



Avances
ISSN: 1562-3297
cvg@ciget.vega.inf.cu
Instituto de Información Científica y Tecnológica
Cuba

Dinámica de la vegetación después del disturbio provocado por cuatro huracanes

Muñoz Labrador, Yandry Jesús; Milián Cabrera, Iluminada de la Caridad; Díaz Díaz, Sandra Pilar
Dinámica de la vegetación después del disturbio provocado por cuatro huracanes

Avances, vol. 23, núm. 1, 2021

Instituto de Información Científica y Tecnológica, Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=637869233003>

Dinámica de la vegetación después del disturbio provocado por cuatro huracanes

Vegetation Dynamics after the disturbance caused by four hurricanes

Yandry Jesús Muñoz Labrador

Delegación del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio

Ambiente en Pinar del Río, Cuba

yandrylabrador@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-4045-9110>

Redalyc: [https://www.redalyc.org/articulo.oa?](https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=637869233003)

id=637869233003

Iluminada de la Caridad Milián Cabrera

Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de

Oca, Cuba

iluminada@upr.edu.cu

 <https://orcid.org/0000-0001-8665-2285>

Sandra Pilar Díaz Díaz

Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de

Oca, Cuba

sandrap@upr.edu.cu

 <https://orcid.org/0000-0003-0974-4551>

Recepción: 09 Julio 2020

Aprobación: 20 Noviembre 2020

RESUMEN:

Michael

PALABRAS CLAVE: índice de vegetación, imágenes *Landsat*, eventos meteorológico, península Guanahacabibes.

RESUMEN:

La presente investigación tiene como objetivo el cálculo del índice de Vegetación Diferencial Normalizado, utilizándose para ello imágenes satelitales del Landsat 7 y 8 tomadas por sus respectivos sensores, cuya resolución es de 30m para las bandas espectrales y de 15 m la banda pancromática, en el área de la reserva de la biosfera Península de Guanahacabibes, la cual comprende los principales cambios en la respuesta espectral de las formaciones boscosas en los últimos veinte años desde 2000-2019 tras el paso de los huracanes Isidore y Lili en 2002, Iván en 2004 y Michael en 2018 que hicieron grandes afectaciones al área en estudio; permitiendo de esa forma la clasificación de la vegetación en distintos estados que van desde el conservado hasta el muy degradado teniendo como premisa la respuesta, firma o signature espectral de la vegetación en las bandas tres y cuatro para Landsat 7 y cuatro y cinco para Landsat 8, estableciendo valores que van desde los 0.24 μ m-1 μ m. Además, se obtiene como resultado que la vegetación de la reserva es muy susceptible al paso de este tipo de eventos climatológicos y que demora cierto tiempo en el restablecimiento de sus valores iniciales.

PALABRAS CLAVE: índice de vegetación, imágenes *Landsat*, eventos meteorológico, península Guanahacabibes.

ABSTRACT:

This research aims to calculate the Normalized Differential Vegetation Index, using Landsat 7 and 8 satellite images taken by their respective sensors whose resolution is 30m, spectral bands and 15m panchromatic band in the Guanahacabibes Peninsula biosphere reserve area, which includes the main changes in the spectral response of forest formations in the last twenty years from 2000-2019 after the passage of hurricanes *Isidore* and *Lili* in 2002, *Ivan* in 2004 and *Michael* in 2018 that have affected the area; Allowing in this way the classification of vegetation in different states that range from conserved to very degraded, having as a premise the signature or spectral signature of the vegetation in bands three and four for Landsat 7 and four and five for Landsat 8, establishing values ranging from 0.24 μ m-1 μ m. In addition, it has been shown that the vegetation of the reserve is very susceptible to the passage of this type of weather events and that it takes some time to restore its initial values.

KEYWORDS: vegetation index, landsat images, weather events, Guanahacabibes Peninsula.

INTRODUCCIÓN

Según Chuvieco (1996), la caracterización espectral de las masas vegetales constituye una de las tareas más interesantes en teledetección. Pese a su gran importancia, aun ofrece notables dificultades como consecuencia de los múltiples factores que influyen en la radiancia final detectada por el sensor, en primera instancia, ha de considerarse la propia reflectividad de la hoja, en función de su estado fenológico, forma y contenido de humedad, es preciso además tener en cuenta las características morfológicas de la planta: su altura, perfil, forma y contenido de humedad en función de su estado fenológico, grado de cobertura del suelo, etc., que provocan una notable modificación de su comportamiento reflectivo.

Otros factores son los derivados de la situación geográfica de la planta: pendiente, orientación, asociación con otras especies, geometría de la plantación, etc., siendo algunos de estos elementos tenidos en cuenta a la hora de realizar los análisis espectrales en el presente trabajo, es por ello que basados en estos antecedentes se ha dirigido y consolidado la presente investigación teniendo como herramientas estas novedosas tecnologías del geoprocesamiento integrado (Chuvieco, 1996).

Cabe destacar que después de una intensa búsqueda de información sobre la utilización de estas tecnologías en el área, no se mostraron evidencias de trabajos anteriores de este tipo, solo los resultados obtenidos del proyecto Fortalecimiento de la gestión del desarrollo integral y sostenible de la península de Guanahacabibes, Reserva de la Biosfera, Pinar del Río, Cuba (Camacho, Baena & Layva, 2009) entre Cuba y Canadá, coordinado por la Oficina para el Desarrollo Integral de Guanahacabibes (ODIG), utilizándose una imagen Landsat 7, dónde el análisis se realiza sin utilizar la novedosa técnica del cálculo del Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).

La investigación tiene lugar en la reserva de la biosfera península de Guanahacabibes que constituye un área de recursos manejados con la presencia del Parque Nacional Guanahacabibes (Díaz, Carreras & Sánchez, 2012), donde se realiza un análisis de la vegetación después del paso de los eventos climatológicos; huracanes: Isidore, Lili, Iván y Michael (NORFIPC, 2018) que han afectado directamente la zona, utilizándose para esto algunas técnicas del geoprocesamiento integrado, por lo cual se tuvo en cuenta que en la teledetección la identificación de los materiales de la superficie terrestre y los fenómenos que en ella se operan a través de su firma o signatura espectral (Sacristán, 2006).

Si bien es cierto que el paso de los huracanes han provocado daños a las formaciones boscosas, donde se han considerado valores cualitativos y estimables de los mismos ocasionados a la vegetación por una simple evaluación del terreno, no menos cierto es que, estas se hacían recorriendo el área a través de visitas a las zonas accesibles, y eran encargadas a personal calificado, que se basaban en los conocimientos previos que tenían del área antes del paso de estos eventos; pero no se podían modelar los daños y perjuicios de forma tal que pudiese mostrar concretamente la cuantificación del disturbio ocasionado, todo esto debido a que los mismos no contaron con las tecnologías de avanzada del geoprocesamiento integrado, que ofertan una mayor precisión en los resultados en estos momentos, ya que era muy difícil la obtención de las imágenes satelitales, lo que ha permitido en muchas ocasiones realizar y arribar a conclusiones especulativas sobre los daños ocasionados por estos disturbios, quedando en este caso en el marco cualitativo, y es por ello que este estudio ha posibilitado determinar qué zonas han sido las más afectadas históricamente permitiendo poder hacer un monitoreo fehaciente, en aproximadamente 20 años, con visión global de esta reserva y poder redireccionar acciones de manejo y conservación.

Todo ello es posible gracias a la utilización de los índices de vegetación, los cuales pueden ser definidos como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectancia a distintas longitudes de onda, y que es particularmente sensible a la cubierta vegetal (Gilabert, González & García, 1997). Evidentemente, el índice de vegetación ideal no existe, por lo que los índices documentados son aproximaciones al ideal, todos ellos basados en la utilización de las bandas roja e infrarrojas del espectro electromagnético, pues son las que contienen más del 90% de la información espectral de la superficie terrestre y particularmente para la

vegetación, por lo que una de sus aplicaciones principales es el seguimiento de las condiciones de cubierta vegetal en la superficie terrestre (Ceroni et al., 2015), permite además, actualizar los cálculos de pérdidas de superficies forestales, (Gerrand, Lindquist & Annunzio, 2011), estimación de biomasa forestal, clasificación de formaciones boscosas, seguimiento de masas forestales (Holguín, 2018). Para ello el índice empleado en esta investigación es el de Diferencia Normalizada, utilizándose para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad.

Todo lo anterior llevó a establecer como objetivo calcular el índice de Vegetación Diferencial Normalizado, para definir el nivel de degradación de la vegetación en la reserva de la biosfera Península de Guanahacabibes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Software utilizado: ArcGIS V-10.3 para el análisis, procesamiento y tratamiento de las imágenes ráster.

Hardware: Computadora ATEC-HAIER con procesador Intel(R) Core (TM) i3-4170 CPU@ 3.70. Memoria RAM de 4.00 GB. Sistema Operativo de 32 Bits.

Imágenes Landsat 8; sensores OLI y TIRS; con las bandas espectrales 4 y 5 de 30m de resolución para la obtención de los NDVI en el estudio de la dinámica de vegetación de los años 2018 y 2019, en las escenas:

1. LC08_L1TP_017045_20180417_20180501_01_T1_Bs (4y5) adquiridas el 17 de abril de 2018.
2. LC08_L1TP_017045_20190215_20190222_01_T1_Bs (4y5) adquiridas el 15 de febrero de 2019.

Imágenes Landsat 7, con las bandas espectrales 3 y 4, de 30 m de resolución para la confección de los NDVI de los años 2000, 2003 y 2004, escenas:

- LE07_L1TP_017045_20001016_20170209_01_T1_Bs (3y4) adquiridas el 16 de octubre de 2000.
- LE07_L1TP_017045_20030211_20170126_01_T1_Bs (3y4) adquiridas el 11 de febrero de 2003.
- LE07_L1TP_017045_20041214_20170117_01_T1_Bs (3y4) adquiridas el 14 de diciembre de 2004.

Hay que destacar que las imágenes seleccionadas para la realización del estudio de dinámica fueron preferentemente las de mejor calidad tomadas por estos sensores y adquiridas en sitios de acceso libre, en diferentes años pero en el mismo mes, en el período después del paso de los eventos climatológicos; lo que demuestra la confiabilidad en los análisis realizados y sus resultados.

El estudio cuenta con un buen nivel de detalles, pero de haberse tenido se pudieron haber utilizado imágenes de otros satélites con mayor resolución espectral, ejemplo, imágenes del satélite Sentinel 2A, Rapid Eye (10m) donde la precisión de los resultados hubiera sido superior por ser imágenes de mayor resolución espectral que las Landsat.

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI): es el más utilizado, la normalización que realiza reduce el efecto de degradación de calibración del sensor y la influencia de los efectos atmosféricos. Presenta una gran sencillez matemática: $NDVI = (IR_p - R) / (IR_p + R)$

Se utiliza el método histórico en la selección de los principales eventos meteorológicos que han visitado la zona, los cuáles han sido los causantes de los importantes cambios ocurridos en la vegetación a través de los estudios espaciotemporales de las formaciones boscosas, utilizando datos de las imágenes de satélite de los años 2000, 2003, 2004, 2018 y 2019, de la península Guanahacabibes.

Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Con el objetivo de realizar un estudio detallado de la dinámica de la cobertura vegetal en las distintas etapas analizadas se procedió a calcular el NDVI utilizando las bandas espectrales 4y3 de la plataforma Landsat 7, tomando como referencia el método de Alonso (2015), el cual se efectuó utilizando las imágenes

correspondientes a las siguientes fechas: 16 de octubre del 2000 antes del paso de los huracanes Isidore, categoría III el 20/9/2002 y Lili, categoría II el 1/10/2002, las imágenes del 11 de febrero de 2003 después del paso de Isidoro y Lili, así como las del 14 de diciembre de 2004, después del paso del huracán Iván, categoría V entre 13-14/9/2004; así como las bandas 5y4 de Landsat 8 del 17 de abril de 2018 antes del paso del huracán Michael, categoría II el 8/10/2018 y del 15 de febrero de 2019, posterior al paso de Michael por ser estos los huracanes de mayor relevancia en los últimos 19 años que han transitado por la región; de tal forma se estableció cuatro clasificaciones de la vegetación según la respuesta espectral, o sea por los niveles de reflectancia quedando de la siguiente forma:

Vegetación Conservada ($0.75\mu\text{m}$ - $1\mu\text{m}$); Vegetación Poco Conservada ($0.46\mu\text{m}$ - $0.75\mu\text{m}$); Vegetación Degradada ($0.36\mu\text{m}$ - $0.46\mu\text{m}$); Vegetación muy Degradada ($0.24\mu\text{m}$ - $0.36\mu\text{m}$); debe señalarse que el estudio se realizó solamente en la zona declarada Reserva de la Biosfera de la península, pues se destaca por ser un área de protección de la flora y la fauna, además de ser una zona que está propuesta para la explotación de un turismo ecológico y es por ello que el estudio está destinado a esta parte de la Región Turística Guanahacabibes.

Algoritmo a seguir en ArcMap para lograr realizar el cálculo del índice de Diferencia Normalizada (NDVI).

Paso 1. En la ventana de ArcMap se accedió al combo Goprocesing; luego en la ventana que se desplegó el combo ArcToolbox, se seleccionó la opción Spatial Analyst Tools y consecutivamente Map Algebra y dentro de esta la opción Raster Calculator.

Paso 2. Para proceder al cálculo, se utilizó el comando Float, las bandas que se utilizaron fueron la 5 (Infrarroja) y la 4 (Rojo) para Landsat 8 y las bandas 4 (Infrarrojo) y 3 (Rojo) para Landsat 7, ambas con una resolución de 30 m. Se procedió a aplicar la fórmula para el cálculo, seguidamente se seleccionó la carpeta donde se guardaría, y para comenzar se presionó el botón OK.

Salida cartográfica: para la confección y diseño cartográfico se utilizó la opción Vista de impresión de ArcGIS 10.3, donde automáticamente se activaron todos los combos necesarios para la realización de diseño del mapa deseado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se confeccionó un mapa (Figura 1) donde se muestra la trayectoria de los huracanes tropicales que se han mencionado con anterioridad, fenómenos que han afectado la zona de estudio con gran intensidad.

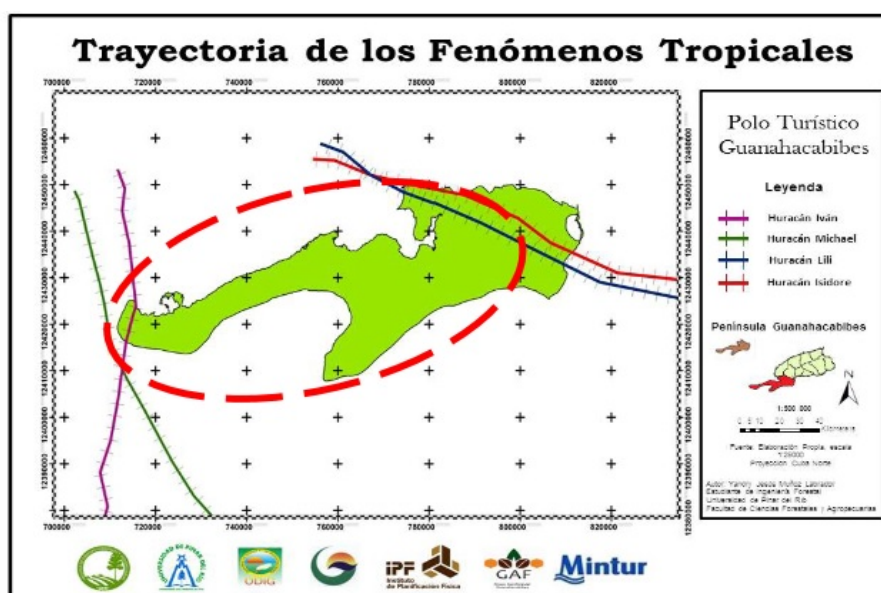


Figura 1. Trayectoria de los fenómenos meteorológicos.

Elaboración propia.

Estudio espacio temporal de la vegetación (Octubre del 2000)

Se realizó un estudio de la vegetación con imágenes de satélite Landsat 7 de fecha 16 de octubre del año 2000 donde se calcula el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) a este sector, para determinar en qué estado se encontraba la vegetación antes del paso de los huracanes Isidoro y Lili en el año 2002 por la península, mostrando como resultado los parámetros de cobertura que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Estado de conservación de la vegetación en octubre del 2000.

Estado de conservación de la vegetación	Cantidad de hectáreas
Conservada	-
Poco conservada	74981 ha
Degradada	18 694 ha
Muy degradada	13545 ha

Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 1, la vegetación de la península de Guanahacabibes ha sido afectada gravemente años atrás; así se manifiesta en el índice de vegetación calculado donde se detectó que la vegetación conservada no existe según los niveles de reflectancia, de vegetación poco conservada se disponía de 74 981 ha aproximadamente, vegetación degradada 18 694 ha y de vegetación muy degradada 13 545 ha.

En la Figura 2 se muestra el mapa correspondiente a la clasificación de la vegetación para el período evaluado por sus niveles de conservación.

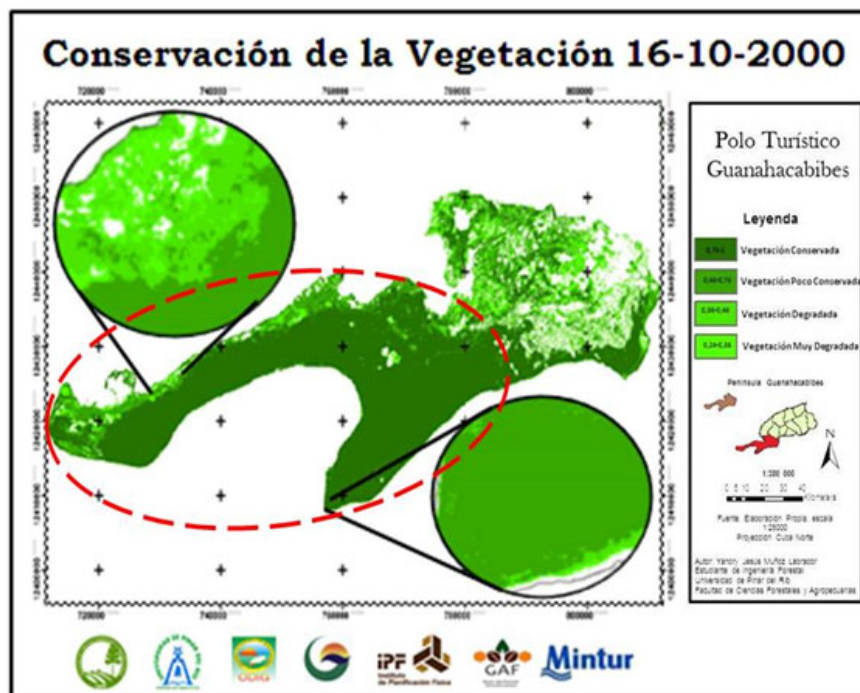


Figura 2. Conservación de la vegetación el 16-10-2000.

Elaboración propia.

Con la imagen de satélite Landsat 7, tomada con el sensor ETM+, de fecha 11 de febrero del año 2003, calculándose el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) a este sector (Figura 2) para saber en qué estado se encontraba la vegetación después del paso de los huracanes Isidoro y Lili en el año 2002 por la península, mostrando como resultado los parámetros de cobertura boscosa que aparecen en la Tabla 2.

Tabla 2. Estado de conservación de la vegetación en febrero del 2003.

Estado de conservación de la vegetación	Cantidad de hectáreas
Conservada	-
Poco conservada	64145 ha
Degradada	17919 ha
Muy degradada	11330 ha

Elaboración propia.

Tras el paso de estos huracanes disminuye la cobertura boscosa de calidad poco conservada en 10 836 ha (Figura 3), factor que es negativo y que se debe en gran parte a la intensidad de los fuertes vientos huracanados que se sucedieron tras el paso de estos dos fenómenos meteorológicos, ocurre algo semejante con la vegetación en estado de degradada, pues la misma asciende a unas 4 374 ha y positivamente se reduce la cifra en unas 7 364 ha de vegetación muy degradada, en comparación con el 2000.

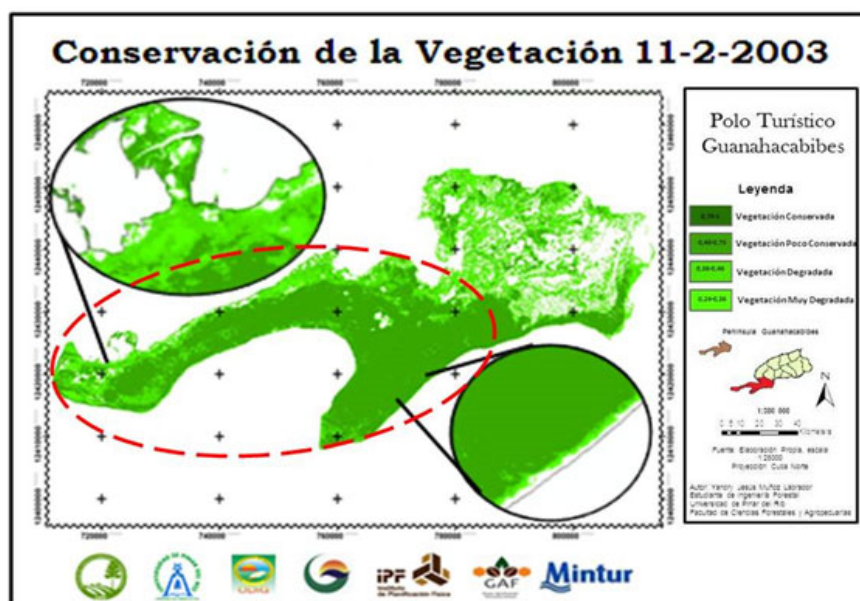


Figura 3. Conservación de la vegetación en 11-2-2003.
Elaboración propia.

Estudio espacio temporal de la vegetación (Diciembre del 2004)

Con la imagen de satélite Landsat 7 de fecha 14 de diciembre del año 2004 donde se calcula el (NDVI), a este sector (Figura 4) para saber en qué estado se encontraba la vegetación después del paso del huracán Iván por la península, mostrando como resultado los parámetros de cobertura boscosa en la Tabla 3.

Tabla 3. Estado de conservación de la vegetación en diciembre del 2004.

Estado de conservación de la vegetación	Cantidad de hectáreas
Conservada	-
Poco conservada	27654 ha
Degradada	19181 ha
Muy degradada	20945 ha

Elaboración propia.

Tras el paso de este huracán por la península, la vegetación poco conservada disminuye unas 36 491 ha de bosque afectadas en este parámetro, siendo este un aspecto negativo para la misma, incrementándose en unas 1 262 ha de vegetación degradada, constituyendo este un aspecto negativo y incrementándose en unas 9 615 ha de vegetación muy degradada (Figura 4).

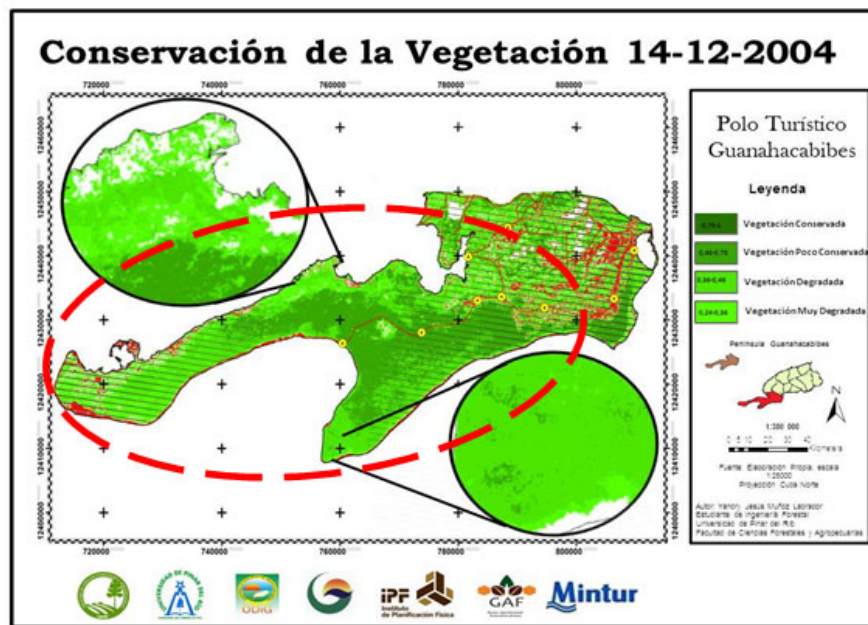


Figura 4. Conservación de la vegetación el 14-12-2004.

Elaboración propia.

Estudio espacio temporal de la vegetación (Abril del 2018).

Con la imagen de satélite Landsat 8 de fecha 17 de abril del año 2018 donde se calcula el (NDVI), a este sector (Figura 5) para saber en qué estado se encontraba la vegetación antes del paso del huracán Michael por la península, mostrando como resultado los parámetros de cobertura boscosa representados en la Tabla 4.

Tabla 4. Estado de conservación de la vegetación en abril de 2018

Estado de Conservación de la Vegetación	Cantidad de Hectáreas
Conservada	17241 ha
Poco Conservada	28349 ha
Degradada	36324 ha
Muy Degradada	11540 ha

Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Tabla 4 la vegetación muestra correctos parámetros de mejoría en comparación con los años anteriores analizados, pues como se estima, viene surgiendo y retornando a sus valores y estados de conservación iniciales cierta parte de la vegetación de la península, ello lo demuestran las 17 241 ha de vegetación conservada, aunque no se comporta de manera similar a la vegetación poco conservada pues se incrementan apenas unas 695 ha, además se incrementan unas 17143 ha de vegetación degradada, aspecto que es sumamente negativo, pues la cifra es lo bastante significativa para alarmarse, y es muy positivo la forma en que disminuyen las hectáreas por vegetación muy degradada en unas 9 405 ha (Figura 5).

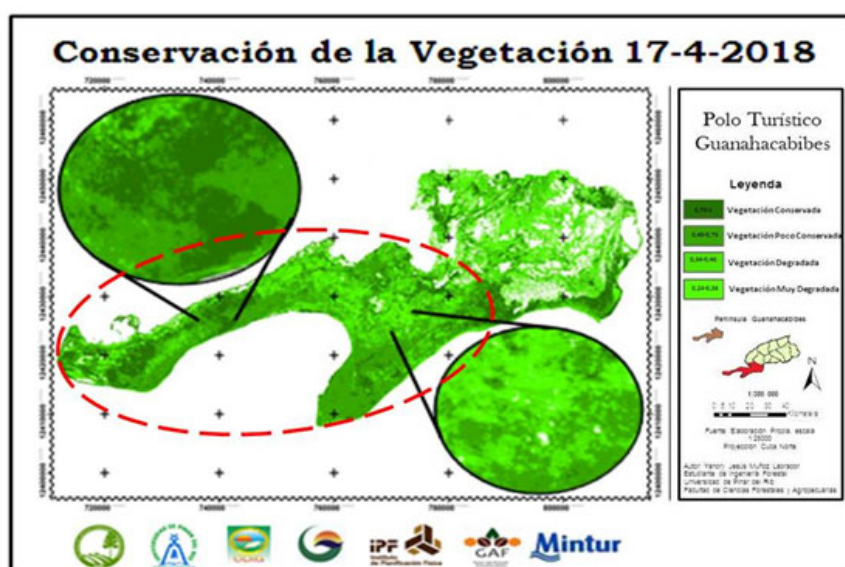


Figura 5. Conservación de la vegetación el 17-4-2018.

Estudio espacio temporal de la vegetación (Febrero del 2019)

Con la imagen de satélite Landsat 8 de fecha 15 de febrero del año 2019 se calcula el (NDVI) para determinar en qué estado se encontraba la vegetación después del paso del huracán Michael por la península, mostrando como resultado los parámetros de cobertura boscosa que aparecen en la Tabla 5 valores que se obtienen después del análisis de la Figura 6.

Tabla 5. Estado de conservación de la vegetación en febrero de 2019.

Estado de conservación de la vegetación	Cantidad de hectáreas
Conservada	18631 ha
Poco conservada	49774 ha
Degradada	15885 ha
Muy degradada	9719 ha

Elaboración propia.

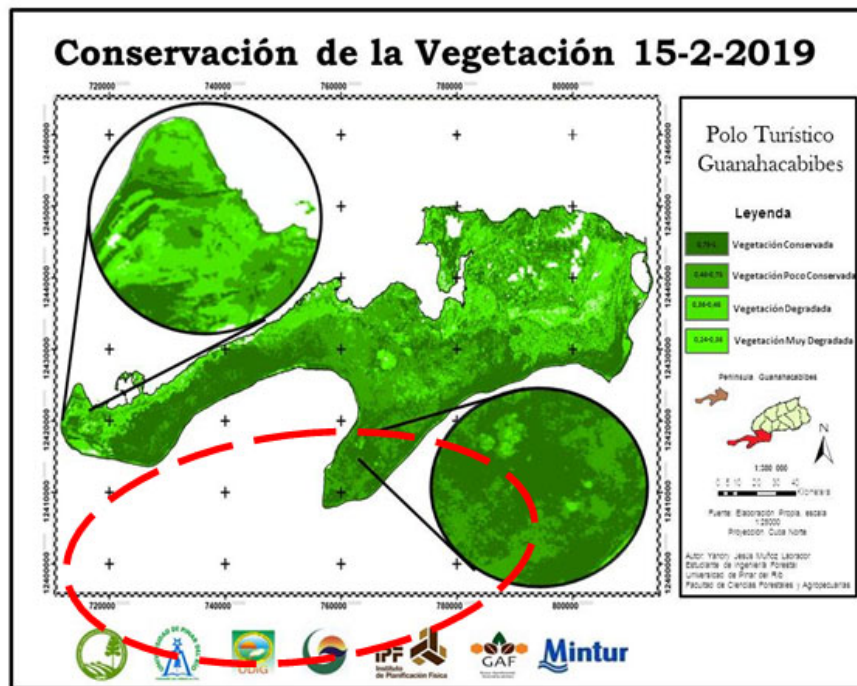


Figura 6. Conservación de la vegetación el 15-2-2019.

Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Tabla 5 anterior, la vegetación muestra indicios de mejoría después del paso del huracán Michael, pues siguen aumentando los valores y estados de conservación de la vegetación, ello lo demuestran las 1 390 ha de vegetación conservada que se incrementan, parámetros positivos se suman a la vegetación poco conservada pues se incrementa unas 21 425 ha a este tipo de clasificación de vegetación, aspecto positivo también sucede con la vegetación degradada pues la misma disminuye en unas 20 439 ha de vegetación y es positivo la forma en que disminuyen discretamente las hectáreas por vegetación muy degradada en unas 1 821 ha.

En la Figura 7 se muestran los valores totales de cobertura boscosa obtenidos en los años analizados.

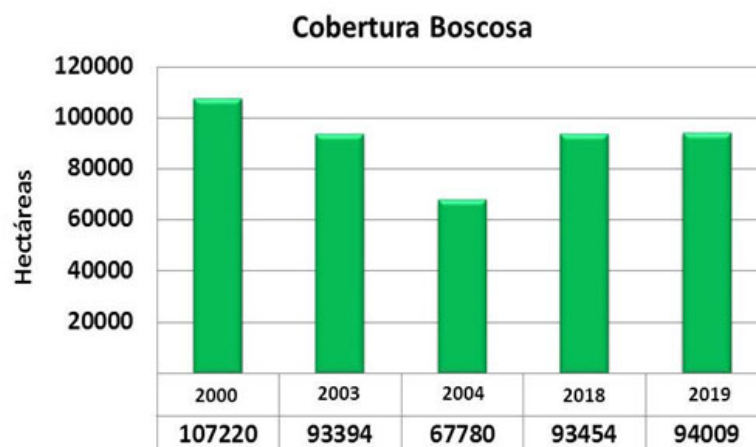


Figura 7. Cobertura boscosa en cada una de las etapas analizadas.

Elaboración propia.

Atendiendo a los resultados obtenidos en la figura 810, se puede plantear que la vegetación de la península de Guanahacabibes desde el año 2000 no ha podido restablecer sus patrones de cobertura boscosa, sufrió

gravemente en la época comprendida entre los años 2002-2004, reduciendo la cobertura boscosa en unas 39 440 ha de cobertura vegetal lo que representa el 36,78 % del total de la cobertura boscosa en el área, pero ya a inicios de 2018 la vegetación se ha recuperado hasta un 87,16 % del valor inicial y en febrero de 2019 hasta un 87,67 % solo un 0,51 % valor que ha ido aumentando muy discretamente pero que no deja de ser positivo.

Análisis global de la conservación de la vegetación entre los distintos años, según Figura 8.

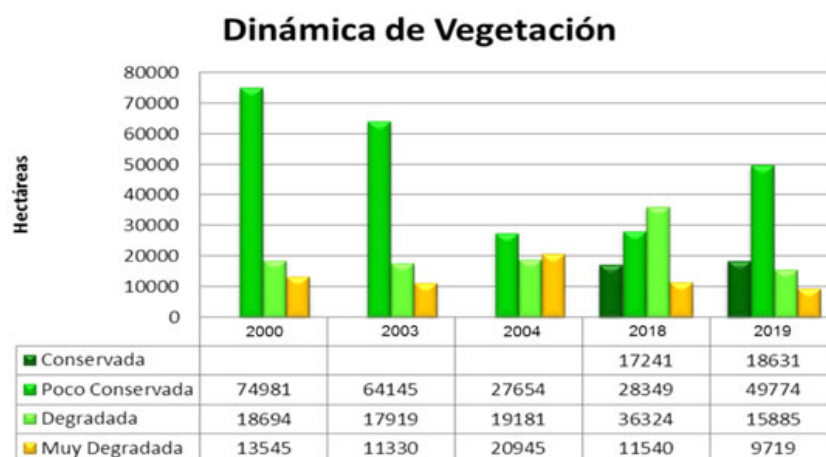


Figura 8. Conservación de la vegetación en cada una de las etapas analizadas.

Elaboración propia.

Se puede apreciar con determinada precisión que la vegetación conservada aparece ya en el año 2018 manteniéndose en el 2019, aspecto que resulta muy positivo, lo que se evidencia en la Figura 8, pero si se analizan los valores de la vegetación poco conservada puede observarse que ésta es la que más fluctuante presenta los valores, esto la hace ser una vegetación que ofrece realmente un indicador, ya que siempre los valores de la vegetación poco conservada deben estar por encima de los valores de la degradada y de la muy degradada, si no fuese así el estado del bosque se pudiera considerar como bosque degradado; en el caso del 2018, después del paso del huracán Michael, con el cual las aguas tras su paso fueron provechosas para la vegetación de forma general, se evidenció un aumento significativo de la cobertura boscosa poco conservada. Es muy importante observar como la vegetación para 2018 y 2019 ha buscado un equilibrio entre los diferentes estados, pero a la vez es muy riesgoso pues entre más pareja se encuentre la vegetación aumentan más los riesgos de que al ser batida por un fenómeno meteorológico quede casi completamente destruida. Se debe señalar que la vegetación muy degradada está arraigada a determinadas zonas, por lo que casi siempre se encuentra en las mismas proporciones en todos los años.

La aplicación de las técnicas de tratamiento de imágenes en los estudios de vegetación realizados se consideran eficientes para determinar la degradación de la vegetación (Alatorre, Beguería, Vicente-Serrano, 2010; Ceroni et al., 2015).

El establecimiento del índice de degradación de la vegetación obtenido permitió orientar acciones futuras de mejora en los planes de manejo del área protegida. Resultados semejantes fueron realizados por Gonzaga (2015), donde se establece indicadores de la dinámica de vegetación para los periodos evaluado.

CONCLUSIONES

El estudio de dinámica de vegetación desarrollado arrojó que la vegetación es un ente muy susceptible al paso de los principales eventos climatológicos que se han sucedido en el área de estudio.

La vegetación de forma general se encuentra en un estado de equilibrio, el cual aumenta así su grado de vulnerabilidad y posibilidad de caer en un estado donde las dos terceras partes posean altos índices de degradación.

Se pudo evaluar cuantitativamente las afectaciones y los diferentes estados de la vegetación antes y después del paso de los huracanes tropicales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alatorre, L.C., Beguería, S., & Vicente-Serrano, S. M. (2010). Análisis de la evaluación espacio-temporal del NDVI sobre áreas vegetadas y zonas de riesgo de erosión en el Pirineo Central. *Revista Pirineo*, 165. <https://doi.org/10.3989/Pirineos2010165001>
- Alonso, D. (2015). Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI): Qué es y cómo calcularlo con SAGA desde QGIS. <https://mappinggis.com/2015/06/ndvi-que-es-y-como-calcularlo-con-saga-desde-qgis/>
- Camacho, J., Baena, G. & Layva, G. (2009). *Fortalecimiento de la gestión del desarrollo integral y sostenible de la península de Guanahacabibes, Reserva de la Biosfera, Pinar del Río, Cuba*. Editorial GAIA. <https://www.worldcat.org/title/fortalecimiento-de-la-gestion-del-desarrollo-integral-y-sostenible-de-la-peninsula-de-guanahacabibes-reserva-de-la-biosfera-pinar-del-rio-cuba-colaboracion-cuba-canada-2006-2010/oclc/835344909>
- Castaño, E. (2002). *Ciclones en Pinar del Río*. Centro Meteorológico de Pinar del Río.
- Ceroni, M., Achkar, M., Gazzano, I., & Burgueño, J. (2015). Estudio de NDVI mediante análisis multiescalar y series temporales utilizando imágenes SPOT, durante el periodo 1998-2012 en el Uruguay. *Revista Teledetección*, (43), 31-42. <https://doi.org/10.4995/raet.2015.3683>
- Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid: Ediciones Rialp, S.A. <https://es.scribd.com/document/55587962/LIBRO-FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO>
- Díaz, Á., Carreras, I., & Sánchez, J. (septiembre 2012). *Plan General de Ordenamiento Territorial de la Península de Guanahacabibes (POTPGC-2012-2016)*. Dirección Provincial de Planificación Física Pinar del Río. Departamento de Planeamiento Urbano y Turístico, Cuba.
- Gerrand, A., Lindquist, E., & Annunzio, R. D. (2011). Un estudio por teledetección permite actualizar los cálculos de pérdidas de superficies forestales. Equipo de teledetección FRA del Departamento Forestal de la FAO, Roma. *Unasilva*, 62(238), www.fao.org/3/i2560s/i2560s03.pdf
- Gilbert, A., González, J., & García, J. (1997). *Acerca de los índices de vegetación*. https://www.researchgate.net/profile/MA_Gilbert/publication/39195330_Acerca_de_los_indices_de_vegetacion/links/00b7d5187635eb5a1a000000/Acerca-de-los-indices-de-vegetacion.pdf
- Gonzaga Aguilar, C. (2015). Aplicación de índices de vegetación derivadas de imágenes satelitales para análisis de coberturas vegetales en la provincia de Loja, Ecuador. *Revista CEDAMAZ*, 5(1), 30-41.
- Holguín, A. (2018). *Aplicaciones de la teledetección en el ámbito Forestal*. Curso. <https://www.cursosteledeteccion.com/aplicaciones-de-la-teledeteccion-en-el-ambito-forestal/>
- Sacristán, F. (2006). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *AquaTIC*, 24, 13-41, www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/24_02.pdf