

Detección de Incendios Forestales Utilizando Imágenes Multiespectrales en el Bosque Seco de Guánica.

Joanny Umpierre Negrón
Maestría en Ciencia y Tecnología Geoespacial
Prof. Raúl Matos
Departamento de Agrimensura y Ciencia Geoespacial
Universidad Politécnica de Puerto Rico

Abstracto — *En el sur de Puerto Rico, desde los pueblos de Arroyo a Cabo Rojo, se encuentra el área más susceptible a fuegos forestales. Entre los meses de enero a abril, durante la época de sequía, es cuando comienza a aumentar la temperatura y la humedad relativa disminuye provocando que los pastizales y la maleza de los bosques se sequen por falta de lluvia y se queman durante este periodo. El área de estudio es el Bosque Seco de Guánica que actualmente es una Reserva Forestal ubicada en la zona más árida de nuestra isla. Estudios de percepción remota facilitan los análisis de vegetación y fuegos forestales. A través de imágenes de satélite como Landsat 8 y Advance Land Imager y análisis con algoritmos como el Índice de Vegetación Normalizado e Índice de Área Quemada se pudo llevar a cabo una investigación desde los años 2011-2013 en el Bosque Seco.*

Palabras Claves — *Advance Land Imager (ALI), Índice de Áreas Quemadas (BAI), Índice de Vegetación Normalizado (NDVI), Landsat 8.*

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son un importante factor de transformación ambiental para una amplia variedad de ecosistemas. Estos degradan los suelos provocando la pérdida de biodiversidad, y daños a los ciudadanos e infraestructuras.

En Puerto Rico, los municipios con la mayor incidencia de fuegos forestales son los que se encuentran en una línea imaginaria desde Arroyo hasta Cabo Rojo, aunque también se reportan en otros pueblos. La temporada de fuegos forestales afecta la flora, fauna, economía y la seguridad de los residentes, entre otras cosas. Esta época comienza en enero y se extiende, por lo general, hasta finales de mayo. Durante la época de sequía

(Enero a Abril), cuando comienza a aumentar la temperatura y la humedad relativa disminuye. Los pastizales y la maleza de los bosques se secan por falta de lluvia y se queman durante este periodo. Debido a estos incendios la zona sur y el Oeste de Puerto Rico se está deforestando rápidamente.

ÁREA DE ESTUDIO

Este Bosque ubica en la costa sudoeste de Puerto Rico y abarca los pueblos de Guánica, Guayanilla, Yauco, Peñuelas y Ponce (en los municipios de Peñuelas y Ponce se encuentran solamente algunos islotes). Su extensión es de aproximadamente 11,000 cuerdas (4,400 ha), que incluyen 8 millas náuticas y 21 km. (13 millas de costa).

Este bosque es de gran complejidad, riqueza natural e importancia científica. Sirve de hábitat a una diversidad de organismos y especímenes únicos en esta zona. Entre sus ecosistemas se encuentran playas arenosas y costas rocosas. También se encuentran especies de fauna y flora endémicas y en peligro de extinción, praderas de hierbas marinas, bosques de mangles, arrecifes de coral, cavernas, islotes de mangle, lagunas, salinas y salitrales. En el bosque se crean charcas intermitentes de agua dulce que sirven de área de reproducción del sapo concho, especie en peligro de extinción.

En 1919, fue reconocido el Bosque Estatal de Guánica. Debido a su importancia en 1985, la Junta de Planificación lo designo Reserva Forestal. Por su complejidad, riqueza natural e importancia científica, la Organización de Naciones Unidas (ONU), para el programa de la Organización de Educación Científica y Cultural (UNESCO). En el 1981, le otorgo la distinción de ser la segunda Reserva Biosférica Internacional en Puerto Rico.

En el Bosque Seco de Guánica existe la zona más árida de nuestra isla. Se ha reportado una precipitación anual de 30 pulgadas (762mm) pero varía entre 25” a 40” (636mm a 1016mm). El periodo de lluvia es de agosto a noviembre y la temporada de sequía es de diciembre a abril. En este periodo la precipitación es de solo 10% del promedio anual (762mm).

La escasa precipitación pluvial, altas temperaturas, suelos con poca acumulación de material orgánico y la ausencia de ríos permanentes hacen de este ecosistema una comunidad natural que posee unas adaptaciones muy especiales para poder sobrevivir. El relieve de esta reserva es mayormente de terreno llano, siendo la parte oeste más llana que la parte este, pero posee variedad en el nivel de terreno.[1]

Los bosques secos eran abundantes en los trópicos antes de la intervención del ser humano; no obstante actualmente son uno de los ecosistemas en mayor peligro. Cuando los bosques secos son cortados o degradados entonces forman pastizales, mantenidos por fuegos periódicos y difíciles de reforestar. En la zona seca del suroeste de Puerto Rico, las gramas invaden áreas perturbadas y se extienden adentro de los bosques intactos mediante fuegos sucesivos. [2]

La temporada de fuegos forestales afecta la flora, fauna, economía y la seguridad de los residentes, entre otras cosas. Esta época comienza en enero y se extiende, por lo general, hasta finales de mayo. Durante la época de sequía (Enero a Abril), cuando comienza a aumentar la temperatura y la humedad relativa disminuye. Los pastizales y la maleza de los bosques se secan por falta de lluvia y se queman durante este periodo. Debido a estos incendios la zona Sur y el Oeste de Puerto Rico se está deforestando rápidamente.

En Puerto Rico comúnmente conocemos y vivimos experiencias con el fuego y la vegetación en que este la consume (mayormente gramíneas), intencional o accidentalmente, en las orillas de las carreteras y en áreas naturales, pastos y terrenos

agrícolas. En algunas áreas naturales se ha estado ejerciendo la práctica de fuego controlado, quemando sistemáticamente algunos bordes del área donde se encuentra gramínea, en su mayoría invasora. Esto evita que algún fuego provocado o accidental en estos bordes, se expanda al interior del área natural. Desafortunadamente, estas gramíneas invasoras son persistentes y vuelve a poblar las zonas quemadas. Este ciclo de fuego y resurgimiento de la flora invasora dificulta el establecimiento de la flora nativa. La eventual penetración de la flora invasora hacían el área natural presenta una amenaza al ecosistema del área. [3]

El Bosque Seco de Guánica contiene altas cantidades de incendios forestales anualmente. Desde el 2011 al 2013 han ocurrido alrededor de 255 fuegos forestales dentro del bosque. Estos incendios se inician o se propagan debido a diversos factores, tales como: altas temperaturas, bajo por ciento de humedad relativa, viento, disponibilidad de combustibles (hojas, ramas, árboles, pastos) y negligencia humana y el calentamiento global.

Los efectos negativos del fuego, tanto en lo que afecta a la pérdida de vidas humanas, como al daño medioambiental que llevan consigo, ya que los incendios tienden a ser más severos y recurrentes que en condiciones naturales. Esta tendencia se agrava además por el impacto potencial del calentamiento terrestre, que supondrá en muchas zonas un aumento de la aridez y, en consecuencia, de la intensidad y duración de las temporadas de incendio. [4] Por otro lado contribuyen al cambio climático global, propician la erosión del suelo, afectan la belleza del paisaje, alteran el régimen hidrológico. Estos daños tienen serios impactos ambientales, económicos, sociales, políticos y operativos, tanto inmediatos como a corto, mediano y largo plazo.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 1
Identificación Área de Estudio

MARCO TEÓRICO

El uso de la teledetección permite la estimación y la cartografía de las áreas afectadas por el fuego, en los incendios forestales. La simple diferencia de los valores de NDVI anteriores y posteriores al incendio, posibilita la delimitación de estas áreas. [5]. El empleo de las tecnologías de la información geográfica proporciona nuevas posibilidades de obtener y gestionar información espacial, de cara a mejorar nuestra toma de decisiones sobre el territorio. [6] Las imágenes de satélites pueden ser una buena alternativa en el futuro, pero actualmente ningún sensor activo proporciona la frecuencia temporal (a la resolución espacial adecuada) para que pueda considerarse este método completamente fiable. No obstante la detección que realizan los satélites de teledetección es de gran interés para aquellos países que no cuentan con infraestructura terrestre, ya que permiten tener una visión territorial bastante completa de los focos activos. [7]

A principios de la década de 1980, los científicos del Centro Espacial de la NASA desarrollaron el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI), una innovadora combinación de dos mediciones por satélite que les permitieron analizar los cambios en el "verdor" de la Tierra como se ve desde el espacio. Al igual que las mediciones de

satélites meteorológicos permiten meteorólogos para seguir y controlar los huracanes. El NDVI permite a los científicos rastrear sequías, plagas de los cultivos, e incluso los fracasos en toda regla de los cultivos que llevan a la hambruna generalizada.

Para determinar la densidad en áreas verdes los científicos observan los distintos largos de ondas, en el rango visible y en el infrarrojo cercano, de la luz solar reflejada por la vegetación. Cuando la luz solar golpea los objetos, ciertos largos de ondas son absorbidos y otros son reflejados. La clorofila en las plantas absorbe la luz visible para la fotosíntesis. En cambio la estructura de la célula refleja en el infrarrojo cercano. La vegetación se comporta muy diferente en ambos largos de onda. En el visible las áreas desérticas aparecen más brillantes y las áreas con vegetación aparecen oscuras. Mientras que en el infrarrojo cercano la vegetación aparece más brillante. Por medio de la comparación de ambos largos de onda, los científicos pueden medir la cantidad relativa de vegetación. A este cálculo se le conoce como índice de vegetación normalizada. [8]

Un Índice de Vegetación puede ser definido como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectancia a distintas longitudes de onda, y es particularmente sensible a la cubierta vegetal. El NDVI se utiliza en todo el mundo para hacer un seguimiento de las sequías, supervisar y predecir la producción agrícola, ayudar en la predicción de las zonas con riesgo de incendio y cartografiar la desertización. El NDVI es muy utilizado en el seguimiento de la vegetación global porque ayuda a compensar los cambios en las condiciones de iluminación, la pendiente de la superficie, la orientación y otros factores extraños

La reflexión diferencial en las bandas roja e infrarroja (IR) le permite supervisar la densidad e intensidad del crecimiento de la vegetación verde utilizando la reflectividad espectral de la radiación solar. Las hojas verdes suelen presentar una mejor reflexión en el rango de longitudes de onda cercanas al infrarrojo que en el rango de longitudes de onda visibles. Cuando las hojas tienen sed o bien están enfermas o muertas, se vuelven más amarillas

y se reflejan bastante menos en el rango de longitudes de onda cercanas al infrarrojo. Las nubes, el agua y la nieve presentan una mejor reflexión en el rango visible que en el rango de longitudes de onda cercanas al infrarrojo, mientras que la diferencia es casi nula para las rocas y el terreno desnudo. El cálculo del NDVI crea datos de banda única que básicamente representa el verdor. Los valores negativos representan nubes, agua y nieve, mientras que los valores cercanos a cero representan rocas y tierra desnuda. La ecuación del NDVI documentada y predeterminada es la siguiente:

$$NDVI = ((NIR - R) / (NIR + R)) \quad (1)$$

Donde:

IR = valores de píxel de la banda infrarroja

R = valores de píxel de la banda roja

Por otro lado, el Índice de Áreas Quemadas (BAI), destaca la tierra quemada utilizando el espectro infrarrojo cercano, haciendo hincapié en la señal de carbón vegetal en imágenes post-incendio. El índice se calcula a partir de la distancia espectral de cada píxel a un punto de referencia espectral, donde las áreas recientemente quemadas convergen. Los píxeles con luz más brillante por lo regular indican las áreas quemadas. La fórmula para detectar el índice de áreas quemadas es el siguiente:

$$BAI = 1 / (.01 - Red)^2 + (0.06 - NIR)^2 \quad (2)$$

Donde:

IR = valores de píxel de la banda infrarroja

R = valores de píxel de la banda roja

OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo de la investigación es a través del uso de imágenes de satélite como Landsat 8 y Advanced Land Imager (ALI), se aplicaron varios algoritmos para identificar cuáles son las áreas más afectadas por los fuegos forestales en el Bosque Seco de Guánica.

Este Bosque ubica en la costa sudoeste de Puerto Rico y abarca los pueblos de Guánica,

Guayanilla, Yauco, Peñuelas y Ponce (en los municipios de Peñuelas y Ponce se encuentran solamente algunos islotes). Su extensión es de aproximadamente 11,000 cuerdas (4,400 ha), que incluyen 8 millas náuticas y 21 km. (13 millas de costa).

Este bosque es de gran complejidad, riqueza natural e importancia científica. Sirve de hábitat a una diversidad de organismos y especímenes únicos en esta zona. Entre sus ecosistemas se encuentran playas arenosas y costas rocosas. También se encuentran especies de fauna y flora endémicas y en peligro de extinción, praderas de hierbas marinas, bosques de mangles, arrecifes de coral, cavernas, islotes de mangle, lagunas, salinas y salitrales. En el bosque se crean charcas intermitentes de agua dulce que sirven de área de reproducción del sapo concho, especie en peligro de extinción.

INFORMACIÓN DE LOS SENSORES

Tabla 1
Descripción de las Diferentes Bandas del Satélite Advance Land Imager (ALI)
(Información extraída por el USGS)

Banda 1- Pancromática	Banda 6- VNIR
Banda 2- Azul	Banda 7- VNIR
Banda 3- Azul	Banda 8- SWIR
Banda 4- Verde	Banda 9- SWIR
Banda 5- Roja	Banda 10- SWIR

Tabla 2
Descripción de las Diferentes Bandas del Satélite Landsat 8
(Información extraída por el USGS)

Banda 1- Costal	Banda 7- SWIR
Banda 2- Azul	Banda 8- Pancromática
Banda 3- Verde	Banda 9- Cirrus
Banda 4- Rojo	Banda 10- Termal
Banda 5- NIR	Banda 11- Termal
Banda 6-SWIR	

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la investigación del incendio forestal en el Bosque Seco de Guánica se tomo en cuenta diferentes algoritmos utilizados en

fotogrametría. Se aplicaron los algoritmos de índice de vegetación normalizada (NDVI), y Burn Area Index (BAI).

Utilizando imágenes Landsat 8 y Advanced Land Imager de los años 2012 y 2013, se realizaron comparaciones entre todos los estudios para ver como los incendios forestales han impactado la vegetación del Bosque Seco de Guánica.

DESCRIPCIÓN DE LAS IMÁGENES

Las imágenes fueron obtenidas por la página de internet del U.S. Geological Survey de los satélites Earth Observer (EO-1) y Landsat 8. La descarga se realizó a través de Glovis y Earth Explorer. Las imágenes de satélite utilizadas en el trabajo de investigación empezaron en el año 2011 hasta el año 2013. A continuación las fechas exactas de cada imagen y a que satélite pertenecen.

Tabla 3
Fechas de las Imágenes de Investigación

05/07/2011- ALI	12/24/2012 –ALI
07/16/2011 -ALI	01/22/2013 –ALI
12/16/2011 -ALI	05/28/2013 –ALI
01/06/2012 -ALI	07/17/2013 –ALI
03/29/2012 –ALI	12/27/2013 –Landsat 8
09/07/2012 -ALI	

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Los resultados de los índices de vegetación normalizados y los índices de área quemada desde los años 2011 al 2013 indican que el área donde menos vegetación existe y más probabilidades de incendios forestales es en el área cercana a la costa. Según información provista por el Sr. Miguel Canals, Oficial de Manejo del Bosque Seco de Guánica, en el 2011 hubo 123 incendios forestales, en el 2012 hubo 78 incendios forestales y en el 2013 hubo 54 incendios forestales. La gran mayoría de estos incendios son paralelos con la carretera PR #333 que está localizada entre el Bosque Seco y las playas.

En la época de sequía, el Bosque es mas sensitivo a los incendios forestales debido a las

altas temperaturas y la poca precipitación en esa área. Los incendios en el Bosque Seco están mayormente asociados a actividades humanas donde el 75% de los fuegos son causados por vandalismo, fogatas ilegales y negligencias de los ciudadanos.

La primera imagen estudiada lo fue la imagen obtenida por el satélite ALI en el día 7 de mayo del 2011. En el índice de vegetación normalizado presenta que el área sur del bosque existe menos vegetación que al norte ya que el rango de longitudes del infrarrojo cercano reflejan un color menos fuerte indicando así poca vegetación. La región sur del bosque que está llena de malezas y plantas y es una región que es susceptible a cualquier incendio sea intencional o accidental. Sin embargo en el índice de áreas quemadas (BAI), representa que todo el bosque fue afectado por quemaduras durante esa fecha. La temperatura más alta de ese día lo fue 80.6F.

Se analizaron también imágenes del 16 de julio y el 16 de diciembre del 2011, para ver si hubo cambios en los análisis del índice de vegetación normalizado y el índice de áreas quemadas. El índice de vegetación normalizado por lo regular se quedo prácticamente igual, siempre el área con menos vegetación es el sur del bosque. Por otro lado se puede observar que en el índice de áreas quemadas, las áreas quemadas al pasar de los meses fueron disminuyendo y para el 16 de diciembre del 2011 solamente se concentraron en la región de los incendios.

La segunda imagen estudiada lo fue la imagen obtenida por el satélite ALI en el día 29 de marzo del 2012. Al igual que en los resultados del 2011, el índice de vegetación normalizado presenta que el área sur del bosque existe menos vegetación que al norte ya que el rango de longitudes del infrarrojo cercano reflejan un color menos fuerte indicando así poca vegetación. Sin embargo en el índice de áreas quemadas (BAI), que representa que todo el bosque fue afectado por quemaduras durante esa fecha. La temperatura más alta de ese día lo fue 84.2F.

Se analizaron también imágenes del 7 de septiembre y el 24 de diciembre del 2012, para ver si hubo cambios en los análisis del índice de vegetación normalizado y el índice de áreas quemadas. El índice de vegetación normalizado por lo regular se quedó prácticamente igual, siempre el área con menos vegetación es el sur del bosque. Por otro lado se puede observar que en el índice de áreas quemadas, las áreas quemadas al pasar de los meses fueron disminuyendo luego de la fecha de la sequía en Puerto Rico, pero no fueron tan graves como las áreas quemadas para el 2011.

Por último, la tercera imagen estudiada lo fue la imagen obtenida por el satélite ALI en el día 22 de enero del 2013. Al igual que los años anteriores, el índice de vegetación sigue indicando poca vegetación alrededor del área sur. Aun así, los resultados de los índices de áreas quemadas presentaban diferentes aspectos. Para los meses de enero a mayo, el bosque sostuvo quemaduras menos fuertes que para los meses de mayo a julio. Durante esas fechas se representan quemaduras alrededor de todo el bosque. De julio a diciembre es cuando va bajando la intensidad de las quemaduras. La temperatura más alta de ese día o fue 84.2F.

En el Índice de Vegetación Normalizado, se representan las áreas con más vegetación como áreas más oscuras y entre más claras menos vegetación existe. Alrededor del Bosque Seco de Guánica el área donde existe más vegetación es al norte. Cerca de las costas es donde menos vegetación se habita, existe mucha maleza y grama y es un área más susceptible a un fuego. Además, coincide con el área donde más fuegos forestales ocurren. En las imágenes del 2011 a 2013 se pueden apreciar como hay un área más clara al sur del Bosque que representa las áreas con poca vegetación. Estas áreas coinciden con la carretera PR#333 que es el área donde la mayoría de los fuegos forestales de este bosque han aparecido. Además, en los índices de áreas quemadas se observa que para las fechas de enero a mayo son las fechas que se ve más afectado el bosque. Estas

fechas coinciden con la fecha de fuegos forestales y sequía en Puerto Rico.

CONCLUSIÓN

El fuego siempre se ha usado para controlar la vegetación con diferentes propósitos. En la agricultura su uso ha sido extenso para remover el material vegetal seco luego de la cosecha. Hoy día se añade el propósito de manejar las plantas no nativas que resultan invasoras. Se trabaja con el fuego de manera planificada para minimizar el efecto de las especies invasoras sobre un ecosistema amenazado. Muchas veces se utiliza el fuego integrado a otros métodos (mecánico, el uso de herbicidas) para controlar. Por ahora este ha sido la mejor alternativa para el control de fuegos forestales y no tan solo se utiliza en Puerto Rico sino en otros países logrando de manera satisfactoria el manejo de los incendios y el bienestar de los bosques.

Los resultados de la investigación fueron exitosos. Con los análisis del índice de vegetación normalizado se puede seleccionar el área donde menos vegetación existe y se comparo con los resultados del índice de área quemada para realizar una selección de las áreas más afectadas en el bosque. Sin embargo, no se esperaba que solamente fuera el área cerca de la costa la que es regularmente afectada al los incendios forestales. Al comparar con la información provista por el Sr. Miguel Canals, director del Bosque Seco, los resultados estaban correctos ya que las zonas que colindan con la carretera PR#333 son donde ocurren la mayoría de los incendios. El tipo de vegetación que existe en dicha área hace que los incendios se propaguen de una manera más fácil. Además, se realizó un viaje de campo donde se visito las áreas del bosque y aunque actualmente en el 2015 no ha ocurrido ningún fuego forestal, se puede observar que existen áreas que fueron previamente afectadas por algún fuego. Aun cuando se tenga claro el objetivo y las técnicas, puede haber factores limitantes para el éxito de una quema controlada. Entre estos se

encuentran restricciones debido al impacto del humo, oposición de los vecinos, falta de apoyo en diferentes niveles de la organización de manejo y de las agencias reguladoras. Se deberá trabajar para eliminar estos factores antes de la quema.

Como parte de un plan de manejo y prevención de incendios forestales en el Bosque Estatal de Guánica se han llevado a cabo fuegos controlados. Un componente del manejo de un área son las líneas de fuego que se establecen para proteger las áreas de fuegos espontáneos, intencionales o accidentales. Estos han tenido el propósito de proteger las áreas naturales que tienen gramíneas invasoras bordeando el bosque y que amenazan con introducirse cada vez más hacia el interior. Actualmente, para continuar con esta práctica se deberá contar con el apoyo de la Junta de Calidad Ambiental. Los residentes aledaños están a favor de que el fuego controlado se lleve a cabo como protección de sus propiedades.

La información de esta investigación es sumamente útil tanto para el Bosque Estatal de Guánica, Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, Cuerpo de Bomberos y Municipio de Guánica. En un futuro se estará realizando más análisis de diferentes algoritmos en diferentes años para ver cómo ha cambiado la vegetación en el bosque. De esta manera esta investigación tendría una validación confiable y una menor incertidumbre referente a las áreas afectadas a los incendios forestales.

REFERENCIAS

- [1] M. Canals, "Bosque Seco de Guánica; Reserva Biosférica Internacional," en *Departamento de Recursos Naturales y Ambientales*, 2006.
- [2] B. Wolfe, "Post Fire Regeneration in Subtropical Dry Forest of Puerto Rico," en *Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayaguez*, 2009.
- [3] "Plantas Invasoras en Puerto Rico," en *Departamento de Recursos Naturales y Ambientales*, 2010.
- [4] E. Chuvieco, "Detección y Análisis de Incendios Forestales desde Satélites de Teledetección," en *Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá.
- [5] E. Quintano, J. Delgado, A. Fernández y P. Illera, "Cartografía Automática de Grandes Incendios Forestales con Imágenes Landsat," Universidad de Valladolid. Departamento de Física Aplicado a GIS.
- [6] E. Chuvieco, I. Aguado, M. Yebra, H. Nieto, P. Martín, L. Vilar, J. Martínez, D. Padrón, S. Martín y J. Salas, "Generación de un Modelo de Peligro de Incendios Forestales desde Satélites de Teledetección y SIG," en *Teledetección Hacia un Mejor Entendimiento de la Dinámica Global y Regional*, 2007.
- [7] E. Chuvieco, "Detección y Análisis de Incendios Forestales desde Satélites de Teledetección," en *Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá.
- [8] M. Quintana, H. Rodríguez y M. Molina, "Concentración de Vegetación en el Área Oeste de Puerto Rico," Departamento de Geología, Universidad de Puerto Rico.