa de suelos de Cuba digital a escala 1:250 000 y la Nueva versión de la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Instituto de Suelos, 1999).
- Mapa isoyético de las Precipitaciones de Cuba (INRH, 2006).
- Mapa de Índice de Aridez de Cuba (Solano, et al; 2008).

- Mapa Fragmentación de Vegetación en Cuba, a escala 1:250 000 (Capote, 2013).
- Mapa de Población de Cuba y Red Vial (Instituto de Planificación Física, 2003).
- Censo de Población de Cuba (Oficina Nacional de Estadísticas, 2013).
- Informaciones relacionadas con la Degradación de las Tierras y la lucha contra la Desertificación y la Sequía, en Cuba (CITMA, 2000; 2006; 2014).
- Imágenes aéreas y cósmicas de los Territorios de Cuba.

En total fueron consultados más de 100 documentos de las investigaciones ejecutadas en Cuba sobre la cobertura pedológica y su degradación, evaluándose un número elevado de datos procedentes de varios mapas de suelos a diversas escalas de los territorios evaluados. Esta información fue analizada y reclasificada para adaptarla a un mismo formato a escala 1:250 000, escala utilizada en el mapa base de este proyecto.

Para garantizar la consistencia de los datos entre todas las capas temáticas se creó un Mapa Base estándar de referencia geográfica proveniente del mapa topográfico a escala 1:250 000 actualizado con imágenes de satélites. Las fuentes de datos documentadas recopiladas fueron puntos de partidas para conocer los indicadores biofísicos y socioeconómicos que mayores incidencias tienen en la degradación y desertificación de las tierras en el archipiélago cubano, así como para poder establecer las posibles causas directas e indirectas de estos fenómenos negativos.

La evaluación de las áreas vulnerables a la desertificación abarcó toda la superficie de Cuba, tomando como base de partida los resultados de los valores de Índice de Aridez de Cuba calculado por (Vázquez et al., 2007; Solano Ojeda et al., 2012) con el modelo Echam para los escenarios A2 y B2, y con el modelo Hadley para el escenario A2. Los valores y pesos de los atributos se establecieron teniendo en cuenta lo establecido por UNCCD (2007) para las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas.

II.2- METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA DESERTIFICACIÓN

La metodología seguida en este proyecto, fue la diseñada y validada en el marco del proyecto Recuperación de Áreas en Proceso de Desertificación del Caribe y/o de países Miembros del ALBA. Parte del empleo de indicadores biofísicos y socioeconómicos, utilizando como herramientas tecnológicas de avanzada la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica. La metodología consta de siete etapas: Organización, Caracterización, Creación de la Base de Datos, Análisis de los Resultados y Validación del Diagnóstico, Propuesta de Soluciones, Ejecución de las Propuestas y Seguimiento (monitoreo) y Actualización (Figura 2).

I.2.1- Etapa de Organización

En la etapa organizativa, se formuló el proyecto con objetivos alcanzables, salidas y beneficios específicos, cronogramas de actividades y definición de los recursos humanos, financieros, materiales e informaciones necesarias.

En la etapa se contemplaron los aspectos siguientes:

- Establecimiento de grupos de trabajos.
- Propuesta de área y escala de trabajo.
- Identificación de problemas y necesidades de los usuarios.
- Definición del presupuesto y recursos materiales.
- Requerimiento de los datos e indicadores.
- Medios técnicos disponibles.
- Selección de los métodos de Teledetección, Sistema de Información Geográfica (SIG), y Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para la investigación.
- Necesidad de sinergia con otros proyectos nacionales e Internacionales.
- Necesidades de capacitación y entrenamiento.

El Instituto de Geografía Tropical (IGT), fue la institución que actuó como ejecutora principal. Fueron participantes activos el Instituto de Ecología y Sistemática (IES), Instituto de Meteorología (INSMET), la Dirección de Ciencia y Tecnología (DCIT) y la Agencia de Medio Ambiente, todos pertenecientes al CITMA. El Instituto de Suelos, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, y el Grupo Nacional de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía, fueron decisivos colaboradores en el suministro de información.

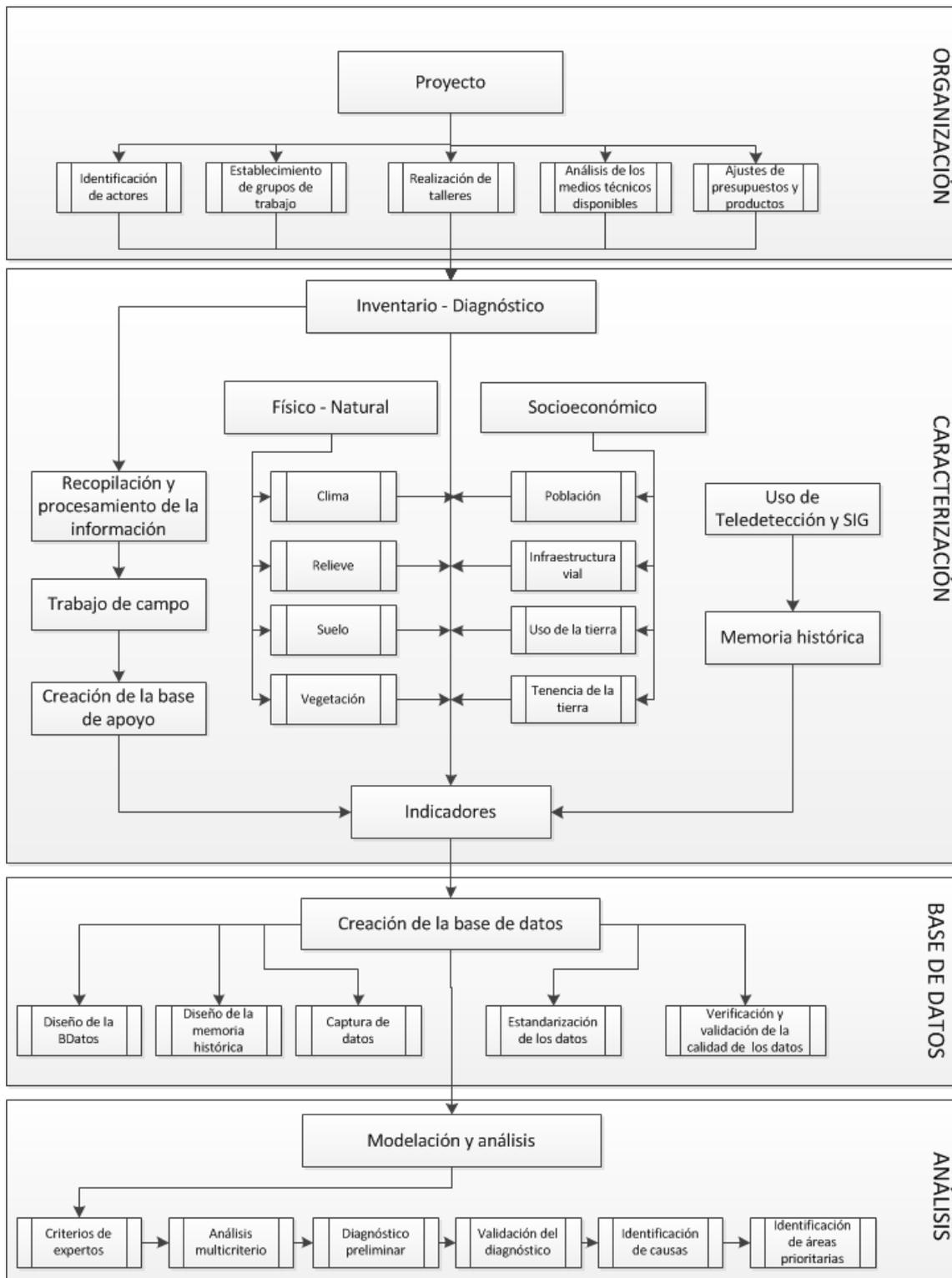


Figura 2. Esquema General para el Diagnóstico de la Desertificación. Fuente: Elaborado por los autores.

I.2.2- Etapa de Caracterización

La etapa de caracterización contempló la ejecución del inventario y su análisis preliminar, en los cuales se incluyeron datos biofísicos espaciales y no espaciales, así

como socioeconómicos, de varias fuentes nacionales de información de Cuba que permitieron caracterizar el estado de las tierras.

En los procesos de desertificación están involucradas un conjunto de variables representadas por indicadores que reflejan el estado del fenómeno en los ecosistemas estudiados, siendo importante su identificación, análisis y evaluación. Las variables básicas identificadas fueron: Clima, Suelo, Vegetación y Presión Humana, este grupo de variables fueron las que con mayor precisión tipificaron las áreas en procesos y/o vulnerables a la desertificación en el país, lo que permitió su categorización en cinco niveles: no vulnerable, poco vulnerable, moderadamente vulnerable, vulnerable y muy vulnerable (Muy Poco, Poco, Moderado, Alto y Muy Alto).

- *Caracterización de los Elementos del Clima*

Como componente de la vulnerabilidad de las tierras a la degradación y vulnerabilidad a la desertificación, se empleó el índice de aridez con los valores de umbrales que aparecen en la tabla 1. En calidad de información de índice de aridez para diferentes escenarios de cambio climático en Cuba, se utilizó los resultados de las investigaciones realizadas por (Solano Ojeda et al., 2012)

Tabla 1. Indicador climático empleado en el proyecto

TIPO DE MAPA	CATEGORIAS	VALORES UMBRALES P/ET _p
Índice de aridez	Árido	0,03-0,20
	Semiárido	0,21-0,50
	Subhúmedo Seco	0,51-0,65
	Subhúmedo Húmedo	0,66-1,00
	Húmedo	>1,00

El índice de aridez (P/ET_p), o relación insumo/pérdida de humedad, fue utilizado para delimitar las diferentes áreas climáticas respecto al estado seco de los ecosistemas de Cuba, los cuales se clasificaron como árido, semiárido y subhúmedo seco cuando la proporción entre la precipitación anual y la evapotranspiración potencial de la región está comprendida entre 0,03 y 0,65 (UNCCD, 2004; CLD, 2006). Esta relación permite evaluar la deficiencia y exceso de humedad que entra o sale del ecosistema, así como la agresividad climática sobre el mismo. Si bien existen objeciones científicas en el ámbito internacional para el uso de estas relaciones, así como también para los rangos que se aplican de manera general para todos los países, se consideró que para los objetivos planteados en este proyecto son aceptables para proporcionar indicadores generales.

- *Caracterización de los recursos edáficos*

En la Figura 3, se presenta el flujograma del método general cartográfico empleado en la confección del mapa de suelos, cuyos datos fueron utilizados para la creación de la

base de datos, donde se definieron más de 15 campos o atributos edáficos. En la metodología se destacó el área mínima cartografiable de 1 cm² en el mapa, el cual se corresponde con 250 ha en el terreno. La escala media de 1:250 000, es generalizadora de los fenómenos de la degradación de los suelos en el territorio nacional de Cuba. Esta escala no brinda información detallada de situaciones puntuales, aunque si permite hacer evaluaciones de los procesos estudiados y cuantificar superficies aproximadas afectadas.

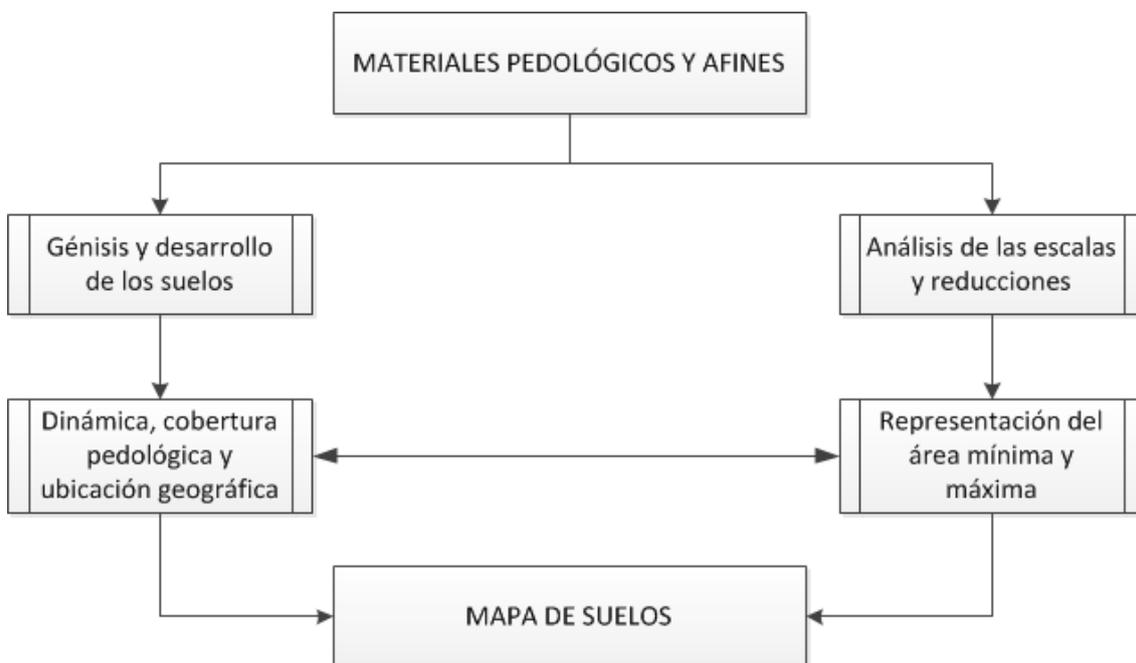


Figura 3. Método General de Confección del Mapa de Suelos 1:100 000.

Los trabajos pedológicos empleados como material de base, estaban clasificados por la Segunda Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Instituto de Suelos, 1975), por lo que fue necesario su reclasificación, utilizando la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Instituto de Suelos, 1999). En esta nueva clasificación se determinaron los horizontes principales, horizontes normales y características de diagnóstico para las taxas de agrupamiento, tipo y subtipo de suelos. Los géneros en general no tuvieron diferencias y se clasificaron de manera directa, mientras que las especies son taxas que se delimitaron cuantitativamente y se corresponden en ambas clasificaciones. El empleo de los horizontes y características de diagnóstico posibilitó elevar la precisión en el conocimiento de la génesis de los suelos y su valor ecológico.

En la tabla 2 se presentan las unidades taxonómicas utilizadas para confeccionar el mapa de suelos, en tal sentido, se emplearon 4 categorías o unidades de clasificación y los horizontes y características que los identificaron según la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Instituto de Suelos, 1999 y Hernández, et al; 2006).

Tabla 2. Unidades Taxonómicas para Confeccionar el Mapa de Suelos

TIPO DE MAPA	UNIDADES TAXONÓMICAS	ÍNDICES DE DIAGNÓSTICO
Mapa de los Suelos de Cuba a escala 1:250 000	Agrupamientos de Suelos	Horizontes Principales
	Tipos de Suelos	Horizontes Normales
	Subtipos de Suelos	Características de Diagnóstico
	Género de Suelos	Composición Mineralógica

Los factores limitantes de los suelos se evaluaron en esta investigación a nivel de subtipos de suelos separados en el mapa, dividiéndose en tres aspectos para el manejo: Factores que se relacionan con el medio o entorno geográfico, factores que son resultados de las características edafológicas naturales y factores que son proceso de degradación del suelo por influencia antropogénica.

Se evaluó el agropotencial de los suelos del territorio cubano, aplicándose AGRO-24, metodología propuesta por Mesa et al. (1993) e implementada por el Instituto de Suelos (1994; 2006). Esta metodología permite evaluar la capacidad agroproductiva de los suelos para 24 cultivos, sin embargo, en este trabajo sólo se avaluó la aptitud de las tierras en función de su estado de degradación, sin especificar para que cultivos eran más aptas, no obstante, la evaluación posibilita conocer que en las categorías I y II se pueden obtener más del 50% del rendimiento potencial de los cultivos agrícolas establecidos en estos suelos, mientras que en las categorías III y IV, en sentido general, los rendimientos son inferiores al 50% de las potencialidades de las variedades de los cultivos utilizadas.

Para confeccionar los mapas de los factores limitantes de los suelos se seleccionaron un conjunto de indicadores que se relacionan con las propiedades de los mismos (Tabla 3). Estos indicadores permitieron reflejar el estado de afectación que tienen las tierras cubanas desde el punto de vista de la acidez, erosión, salinidad, mal drenaje, contenido de materia orgánica y la fertilidad natural.

Estos indicadores son el reflejo de procesos naturales bajo la acción antrópica y definen un estado del ecosistema o agroecosistema. De este modo, se pudo valorar si las tierras que fueron evaluadas estaban sometidas a la explotación agrícola de manera intensiva sin protección o por el contrario se aplicaban medidas de conservación. Además, para Cuba el desarrollo socioeconómico, tiene implícito la protección del medio ambiente, por lo que, la validación de los indicadores seleccionados pueden servir de base para un monitoreo futuro en los diferentes ecosistemas degradados.

Tabla 3. Indicadores para Confeccionar Mapas de Factores Limitantes de Suelos

TIPO DE MAPA	CATEGORÍAS	VALORES UMBRALES pH en Kcl
--------------	------------	----------------------------

Mapa de Acidez de los Suelos	Alcalino	> 7,20
	Neutral	6,71-7,20
	Débilmente Acido	6,01-6,70
	Acido	5,01-6,00
	Fuertemente Acido	4,01-5,00
	Muy Fuertemente Acido	< 4,00
TIPO DE MAPA	CATEGORÍAS	PARÁMETROS
Mapa de Erosión de los Suelos	No Erosionado	Sin Manifestación de Pérdida del Horizonte A
	Poco Erosionado	Con Poca manifestación de Pérdida del Horizonte A
	Medianamente Erosionado	Pérdida de Hasta un 50% del Horizonte A
	Erosionado	Pérdida Total del Horizonte A y Parte del Horizonte B
TIPO DE MAPA	CATEGORÍAS	PARÁMETROS % Cl- y Cl-/SO4-2 SO4-2 y SO4-2/Cl-
Mapa de Salinidad de los Suelos	No Salino	<0,2 <0,3
	Poco Salino	0,2-0,3 0,3-0,6
	Medianamente Salino	0,3-0,6 0,6-1,0
	Fuertemente Salino	0,6-1,0 1,0-2,0
	Salino	>1,0 >2,0
TIPO DE MAPA	CATEGORÍAS	PARÁMETROS Horas de Evacuación del Exceso de Humedad en el Suelos
Mapa de Drenaje de los Suelos	Excesivamente Drenado	< 10
	Drenado	10-24
	Imperfectamente Drenado	24-72
	Muy Mal Drenado	>72
TIPO DE MAPA	CATEGORÍAS	PARÁMETROS%
Mapa del Contenido de Materia Orgánica de los Suelos	Bajo	<2,0
	Mediano	2,0-4,0
	Alto	4,1-6,0
	Muy Alto	>6
TIPO DE MAPA	CATEGORÍAS	PARÁMETROS Valor de T Cmol(+).Kg-1
Mapa de Fertilidad Natural de los Suelos	Muy Baja	< 10
	Baja	10-20
	Mediana	20-30
	Alta	>30

Fuente: Mesa et al. (1993)

En la tabla 4 se exponen los indicadores seleccionados para la elaboración del Mapa General de la Degradación de Suelos de Cuba 1:250 000. Estos indicadores proceden

de las capas temáticas anteriormente preparadas y que permitieron visualizar los principales agentes del deterioro de la cobertura edáfica del país, elemento importante para poder definir las áreas vulnerables a la desertificación. Mediante el uso del Sistema de Información Geográfica se incorporaron al Mapa General de la Degradación de Suelos de Cuba las capas de acidez, erosión, salinidad, mal drenaje, compactación, materia orgánica y la fertilidad natural de los suelos. Esta herramienta informática de manera automatizada realizó el análisis, síntesis e integración de los datos para generar el mapa deseado.

El principio de la confección del mapa es la de identificar zonas homogéneas con uno o más problemas de degradación de la cubierta edáfica, avalada por indicadores cuantificables que generan el deterioro de la calidad de la tierra para la producción agrícola (FAO, 1997).

Tabla 4. Indicadores para Confeccionar Mapa General de la Degradación de Suelos

TIPO DE MAPA	CATEGORÍAS	PARÁMETROS
Mapa de Degradación de Suelos	No Degradado	* No Erosionado * No Salinizado * No Exceso de Hidromorfía * pH Ligeramente Ácido o Neutro * Mediano o Alto Contenido de MO * Mediana o Alta Fertilidad Natural
	Poco Degradado	* Poco Erosionado * Poco Salinizado * Poco Exceso de Hidromorfía * pH Ligeramente Ácido o Neutro * Mediano o Alto Contendo de MO * Mediana o Alta Fertilidad Natural
	Medianamente Degradado	*Mediana Erosión *Mediana Salinidad *Mediano Exceso de Hidromorfía * pH Medianamente Ácido o Alcalino *Mediano o Bajo Contenido de MO * Mediana o Baja Fertilidad Natural
	Degradado	*Fuertemente Erosionado *Fuertemente Salinizado * Exceso de Hidromorfía *Extrema Sequía Pedológica *pH Acido o Alcalino *Bajo o muy Bajo Contenido de MO *Baja o muy Baja Fertilidad Natural

Fuente: Elaborado por los autores.

En sentido general, en los indicadores establecidos pueden superponerse en un mismo contorno, es decir, es posible encontrar áreas erosionadas con hidromorfía, acidez, bajo contenido de materia orgánica y baja fertilidad natural. También suelen

aparecer superficie con salinidad, exceso de hidromorfía, pH alcalino y bajo contenido de materia orgánica. Esto indica la complejidad de la actuación de los procesos de degradación en un ecosistema.

- *Caracterización de los Elementos de la Vegetación*

La vegetación se analizó en lo fundamental por su relación con otros componentes del subsistema físico-biótico: protección del suelo, capacidad de resiliencia y resistencia a la sequía. La línea base de la cobertura vegetal se orientó bajo el criterio de agrupar las formaciones vegetales de acuerdo a su potencial bioclimático, en tal sentido, se evaluaron tres subvariables: Cobertura de las formaciones vegetales, la densidad de la cobertura y el grado de intervención que ha sufrido la misma (Capote, et al; 1989; 2005 y 2006).

En la Tabla 5 se presentan los indicadores que se utilizaron para confeccionar el Mapa de Áreas Vulnerables a la Desertificación por la cobertura de las Formaciones Vegetales de Cuba a escala 1:250 000. Esta capa se generó a partir integrar el empleo de la teledetección con herramientas de Sistema de Información Geográfica, las capas de las formaciones vegetales y el índice de aridez.

Tabla 5. Indicadores para Confeccionar el Mapa de Áreas Vulnerables a la Desertificación por la Cobertura de las Formaciones Vegetales.

TIPO DE MAPA	CATEGORIAS	FORMACIONES VEGETALES
Mapa de Áreas Vulnerables a la Desertificación por la Cobertura de las Formaciones Vegetales	No Vulnerable	*Bosques pluvial de baja altitud *Bosques pluvial submontano *Bosques pluvial montano *Bosques nublados típicos *Bosques nublados bajos *Bosques mesófilo de baja altura *Bosques mesófilos submontano *Bosques de ciénaga típica *Bosques de ciénaga bajo *Manglares *Herbazal de ciénagas *Vegetación Acuática
	Medianamente Vulnerable	*Bosques de Pinus caribaea *Bosques de Pinus tropicalis *Bosques de Pinus cubensis *Bosques de Pinus maestrensis *Matorral montano
	Alta Vulnerabilidad	*Bosques micrófilo monte seco *Bosques costeros y subcosteros *Matorrales xeromorfos subespinosos *Matorrales xeromorfos espinosos

	Muy Alta Vulnerabilidad	<ul style="list-style-type: none"> *Matorrales Xeromorfos costeros y subcosteros *Vegetación de costas rocosas *Vegetación secundaria en ambiente semiárido *Cultivos en ambiente semiárido *Pastos y cultivos en ambiente semiárido
--	-------------------------	---

Fuente: Elaborado por los autores.

- *Caracterización de los Datos Socioeconómicos*

El uso de indicadores socioeconómicos permitió conocer la presión que ejercen la densidad de población, el uso de las tierras, las infraestructuras y los viales en la vulnerabilidad de los ecosistemas a la degradación y desertificación. La población se consideró un indicador de interés por cuanto es el centro de atención de las políticas relacionadas con la calidad de vida, el crecimiento económico y el estado ambiental, así como por la presión que ejercen los asentamientos humanos sobre la ocupación de nuevas áreas y espacios habitables, la producción, la demanda, el consumo de recursos naturales y la generación de desechos.

El inventario y análisis de la dinámica de la población se realizó a partir de la determinación de los valores promedios que relacionan a los seres humanos con la superficie que ocupa, esto permitió conocer su distribución territorial y el grado de concentración y dispersión. Con los datos de la población se confeccionó un mapa en formato digital, donde se expone la distribución que contiene la cantidad de habitantes en un determinado espacio en correspondencia con la división política administrativa (relación entre población y superficie) y a su estructura geográfica (población urbana y rural).

Se realizó el inventario de la red de centros poblados urbanos y rurales en los territorios. Esta red constituye la base del desarrollo socioeconómico y cumple además, funciones múltiples que se ejecutan en el ámbito del territorio. En el inventario se determinó la superficie ocupada por los centros habitados y sus posibles incidencias en la ocupación de nuevas áreas por su posible impacto en la degradación de las mismas.

En el contexto del análisis de la infraestructura, se consideró a la vialidad como un elemento de elevada significación para un territorio, por cuanto es un factor coadyuvante a la ocupación, conexión y estructuración del espacio, con proyección hacia el resto del país; definiendo a su vez la accesibilidad, lo que facilita el acceso a los recursos naturales. Lo anterior ejerce gran presión a la degradación de las tierras, por lo que, se confeccionó una capa temática donde se incluyeron las autopistas, carreteras de primer y segundo orden, terraplenes, caminos y vías férreas, así como su área de influencia.

La situación actual del uso de las tierras en Cuba es compleja y difícil de determinar, no obstante, este uso se analizó bajo la combinación del enfoque por cobertura de uso de la actividad del sector agrario, tales como: Uso forestal, agropecuario (cultivos permanentes, semipermanentes, rotación y pastos), vegetación natural, cuerpos de agua, minería e infraestructura (vialidad, centros poblados, etc.).

El uso de las tierras se complementó con las comprobaciones ambientales ejecutadas para diagnosticar problemas de degradación de los recursos naturales derivados de los procesos de ocupación y utilización del territorio. En esta dirección, se identificaron las superficies que ocupan las cuencas hidrográficas, las áreas protegidas, los parques nacionales y otras.

Las diversas capas temáticas de la actividad socioeconómica fueron integradas al Sistemas de Información Geográfica y utilizadas como datos cartográficos para confeccionar diversos mapas temáticos relacionados con este indicador de carácter económico y social que ejercen impactos en la degradación de las tierras, así como se convierten en elementos de gran valor para determinar las áreas vulnerables a la desertificación de Cuba, así como establecer las medidas de mitigación y rehabilitación.

- *Uso de la Teledetección en la Caracterización Biofísica de las Áreas*

La posibilidad de obtener datos desde el espacio con distintas resoluciones espaciales, espectrales, radiométricas y temporales, le confirieron a la teledetección un papel importante e indispensable como fuente de información actualizada, al permitir con rapidez y precisión el estado actual de las variables utilizadas en los ecosistemas cubanos.

El empleo de la tecnología satelital como insumo básico para la elaboración del diagnóstico adecuado de las áreas vulnerables a la desertificación en Cuba, realizado mediante el chequeo de información actualizada, precisa y de rápida obtención, constituyó una alternativa para solucionar falta de información relacionado con los factores edáficos y de la vegetación.

A partir del archivo de imágenes de la serie LandSat, publicados de forma gratuita en los sitios <http://edcsns17.cr.usgs.gov/earthexplorer/> y <http://glovis.usgs.gov/>, donde existen ficheros globales que datan desde 1972 hasta la actualidad; se seleccionó para este trabajo un total 16 escenas que dan la cobertura de imágenes para Cuba, atendiendo a: fecha de adquisición, presencia de nubes y nivel de procesamiento (Figura 4).

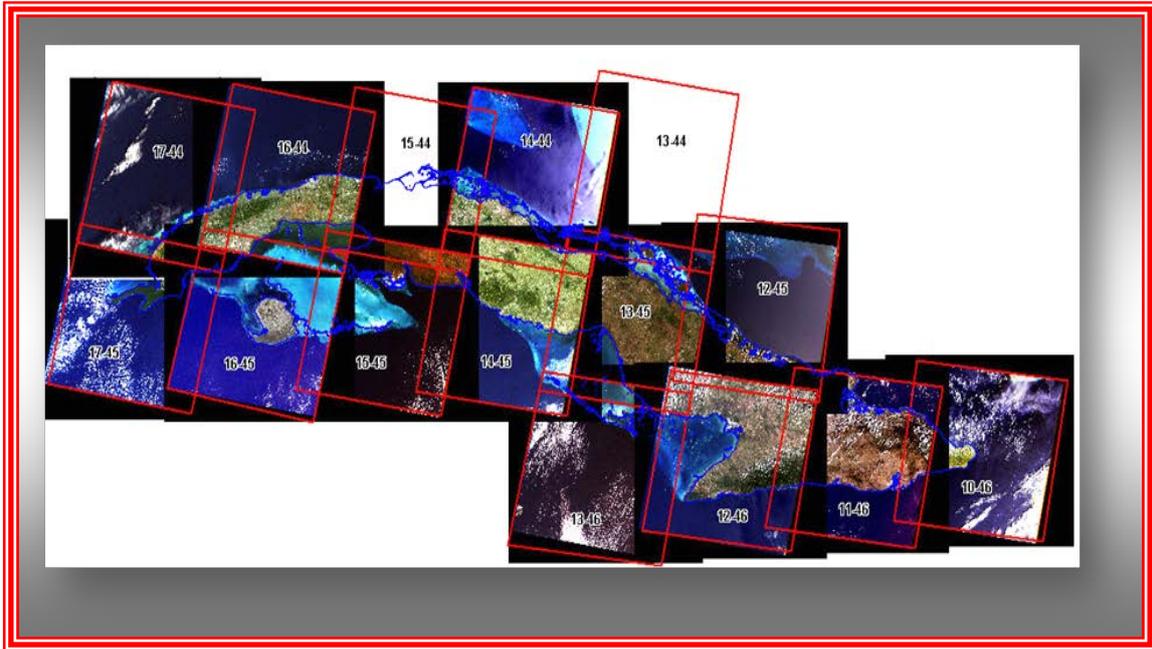


Figura 4. Cobertura de imágenes LandSat para Cuba.

De estas imágenes se obtuvieron las estadísticas elementales de cada canal o banda espectral (mínimo, máximo, media, desviación estándar y mediana) lo que permitió, hacer una primera valoración del grado de homogeneidad de las características de los objetos presentes en cada una de estas (análisis de la separabilidad de las clases) con el objetivo de orientar de forma efectiva los posteriores procesos. Este proceso se realizó visualizando el histograma de frecuencia generado de cada banda y anotando posteriormente el valor de las estadísticas elementales de cada canal.

En sentido general, el uso de la teledetección, sirvió para corroborar el grado de exactitud y precisión con que las variables reflejaban la degradación de las tierras y la vegetación.

Etapas de Creación de la Base de Datos

Esta etapa fue una de la más crítica y que consumió más tiempo en el momento de la implementación y en ella se organizaron y codificaron los datos para su entrada al sistema.

En este sentido, se introdujeron la información geográfica (entidades) mediante el proceso de digitalización y la alfanumérica de los atributos, estableciéndose una estructura de coberturas y tablas, integrado en un Sistema de Manejo de Bases de Datos (SMBD), lo que permitió iniciar el proceso de análisis y evaluación de la información capturada, así como la reclasificación y generación de nuevos datos y mapas temáticos.

Para obtener resultados confiables en el trabajo, se garantizaron en primera instancia, la entrada precisa de los datos procedentes de diversas fuentes, para ello fue

necesario contar con una base cartográfica digital que sirvió de apoyo a la digitalización de los mismos.

En los casos que esto no fue posible se utilizó un mapa base estándar de referencia geográfica; las bases fueron actualizadas en ambos casos, empleando las imágenes satelitales o aéreas y también el GPS. El diseño de la base de datos para la organización y manejo de la información geográfica se realizó de acuerdo con la naturaleza de las mismas siguiendo los pasos siguientes:

1. Determinación de entidades y atributos.
2. Normalización de las entidades.
3. Determinación de los campos llaves.
4. Determinación de las relaciones de las entidades (diagrama entidad-relación).
5. Codificación de los atributos descriptivos.
6. Establecimiento de relaciones entre tablas.

I.2.3- Etapa de Análisis de Resultados y Validación de Campo

A partir de la información preparada en las etapas anteriores y teniendo en cuenta las experiencias de otros proyectos similares, se desarrollaron modelos analíticos espaciales. Esto permitió establecer comparaciones y seleccionar aquellas alternativas más sencillas con valores predictivos aceptables, útil como herramienta de diagnóstico y monitoreo de las áreas vulnerables a la desertificación.

En la Figura 5 se expone el esquema utilizado para la etapa de análisis en el proyecto. Las informaciones recopiladas de las cuatro variables básicas: clima, suelo, vegetación y presión humana, e incluidas en la base de datos se modelo a partir de las herramientas del SIG.

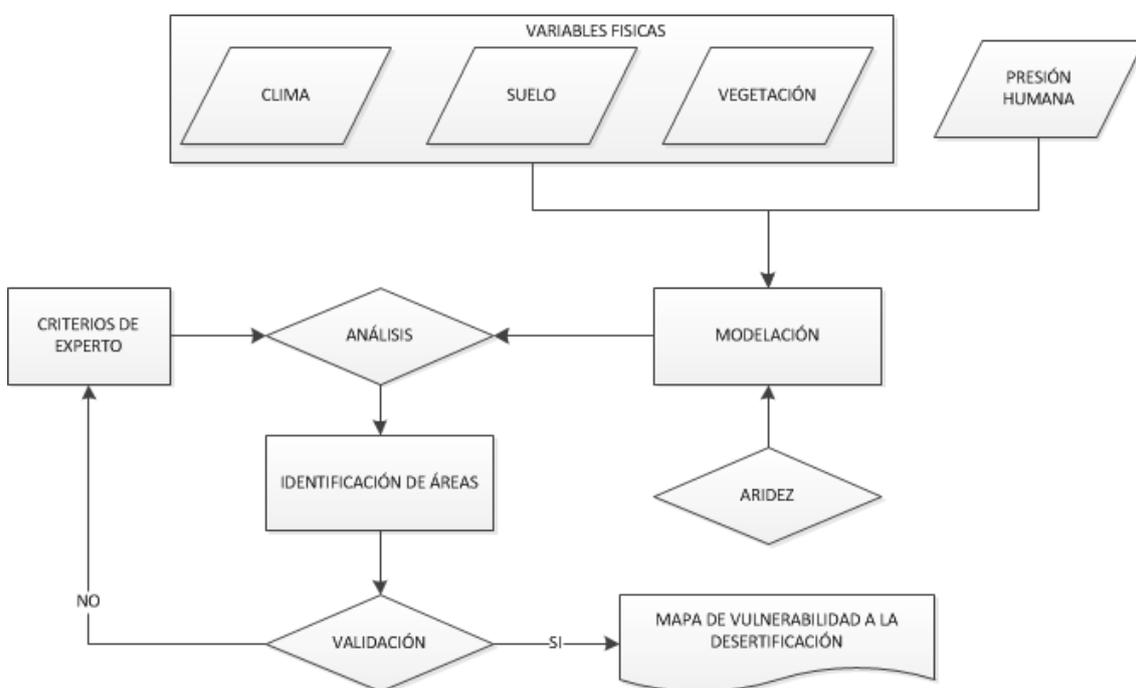


Figura 5. Procedimiento para la Etapa de Análisis. Fuente: Elaborado por los autores.

En un paso previo, se tuvo en cuenta los criterios de los expertos para el análisis multicriterio o toma de decisiones, así como se identificaron las inconsistencias de los pesos dados a cada variable. En una primera modelación se determinaron las áreas vulnerables, las cuales se validaron, cuando fueron rechazadas, se volvió al paso de identificar inconsistencias pero si no, se generaron los diversos mapas de vulnerabilidad a la desertificación.

El proceso de análisis y toma de decisiones de este proyecto, demandó evaluar una elevada cantidad de información, lo que no siempre se pudo realizar fácilmente en forma lógica. Es en este plano donde los Métodos Multicriterio (OMM), ayudaron a tomar decisiones que fueron más exactas y precisas en función de la calidad de los datos disponibles. Estos métodos son ordinales cuando expresan las preferencias a partir sólo de un ordenamiento de las alternativas, mientras que se denominan cardinales, a las herramientas que representan las intensidades de preferencia, es decir, no sólo que una alternativa es preferible a otra, sino también cuanto más preferible resulta (Saaty, 1980; Zahedi, 1986; Zanazzi, 2003).

En este proyecto se utilizaron dos modelos matemáticos: el Multiplicativo Simple y el de Sumas Ponderadas o Proceso Analítico Jerárquico (AHP), o técnica de decisión multicriterio propuesto por Saaty (1980), donde se logra establecer prioridades y apoyar la toma de decisiones ordenando el problema como una estructura jerárquica.

A. Método Multiplicativo Simple

Este método permite abordar situaciones de incertidumbre con pocos niveles de información, y en el mismo se construye una función de valor para cada una de las alternativas. Aunque es una técnica compensatoria, resulta ser dependiente y manipulable a la hora de realizar la asignación de valores de intensidad para cada atributo en la escala de medida de las evaluaciones. Los valores de Intensidad normalmente se estandarizan de 1 a 2. Es un método utilizado en el mundo y su desventaja consiste en que todas las variables tienen igual importancia o peso en el modelo, por eso se aplica la raíz n-ésima de la multiplicación de las variables donde el valor de n depende de la cantidad de variables multiplicadas (Ecuación 1).

$$\text{Var Total} = (\text{Var1} * \text{Var2} * \text{Var3} \dots \text{Varn})^{1/n} \quad (1)$$

B. Método de Sumas Ponderadas o Jerárquico Analítico (Método de Saaty, 1980)

Es un método que permite realizar comparaciones por pares entre las variables (criterios subcriterios y alternativas), donde se asignan valores numéricos (0-9) a las preferencias señaladas por los expertos, resolviendo una síntesis de las mismas mediante la agregación de esos juicios parciales (Ecuación 2); el proceso de análisis responde a los siguientes criterios:

$$\text{Var Total} = ((\text{Var1} * P1) + (\text{Var2} * P2) + \dots + (\text{Varn} * Pn)) \quad (2)$$

Con el criterio de expertos se construyó la estructura jerárquica representando todos los aspectos considerados relevantes en el proceso. En el nivel de mayor jerarquía, se colocó la meta global (modelo de vulnerabilidad) y en los sucesivos niveles el resto de los aspectos relevantes, hasta llegar al último nivel donde se situaron las alternativas comparadas.

Una vez construida la estructura jerárquica, se incorporaron las preferencias valorativas de dominación relativa de un elemento frente a otro, respecto a un atributo o propiedad en común, establecida con el criterio de los expertos.

Por último se realizó una síntesis de las prioridades para obtener el peso (valores de 0 a 1) de los elementos involucrados en la resolución del problema (Zanazzi, 2003). Su ventaja frente al método anterior es que las variables tienen diferentes importancia o peso en el modelo dependiendo de las jerarquías establecidas.

Ambos modelos emplean distintas escalas de valores para estandarizar los atributos (Valores de Intensidad) por lo que fue necesario establecer una equivalencia entre ellos como se muestra en la Tabla 6. La definición de valores para cada indicador se realizó según los diferentes criterios de importancia del mismo en el diagnóstico.

Tabla 6. Valores de Intensidad: Modelos Multiplicativo (IM) y Sumas Ponderadas (IP)

IM	IP	Definición
1.00	0	Sin importancia
1.01 - 1.10	1	Igual importancia
1.125	2	Importancia igual a moderada
1.250	3	Importancia moderada
1.375- 1.45	4	Importancia moderada a fuerte
1.50-1.65	5	Importancia fuerte
1.67-1.70	6	Importancia fuerte a muy fuerte
1.75-1.80	7	Importancia muy fuerte
1.85-1.90	8	Importancia fuerte a extremadamente fuerte
2.00	9	Importancia extrema

Estas técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC), las cuales en el entorno de los Sistemas de Información Geográfica, se basan en que cada indicador que se evalúa está representado por una capa de información cartográfica georreferenciada con datos asociados. Estas capas temáticas se transformaron y normalizaron de acuerdo al modelo matemático utilizado, para que todas fluctuaran dentro de un mismo rango de valores.

Para el análisis y toma de decisiones mediante el Método Multiplicativo Simple, se procedió a aplicar la ecuación 1 para cada variable (Suelo, Vegetación y Presión Humana), a partir de la asignación por los expertos de los valores de intensidad para cada atributo en la escala de valores de 1-2. Según la expresión de la Ecuación 3.

$$[\text{Modelo-1}] = \text{Pow} ([\text{Sue-mod1}] * ([\text{Veg-mod1}] * ([\text{Ph-mod1}], 1/3) \quad (3)$$

En el análisis y toma de decisiones por el Método de Jerarquías Analíticas (Saaty, 1980), se ejecutó la suma de los factores multiplicados por el peso calculado primero de las variables Suelo y Vegetación para obtener la vulnerabilidad a la desertificación por las variables biofísicas (Ecuación 4) y este resultado de las variables biofísicas se sumó con la Presión Humana (Ecuación 5).

$$[\text{Modelo-2 BioFis}] = (([\text{Sue-mod2}] * 0.75.\text{AsGrid}) + ([\text{Veg-mod2}] * 0.25.\text{AsGrid})) \quad (4)$$

$$[\text{Modelo-2}] = (([\text{Vuln BioFis2}] * 0.75.\text{AsGrid}) + ([\text{Ph-mod2}] * 0.25.\text{AsGrid})) \quad (5)$$

Cada grupo de mapas de vulnerabilidad a la desertificación confeccionada, fue objeto de diferenciación de sus áreas potencialmente vulnerable de acuerdo con la aridez de la zona climática donde se encuentran ubicadas.

En la Tabla 7 se exponen los indicadores de la aridez con los respectivos pesos, empleados como variable meteorológica.

Tabla 7. Pesos de las Precipitaciones y la Aridez

Nº	Región Climática Aridez	Pesos
1	Árido	0,56
2	Semiárido	0,26
3	Subhúmedo Seco	0,12
4	Subhúmedo Húmedo	0,06

Estos pesos son el resultado de la evaluación de los criterios de los expertos, los cuales lo fundamentan a partir del concepto que define la desertificación.

Los resultados obtenidos con los diferentes modelos de la Vulnerabilidad a la Desertificación de las tierras de los ecosistemas de Cuba, se validaron en campo, entre un 10 y un 20 % aproximadamente del área total que se identificó en el proyecto, seleccionándose polígonos representativos de las categorías establecidas como vulnerable a la desertificación. También se verificaron los resultados obtenidos en laboratorio con la información proveniente de imágenes aeroespaciales y de otras investigaciones realizadas con anterioridad dentro de la superficie de estudio, en las cuales los fenómenos de degradación de los suelos, eliminación de la cobertura vegetal y la presión humana pueden conducir a la desertificación.

Para realizar la validación en campo fue necesario efectuar una planificación muy cuidadosa en laboratorio y gabinete con los especialistas fundamentales que ejecutaron las expediciones, concibiéndose los itinerarios y los lugares que era necesario verificar en condiciones reales del terreno en función de la distribución

geográfica de los polígonos con mayores vulnerabilidad en los mapas elaborados de antemano.

En cada expedición se utilizaron los mapas topográficos, imagen-mapas y mapa preliminar de áreas vulnerables a la desertificación con los puntos o lugares a verificar, y las coordenadas de estos introducidas en el Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), además de otros medios de orientación y apoyo. Al regresar de la expedición se rectificaron y completaron los datos en laboratorio y gabinete. Con la nueva información procesada se corrieron nuevamente los cuatro modelos establecidos en el proyecto.

Se evaluó la efectividad del sistema diseñado al intervenir de manera interactiva los procesos de recuperación de datos, el análisis y la toma de decisiones. Esto permitió la depuración de los datos menos confiables, así como aumentar la precisión y el rigor científico de los mapas elaborados de degradación de los suelos y los de vulnerabilidad a la desertificación.

III- RESULTADOS ALCANZADOS

III.1- MAPA DE ÁREAS VULNERABLES A LA DESERTIFICACIÓN DE LAS TIERRAS EN CUBA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

La desertificación, como fenómeno natural, es un proceso continuo de la ruptura del equilibrio de diversos factores de la naturaleza, asociados a la incidencia multiplicativa de las acciones humanas. En tal sentido, es difícil evaluar la vulnerabilidad de las tierras de un territorio sin tener presente de manera integral el conjunto de factores que impactan y desencadenan el proceso, una de las formas de lograr esta integración es mediante el establecimiento en cada región de zonas vulnerables en función de las variables de mayor impacto (CEPAL, 2010).

Según los datos de la figura 6, en el archipiélago cubano existen 786 912 ha de zonas muy vulnerables a la desertificación, cantidad que representa 7,20% de la superficie total del país. En sentido general, se puede apreciar que las principales áreas clasificadas en esta categoría se localizan en las provincias de Pinar del Río, Camagüey, Las Tunas y Guantánamo, cuyas coberturas edáficas están representadas fundamentalmente por suelos Alíticos, Fersialíticos, Pardos Sialíticos, Vertisuelos, Hidromórficos y Halomórficos; estos suelos tienen claros signos de degradación por erosión, salinidad y mal drenaje, lo que se acentúa ocasionalmente por acidez, compactación y bajo contenido de materia orgánica.

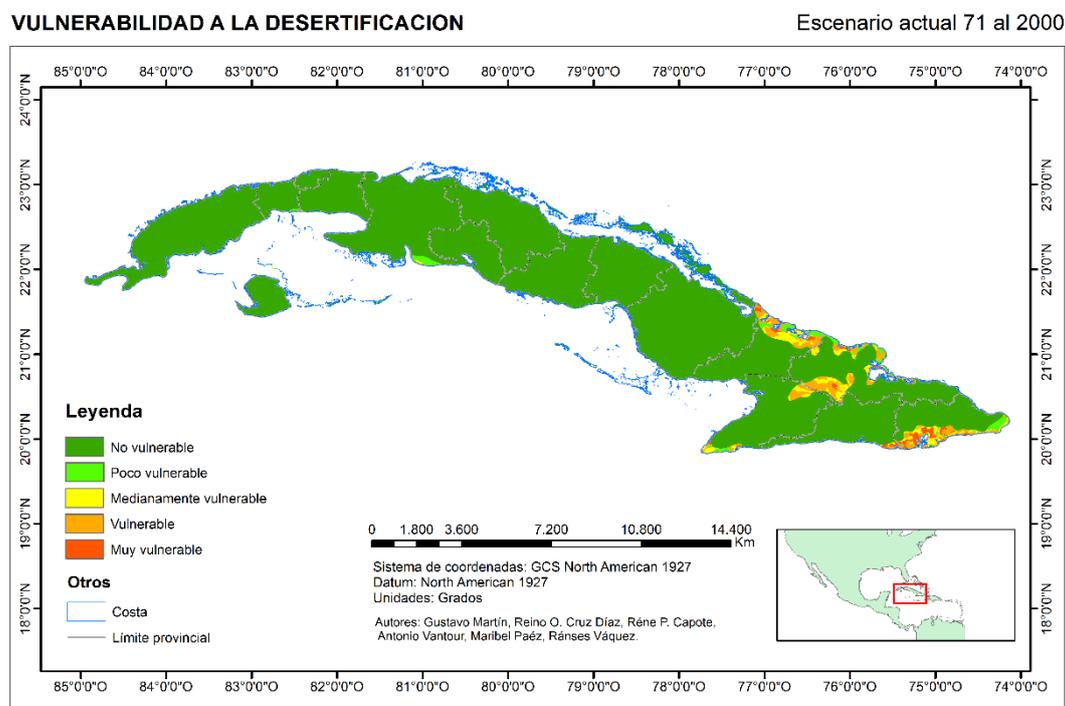


Figura 6. Mapa de Zonas Vulnerables a la Desertificación de Cuba a Escala 1:250 000.

Las zonas en la categoría de vulnerable a la desertificación representan 2 167 942 ha, 19,84% de la superficie total del país, destacándose las provincias de Las Tunas, Holguín y Camagüey, por poseer las mayores extensiones, hay otras provincias que también presentan áreas importantes; las condiciones de la cobertura edáficas de naturaleza Alítica, Fersialítica, Sialítica, Hidromórfica y Holomórfica en estos territorios provinciales, determinan en cada zona esta extrema vulnerabilidad a que se generen procesos de desertificación en las tierras, en particular, en aquella dedicada a la producción agrícola y ganadero, donde el factor antrópico juega un papel importante en su desencadenamiento.

En el caso de la categoría medianamente vulnerable se identificaron 3 313 429,00 ha, 30,33% del total de las áreas del archipiélago cubano. Sobresalen por sus valores en esta categoría las provincias de Camagüey, Ciego de Ávila y Villa Clara, en las cuales los suelos que generan la vulnerabilidad son los Fersialíticos y Pardos Sialítico, debido a los problemas que presentan de erosión, acidez, compactación y bajo contenido de materia orgánica; también hay presencia de suelos Hidromórficos y Vertisoles, cuya degradación es la salinidad y el mal drenaje, así como otros factores negativos asociados a sus propiedades físicas, hidrofísicas y químico-mineralógicas.

Un análisis integral de la zonificación de la vulnerabilidad a la desertificación en el Cuba, demostró que existen 6 268 283,00 ha, 57,37% de superficie total del país que clasifican en las categorías de muy vulnerable, vulnerable y medianamente vulnerable, debido a los factores climatológicos, edáficos y antropogénicos, mientras que 4 656 790,00 ha, 42,63% del total se clasifican como poco y no vulnerable. En general, como se puede apreciar en el mapa las provincias orientales y centrales son las que mayores superficies de vulnerabilidad presentan en comparación con las provincias occidentales, incluido el municipio especial de Isla de la Juventud.

Las categorías evaluadas de poco vulnerable y no vulnerable, se localizan en las provincias occidentales; se aprecia también una no vulnerabilidad en la Isla de la Juventud, así como en los sistemas montañosos de Guamuhaya, Sierra Maestra y Nipe-Sagua-Baracoa, lo que se encuentra asociado al predominio en estos territorios de un clima subhúmedo húmedo y húmedo, en los cuales las precipitaciones anuales son superiores a 1500 mm, además la cobertura edáfica está representada básicamente por suelos Ferralíticos, aunque los mismos tienen también problemas de degradación, tienen bajo índices de erosión, salinidad, mal drenaje y acidez extrema.

Es importante destacar que las pérdidas humanas y económicas causadas por los desastres, ante peligros de origen natural en general, así como por los de origen geológico, geofísico y fundamentalmente de carácter meteorológico, tales como el calentamiento global, lluvias intensas, huracanes intensos, sequías prolongadas, etc, se han incrementado en los últimos años, transformando a los ecosistemas, en particular, aquellos que se relacionan con la producción de alimentos, en más vulnerables a estos fenómenos (Cueva, et al; 2010). Estos fenómenos también están presente en el archipiélago cubano y se convierten en elemento desencadenante o coadyuvante a los procesos de degradación y desertificación de las tierras con impactos importantes en los rendimientos y producción agrícola (Vantour, et al; 2010).

Dentro del concepto de vulnerabilidad se integra la susceptibilidad de toda la infraestructura socioeconómica necesaria para la vida del hombre y constituye el factor principal sobre el cual el hombre puede incidir para reducir los efectos de posibles desastres, en particular, en aquellas localidades con menor capacidad de resistencia (CITMA, 2002; Batista, 2009). Para reducir la vulnerabilidad a la desertificación en Cuba, a corto y mediano plazo, es importante que haya un aumento de la resiliencia de las tierras, definida como la capacidad de un sistema de suelos de volver a encontrar un nuevo equilibrio después de haber sido perturbado (Blum, 1999), es decir, aumentar su energía de resistencia a la degradación.

En el presente informe es necesario aclarar que se obtuvo además, como resultados parciales, el mapa de áreas vulnerables a la desertificación por el suelo y por la presión humana que, aunque no estaban previstos como parte de los objetivos del proyecto, eran necesarios para posibilitar la verificación del objetivo principal.

En la figura 7, se puede apreciar que las áreas muy vulnerables y moderadamente vulnerable, debido a la degradación de los suelos, ocupan en el territorio nacional una superficie total de 34 033,38 km², o sea, 31,04%, estas categorías de vulnerabilidad tienen manifestación en todo el archipiélago cubano, en particular, Pinar del Río, Ciego de Ávila, Camagüey, Las Tunas, Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo, así como en la Isla de la Juventud. En estas regiones predominan suelos Alíticos, Fersialíticos, Pardos Sialíticos, Vertisoles, Hidromórficos y Halomórficos, los cuales está afectados por procesos erosivos, salinidad, exceso de hidromorfía y compactación. En esta categoría, el peligro de los procesos de desertificación de las tierras es alto, debido al clima más seco con menores precipitaciones anuales, altas temperaturas y un aumento de la sequía temporal y espacial.

ÁREAS VULNERABLES A LA DESERTIFICACION POR EL SUELO

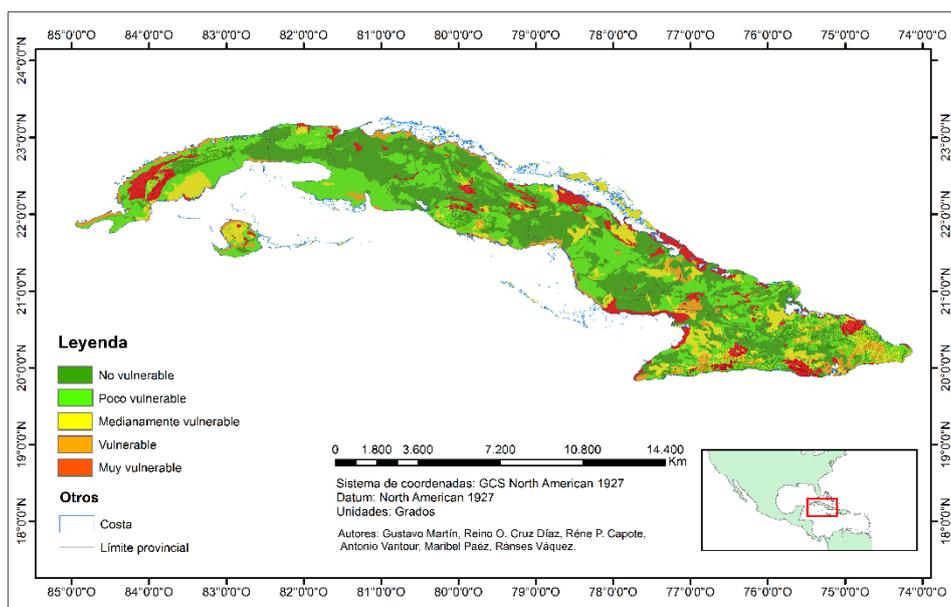


Figura 7. Mapa de Áreas Vulnerables a Desertificación por Suelos. Fuente: Generado por los Autores

Según los datos de la figura 8, en el archipiélago cubano se localizan 4 729 389,00 ha muy vulnerable a la desertificación por la presión humana, esta cifra representa 43,14% de la superficie total del territorio nacional. En sentido general, puede apreciarse que las principales áreas clasificadas en esta categoría se localizan en las provincias centrales y orientales del país, cuyas coberturas edáficas están representadas por suelos Fersialíticos, Pardos Sialíticos, Vertisuelos e Hidromórficos, todos ellos con claros signos de degradación.

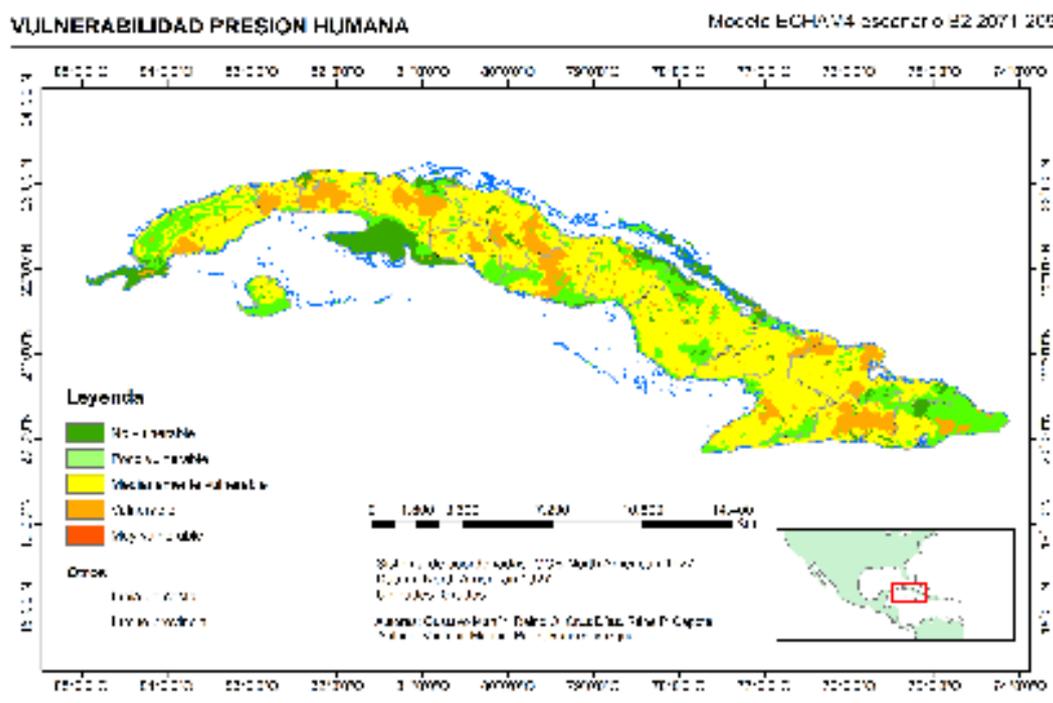


Figura 8. Mapa de Áreas Vulnerables a Desertificación por la Presión Humana a escala 1:250 000. Fuente: Generado por los Autores.

En el territorio nacional, la categoría de vulnerable a la desertificación por la presión humana representa 850 932,00, 7,76% de la superficie total del país (Figura 8), destacándose las provincias de Camagüey, Ciego de Ávila, Las Tunas, Holguín y Guantánamo, por poseer las mayores extensiones; mientras que en el caso de la categoría medianamente vulnerable se contabilizaron 1 003 650,00 ha, 9,15% del total de las áreas del archipiélago cubano. Sobresalen por sus valores en esta categoría la provincia de Guantánamo y el municipio especial de Isla de la Juventud.

Un análisis global o integral de la vulnerabilidad a la desertificación por la presión humana en el archipiélago cubano, demostró que existen 6 583 941,00 ha (60,05% de superficie total del país) que clasifican en las categorías de muy vulnerable, vulnerable y medianamente vulnerable, mientras que 4 379 352,00 ha, 39,95% del total se

catalogan como poco y no vulnerable (Figura 22). Las dos últimas categorías evaluadas, se localizan en las provincias occidentales; se aprecia también una no vulnerabilidad en la Isla de la Juventud, así como en los sistemas montañosos de Guamuñaya, Sierra Maestra y Nipe-Sagua-Baracoa.

Por este motivo, las consecuencias de la degradación son extremadamente graves para las poblaciones que viven en el campo cubano. De hecho, al limitar las posibilidades que brinda la naturaleza, la degradación y con ello el inicio de la desertificación reduce la producción y le da un cariz cada vez más aleatorio al problema de cada habitante o núcleo familiar en aquellos agroecosistemas con serias limitaciones productivas. Obligado a resolver en lo posible la situación imperante, los campesinos y los obreros agrícolas de estos territorios afectados, hacen lo que pueden para sobrevivir, y esta actitud lamentablemente contribuye a empeorar la degradación de las tierras y a impedir cualquier clase de desarrollo.

Es conocido que la primera reacción de una población campesina que intenta sobrevivir en los ecosistemas afectados por la degradación de las tierras, es intensificar la explotación de la misma, así como de otros recursos naturales más accesible a su capacidad productiva y que le permiten la subsistencia familiar a corto y mediano plazo. Es casi seguro, que el nivel de presión que ejerce sobre el entorno para obtener sus alimentos y otros medios de vida, se puede evaluar de bajo, aunque preocupante con relación al futuro si no toma medidas para no sobreexplotar los suelos y agotar el restos de los recursos disponibles.

El segundo paso, consiste en liquidar todo lo que se posee, equipos inclusive, para encarar las necesidades alimentarias y monetarias engendradas por el desarrollo o de una crisis alimentaria (compras de víveres y otros sustentos necesarios). El tercero es el rápido aumento de la emigración rural: los varones adultos o los jóvenes de ambos sexos emigran por temporadas o durante varios años en busca de trabajo a otras regiones del territorio nacional, especialmente a las ciudades, o fuera del país. A veces se trata de un éxodo masivo en el que toda la población se pone en marcha en búsqueda de condiciones de vida más aceptables. Estas estrategias de supervivencia suelen conllevar la ruptura de la comunidad y a veces de la familia, con lo que se crean condiciones de desertización.

El ser humano que trata de sobrevivir en condiciones adversas como consecuencias de la degradación y desertificación de las tierras, suele encerrarse en sí mismo y comienza a comportarse de manera individualista, egoísta y agresivo, en muchos recurre al alcohol y al robo como modo de vida. Estas actitudes pueden causar conflictos entre grupos de familias o individuos dentro de una comunidad o poblado con problemas en las tierras para satisfacer la alimentación o los elementos monetarios necesarios para lograr la estabilidad familiar y de su vida propia (FAO; 2010). Estas tierras que comienzan abandonarse constituyen focos de plantas indeseables y reservorios de plagas y enfermedades con capacidad para afectar a los pocos sembrados que se desarrollan en el entorno, así como elemento primario de ciclos de enfermedades infecciosas que impactan a las poblaciones circundantes.

Por suerte en Cuba, a pesar de los graves problemas económicos, la población rural tiene asegurado los elementos básicos para resistir y superar esta problemática relacionada con la degradación de las tierras y los procesos de desertificación. La dirección política y de gobierno del país, desde los primeros años de la Revolución, prestó una atención especial a la conservación de los recursos naturales y fueron creadas instituciones para el desarrollo de las investigaciones relacionadas con la protección del suelo y el establecimiento del control para su uso y manejo. En la década de los años 90 del pasado siglo fue aprobado por el Gobierno, bajo la dirección del MINAGRI, el Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos (PNMCS), con el cual se pretende revertir la situación actual y devolverle aquellos agroecosistemas degradados su capacidad productiva en la producción de alimento, esto permitiría sostener a la población en las localidades y evitar el éxodo.

III.2- MAPA DE ÁREAS VULNERABLES A LA DESERTIFICACIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO POR LA COBERTURA DE LAS FORMACIONES VEGETALES DE CUBA A ESCALA 1:250 000

La vegetación es el conjunto de vegetales que viven en un lugar y le imprimen un aspecto particular, a causa de la fisonomía de las plantas presentes, sus proporciones, su disposición en el espacio y sus relaciones. Se pueden establecer como "unidades" las llamadas formaciones vegetales (bosques, matorrales, herbazales, etc.); este concepto identifica los grandes contornos que determinan la fisonomía de la vegetación y reconoce los grupos de plantas que presentan un carácter fisionómico definido. La vegetación interacciona con las condiciones ecológicas y las refleja de manera que constituye un indicador eficaz de los recursos ecológicos y su estado, de acuerdo a la composición y estructura de las especies que la caracterizan (Berazaín, 1979; Capote y Berazaín, 1984).

De acuerdo con los resultados de este estudio, 6 463 664,00 ha, el 58,94% de la superficie del país, son vulnerable a los procesos de desertificación por el estado de la cubierta vegetal (Figura 9), en estas cifras, la categoría de muy vulnerable representa más del 51% de las áreas. En estos territorios comprendidos entre las categorías de medianamente vulnerable y muy vulnerable, predomina la vegetación secundaria, constituida en lo fundamental por cultivos agrícolas de rotación, matorrales y otras especies que le brindan poca cobertura a las tierras de estos ecosistemas, lo que la hace vulnerable a la degradación.

ÁREAS VULNERABLES A LA DESERTIFICACION POR LA VEGETACIÓN Escenario actual 1971 al 2000

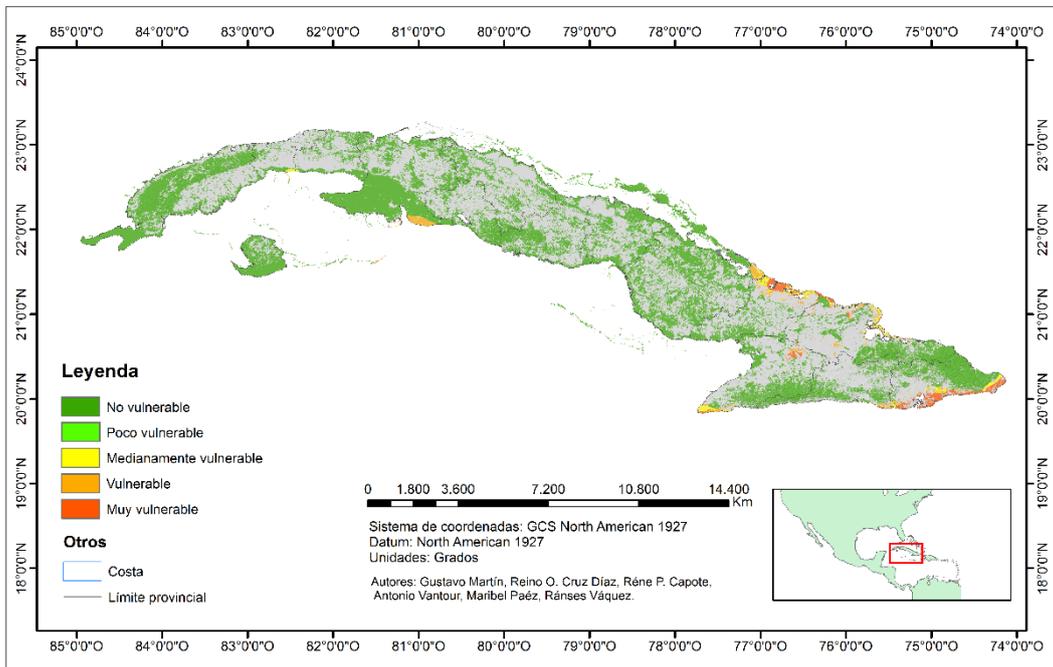


Figura 9. Mapa de Áreas Vulnerables a Desertificación por Vegetación Escala 1:250 000. Fuente: Generado por los Autores.

Por otra parte, se identificaron 3 596 237,00 ha, un 32,79% de la superficie del archipiélago cubano que clasifica en la categoría de no vulnerable. Estos territorios se corresponden fundamentalmente con las zonas montañosas y áreas de las provincias de Artemisa y Matanzas, donde abunda la vegetación de bosque, cultivos permanente y semipermanente, lo que brinda una mayor cobertura a los suelos, los cuales además tienen características con alta resiliencia, es decir, con capacidad de volver a encontrar un nuevo equilibrio dinámico después de haber sido perturbado.

En los territorios donde la vulnerabilidad a la desertificación por la vegetación es baja, se localizan suelos con diferentes características pedológicas, predominando en las regiones montañosas suelos de naturaleza Alítica, Ferrítica, Ferralítica, Fersialítica y Sialítica, los cuales presentan diversos grados de degradación cuando la cobertura natural de bosque o cultivos permanentes, ha sido eliminada de manera indiscriminada, impactando la lluvia y otros fenómenos atmosféricos en la destrucción de sus propiedades y su capacidad productiva; no obstante, en estas montañas el régimen de humedad mayor de 2000 mm anuales limitan la aparición de procesos relacionados con la desertificación en zonas secas.

Por otra parte, los territorios cubanos con baja vulnerabilidad a la desertificación por la vegetación, ubicados en las llanuras, están integrados básicamente por suelos de naturaleza Ferralítica, Fersialítica y Sialítica, los cuales tienen una mayor capacidad de resiliencia, lo que unido a una cobertura vegetal de cultivos permanentes y semipermanentes, lo protegen contra la erosión y otros fenómenos degradantes,

cuando los cultivos establecidos son de rotación o sembrados en hileras, la vulnerabilidad a la desertificación puede aumentar. Desde el punto de vista del régimen de humedad, las regiones con estas características reciben anualmente más de 1500 mm, no son regiones secas con impactos severos de falta de humedad durante etapas prolongadas, excepto cuando se genera una sequía con un espacio-temporal indefinido.

Es importante tener presente en la valoración de la vulnerabilidad a la desertificación de los ecosistemas de Cuba, que la línea base de la cobertura vegetal de cubana se encuentra agrupada por las formaciones vegetales de acuerdo a su potencial bioclimático, bosques, matorrales y vegetación secundaria, donde se incluyen las áreas cultivadas, en tal sentido, existen tres subvariables que pueden incidir con menor o mayor intensidad en los procesos de desertificación en un territorio determinado, estas subvariables o indicadores son las siguientes: Cobertura de las formaciones vegetales o nivel de superficie que protegen, la densidad de la cobertura y el grado de intervención que ha sufrido la misma en el tiempo y el espacio (MARNR, 1996; Capote et al; 1989; 2005 y 2006).

Los árboles de las formaciones boscosas, debido a su supervivencia en el espacio donde se ubican y a su capacidad de enraizarse firmemente en la tierra, suelen cumplir una función protectora clave contra la degradación de los suelos. Por ello es que su ausencia constituye una gran desventaja, en particular, si están localizados en territorios donde impera un clima seco y predominan suelos con elevada potencialidad de degradación. No obstante, hay determinadas especies de árboles, fundamentalmente latifolias que son excelentes en su capacidad de protección, mientras que otras como las coníferas, son menos adecuadas.

La vegetación secundaria en relación con los diferentes estadios sucesionales y los factores antropogénicos que la determinan, entre estos tipos se presentan bosques, matorrales y comunidades herbáceas. La vegetación cultural se relaciona con la presencia de cultivos, pastos y plantaciones forestales. En general, cuando falla la cobertura de la vegetación, los procesos de degradación de las tierras se incrementan, en particular, en aquellos suelos cuyas características determinan una elevada potencialidad erosionable y de afectación por salinidad, fenómeno que aumentan la vulnerabilidad de los ecosistemas cubanos a la desertificación y como consecuencia a su baja productividad en la producción de alimentos.

III.3- CREACIÓN DE BASES DE DATOS EN AMBIENTE DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS VULNERABLES A LA DESERTIFICACIÓN DE LAS TIERRAS EN CUBA

La base de datos elaborada en ambiente SIG fue el resultado que permitió realizar el análisis para obtener el mapa de áreas vulnerables a la desertificación ante el cambio climático. Se encuentra organizada por temáticas y comprende las capas de: Geología a escala 1:100 000 (Echevarría, et al; 2009), Modelo Digital del Terreno con 90m de resolución (STRM, NASA, versión 4, 2009), Suelo de Cuba escala 1:250 000 según la nueva versión de la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Instituto de Suelos, 1999), Isoyético de las Precipitaciones de Cuba (INRH, 2006), Índice de Aridez de

Cuba (Solano, et al; 2008), Fragmentación de Vegetación en Cuba, a escala 1:250 000 (Capote, 2013), Uso de la tierra, Asentamientos y Red Vial (Instituto de Planificación Física, 2013); Población de Cuba por municipios (Oficina Nacional de Estadísticas,2012), Áreas vulnerables a la desertificación ante el cambio climático e Imágenes de satélite Landsat-8 2013-2014; la misma puede ser consumida utilizando software libre PostGIS y QGIS como muestra la figura 10.

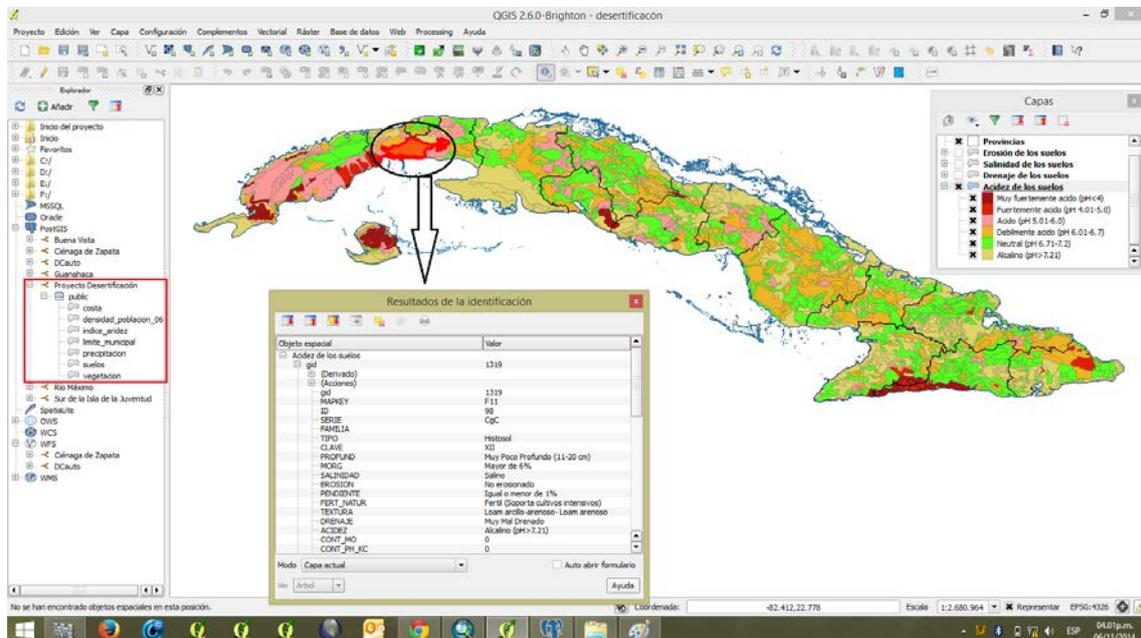


Figura 10. Ejemplo de consumo de base de datos PosGIS. Fuente: Generado por los Autores.

Cabe destacar que existe una fuerte base teórico-metodológica e informativa con un elevado grado de detalle, desarrollada a lo largo de varias décadas en Cuba, en cuanto a clasificación, cartografía y propiedades de los suelos que posibilitó la conformación de esta base de datos pedológica y edafológica sobre una plataforma científica para su aplicación en el SIG (Instituto de Suelos, 2006; Cruz et al; 2008).

Los datos geográficos estaban en su mayoría en formato análogo, mapas topográficos y temáticos en papel, fotos aéreas, gráficos, tablas, monografías, censos, etc. En otros casos, en formato digital, mapas digitalizados con anterioridad, imágenes de satélites, ficheros de GPS y bases de datos automatizadas, elaboradas con otros fines a los objetivos de este proyecto. En todos los casos, la entrada al sistema se realizó teniendo en cuenta su naturaleza, diferenciada en información gráfica y alfanumérica.

Hubo un consenso general entre los participantes del proyecto, que la información recopilada tenía que ser analizada y reevaluada con profundidad con el propósito de aumentar su rigor científico actual y poderla utilizar en función de los objetivos y tareas planificadas en este proyecto. Teniendo en cuenta este principio, la Base de Datos se diseñó y confeccionó nueva, combinando los diversos elementos que eran necesarios para acoplarla al Sistema de Información Geográfica que se pretendía diseñar e

implementar. Además, siempre se tuvo en cuenta los metadatos de los datos introducidos para asegurar su confiabilidad.

III.4- MEDIDAS PREVENTIVAS ALTERNATIVAS DE MANEJO PARA LA ADAPTACIÓN

En el contexto del presente proyecto entendemos por medidas de mitigación aquellas que deben realizarse por la intervención humana para reducir el impacto cambio climático en las áreas vulnerables a la desertificación, es por ello que las propuestas de medidas dependerán de resultados de estudios a nivel más local con escala de mayor detalle y deben estar dirigidos a:

Mejorar la productividad de la tierra y la eficacia en el uso del agua, previendo que continúe su mal uso y la degradación de estos recursos naturales.

Hacer que los planes de mitigación del territorio sean más eficaces en la orientación de las acciones para proteger los ecosistemas.

Incrementar la efectividad de la asignación financiera orientada a mejorar las condiciones de vida de las poblaciones afectadas por la desertificación.

No obstante, consideramos que algunas de las alternativas de medidas a utilizar pueden ser las siguientes:

Proteger los suelos en las áreas poco vulnerables a la desertificación del crecimiento desmedido de nuevas urbanizaciones.

Hacer corresponder las características y posibilidades de adaptación de los cultivos a la vocación de los suelos, clave del éxito del ordenamiento del territorio agrícola y no agrícola del país, acorde con las variables meteorológicas a modificarse por el cambio climático.

El área plantada de arroz, deberá realizarse por el método de secano, menos exigente en el uso de agua y fertilizantes. De esta manera se evitaría un gran número de emisiones por el cambio en el procedimiento en el cultivo del grano, con la consecuente reducción en el uso del agua y de fertilizantes por ha cultivada.

Cambio de la Agricultura de Altos Insumos a la de Conservación. Las emisiones de N₂O provenientes del uso de fertilizantes disminuyen considerablemente en la agricultura de conservación, ya que ésta emplea un 10 - 15% menos fertilizante que la agricultura de altos insumos. Por otra parte, en la agricultura de conservación se mantiene una cubierta permanente del suelo que impide el escape del carbono.

En este sector forestal se propone como medidas para la adaptación: incrementar de la cobertura forestal en las áreas más vulnerables a la desertificación ante el cambio

climático y el cambio de categoría de bosques de productivos a conservación en las áreas medianamente vulnerables a la desertificación.

Para el 2015, la superficie boscosa del país se pretende sea 29,4 % (CITMA, 2011), lo que significa un incremento de hectáreas a reforestar hasta el año 2015; lo que significara que aumentara el potencial de absorción en nuestro territorio.

IV- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El resultado de la investigación permitió arribar a las conclusiones siguientes:

1. En Cuba las tierras medianamente vulnerables hasta muy vulnerables a la desertificación ante el cambio climático en un escenario máximo (HadCM3P_A2_71_99), pueden llegar a ocupar una superficie de 6 268 283,00 ha, el 57,37%. En el caso de las tierras poco vulnerables se localizan en 1 021 019,00 ha, un 9,35%, mientras que las áreas que no presentan vulnerabilidad se encuentran presentes en 3 635 771,00 ha, el 33,28%.
2. La degradación por erosión de los suelos está ampliamente difundida en el territorio nacional, alrededor de 7 381 809,84 ha, el 68,47% de las tierras están erosionadas en diversas categorías, mientras que 3 397 598,67 ha, un 31,51% de la superficie del país, no presentan signo de degradación.
3. Como resultado de actualización del mapa de áreas vulnerables a la desertificación por la vegetación se constató que en un escenario máximo (HadCM3P_A2_71_99) de la superficie del país, será vulnerable a los procesos de desertificación.
4. La creación de la base de datos en ambiente SIG compuesto por 11 capas fundamentales, permitió mediante algebra de mapas obtener el mapa de áreas vulnerables a la desertificación ante el cambio climático.

RECOMENDACIONES

1. Incluir los resultados de la presente investigación en la elaboración de la Estrategia Nacional de la Lucha Contra la Desertificación y la Sequía.
2. Profundizar estas investigaciones en los ecosistemas más vulnerables de las provincias de Guantánamo, Granma, Las Tunas y Camagüey, para lo cual se deben establecer ventanas cartográficas a escala 1:25 000.
3. Divulgar estos resultados, así como emplearlos como material de consulta, capacitación y docencia, en el Programa Nacional de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía, y para mitigar los impactos del cambio climático.

V- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraham, M. E., & Beekman, G. B. (2006). *Indicadores de la Desertificación para América del Sur. IICA, BID* (Primera Edición ed.). Mendoza, Argentina, pp.
- AMA. (2006). Estado de la Degradación del Medio Ambiente Cubano, Políticas y Acciones para Enfrentar su Mejoramiento Sostenible. 45. Retrieved from www.ama.cu website:
- Blum, W. E. H. (1999). *Resiliencia del Suelo: La Capacidad del Suelo de Reaccionar a Impactos*. Paper presented at the CD 14 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. CLACS-99. Pucón (Temuco), Chile. 4, pp.
- Breckle, S. W. (2008). *Salinity and Agricultura*. Paper presented at the Programa de Conferencias del IVIC, Caracas, Venezuela.
- Centella, A., Bezanilla, A., Martínez, D., & Vichot, A. (2013). *Informe de Resultado Científico Evaluación del impacto de diferentes dominios utilizando el modelo climático regional PRECIS sobre la región del Caribe. Proyecto: Evaluación de los Impactos Potenciales del Cambio CLimático sobre la Biodiversidad y Desarrollo de Estrategias de Adaptación en dos Regiones de Ecosistemas Frágiles de Cuba*. Instituto de Meteorología. La Habana. pp, 57.
- Centella, A., Lapinel, B., Solano, O., Vásquez, R., Fonseca, C., Cutié, V., . . . Duarte, L. (2006). *La sequía meteorológica y agrícola en la república de Cuba y la República Dominicana* (Vol. Tomo I), pp. 174.
- CEPAL. (2010). *Panorama de la Agricultura de América Latina y el Caribe 2010-2020*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe; Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Santiago de Chile. pp, 85.
- CITMA. (2006). *III Informe Nacional Comité de Revisión Implementación de la Convención (CRIC) de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y la Sequía*. La Habana, República de Cuba. pp, 49.
- CITMA. (2000). *Plan de Acción Nacional de Lucha Contra la Desertificación y Efectos de la Sequía de Cuba*. La Habana, República de Cuba. pp, 70.
- CITMA. (2011). *Proyecto de la Estrategia Ambiental Nacional 2011-2015. Versión 1.10.23*. La Habana, Cuba. pp, 22.
- CLD. (2006). ¿Qué es la Desertificación? *Mecanismo Mundial de Lucha contra la Desertificación y la Sequía*, 4. Retrieved from <http://193.138.128/Spanish/About/desertication.htm>
- EMDC. (2002). *Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil. Glosario de Términos de Defensa Civil. Defensa Civil, República de Cuba*. La Habana, Cuba. pp, 29.
- FAO. (2006). *Conceptos de Peligro, Riesgo y Vulnerabilidad de los Ecosistemas a los Desastres Naturales*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma. pp, 65.
- FAO. (2005). Definiciones y Enfoque General de los Problemas de Desertificación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (pp. 10). Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/Vo265s/Vo265s0.1.htm>
- FAO. (1993). Desarrollo Sostenible de las Tierras Áridas y Lucha Contra la Desertificación. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)* 84. Retrieved from www.fao.org
- FAO. (2010). Indicadores Biofísicos y Socioeconómicos de la Degradación y la Desertificación de las Tierras. *Boletín de Suelos de la FAO* 95, 67. Retrieved from www.fao.org
- Fuentes, E., Paneque, J., & Cancio, R. (2006). *Evaluación de las Tierras en Cuba y sus Factores Edáficos Limitantes*. Paper presented at the En Resúmenes Taller Nacional de Inserción

- al Proyecto "Evaluación de la Degradación de las Tierras Secas (LADA)", La Habana.23-6, pp.
- GEOCUBA. (2004). *Informe Mapa Base Topográfico Digital de la República de Cuba a Escala 1:250 000 en Formato MapInfo*. GEOCUBA. La Habana. pp, 15.
- Gutiérrez, T., & Rey, O. (2014). *Principales características del cambio climático en el 2014*. Inédito. pp, 38.
- Ibáñez, J. J. (2006). Desertificación y Cambio Climático y Huida Hacia Adelante. *Weblogs. Universo Invisible Bajo Nuestros Pies. Los Suelos y La Vida*, 5. Retrieved from <http://weblogs> website:
- INRH. (2006). *Mapa Isoyético de Cuba. Período 1961-2000*. Instituto Nacional de Recursos Hídricos. La Habana. pp, 15.
- Instituto_de_Suelos. (2001). *Programa Nacional de mejoramiento de Suelos*. Paper presented at the AGROINFO, MINAGRI, La Habana.39, pp.
- IPCC. (2001a). *Impactos regionales del cambio climático. Evaluación de la vulnerabilidad*. pp,
- IPCC. (2013). *Summary for policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. pp, 1-27.
- IPCC. (2001b). www.ipcc.ch Climate-changes-2001/synthesis-syr/spanish/wg2-summaries.pdf, from <http://www.ipcc.ch/pdf/>
- ISMET. (2008). *Curso Cambio Climático Parte 2, Universidad para Todos, Editorial Academia*. Instituto de Meteorología. La Habana.pp, 16.
- Kovda, V. A. (1977). Contener la Desertificación en el Mundo es una Tarea Urgente. *Correo de la UNESCO. Una Ventana Abierta sobre el Mundo, Vol. 30(7)*, pp. 11-4.
- Lapinel, B., Varela, N., & Cutié, V. (1998). *Sequía, Aridez y Desertificación. Términos de referencia. Nueva Versión del Sistema Nacional de Vigilancia de la Sequía. Informe Científico-Técnico*. Oficina Territorial de Meteorología de Camagüey. Ciudad de Camagüey. pp, 48.
- Nakićenović, N., & Swart, R. (2000). *Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. pp, 599.
- OMM. (1992). *Vocabulario Meteorológico Internacional. Organización Meteorológica Mundial*, (182), pp. 35.
- Paz Castro, L. R. (2010). El cambio climático y sus consecuencias para Cuba. 13. Retrieved from PNUD. (2007). *Informe sobre Desarrollo Humano 2007-2008. La Lucha Contra el Cambio Climático: Solidaridad Frente a un Mundo Dividido*. Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (pp. 386).
- PNUMA. (2002). La Desertificación en América Latina y el Caribe. *PNUMA y ORPALC, México D. F., México*, 35. Retrieved from <http://www.rolac.unep.mx/deselac/index.htm>
- PNUMA. (2004). La Desertificación y el Desarrollo en América Latina. *PNUMA y ORPALC, México D. F., México*, 42. Retrieved from <http://www.rolac.unep.mx/deselac/index.htm>
- Ramírez, C. H., Valencia, J. B., & Paniagua, C. F. O. (2015). Models of Agricultural Vulnerability to the effects of climate change. *CIMEXUS, Vol. 9(2)*, pp. 31-48.
- Rivero, R. V., Lapinel, B., & Rivero, R. (1995). *Mapas de Radiación, Evapotranspiración Potencial e Índices de Aridez para Cuba.-Camagüey": Departamento de Documentación, Centro Meteorológico Territorial*. pp,
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*: MacGraw Hill, pp. 20.

- Solano, O., Lapinel, B., Centella, A., & Vázquez, R. (2008). Estudio de la Sequía en Cuba. Componentes Agrometeorológicos. *Instituto de Meteorología. La Habana, Vol. 2*, pp. 369.
- Solano Ojeda, O. J., Vázquez Montenegro, R. J., Centella Artola, A., Besanilla, A., Gutiérrez Gárciga, T. d. J., Álvarez Hernández, O., . . . Fernández Núñez, M. d. P. (2012). "Proyección futura de índices agroclimáticos de interés para cuba". *Informe de Resultado Proyecto 4084 Segunda comunicación de cuba a la convención marco de las naciones unidas sobre cambio climático*. pp, 103.
- UNCCD. (2007). Cambio climático y desertificación. *Organización Meteorológica Mundial. Tiempo. Clima. Agua*, pp. 4.
- UNCCD. (2004). ¿Qué es la Desertificación? Mecanismo Mundial de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía en el Panorama Mundial en la Actualidad. 15 pp. Retrieved from <http://193.194.138.128/Spanish/About/desertification>
- Urquiza, M. N., Alemán, C., Flores, L., Ricardo, M. P., & Aguilar, Y. (2011). *Manual de Procedimientos para el Manejo Sostenible de Tierras*. . La Habana. pp, 186.
- Vantour, A., Cruz, R. O., Páez, M., Martín, G., & Capote, R. P. (2010). *Vulnerabilidad de las Tierras a la Desertificación en Cuba*. Paper presented at the Congreso 45 Aniversario del Instituto de Suelos y VII Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo.178, pp.
- Vázquez, R., Fernández, A., Solano, O., Lapinel, B., & Rodríguez, F. (2007). *Mapa de Aridez de Cuba*. pp, 7.
- Zahedi, F. (1986). The Analytic Hierarchy Process. A Survey of the Method and its. Applications. *Interfaces, Vol. 16*, pp.
- Zanazzi, J. L. (2003). Anomalías y Supervivencia en el Método de Toma de Decisiones de Saaty. Problemas del Conocimiento en Ingeniería y Geología. *Editorial Universitaria. Córdoba, Argentina, Vol. 1*, pp. 148-70.