

# APLICACIÓN DE ÍNDICES DE CALCINACIÓN PARA INCENDIOS FORESTALES DE LA TEMPORADA 2020 EN EL ÁREA DE CONSERVACIÓN DE GUANACASTE, COSTA RICA

*APLICAÇÃO DE ÍNDICES DE CALCINAÇÃO PARA INCÊNDIOS FLORESTAIS DA TEMPORADA 2020 NA ÁREA DE CONSERVAÇÃO DE GUANACASTE, COSTA RICA*  
*APPLICATION OF CALCINATION INDEXES FOR WILDFIRES OF THE 2020 SEASON IN THE CONSERVATION AREA OF GUANACASTE, COSTA RICA*

<https://doi.org/10.26895/geosaberes.v12i0.1094>

**RAMÓN MASÍS CAMPOS <sup>1\*</sup>**  
**JONNATHAN REYES CHAVES <sup>2</sup>**  
**MELVIN LIZANO ARAYA <sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Geógrafo. Máster en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección de la Universidad de Costa Rica (UCR).  
Escuela de Geografía, San José, Costa Rica, ramon.masiscampos@ucr.ac.cr,  
<http://orcid.org/0000-0001-5808-3265>

\*Autor correspondiente

<sup>2</sup> Geógrafo. Máster en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección de la Universidad de Costa Rica (UCR).  
Escuela de Geografía, San José, Costa Rica, jonnathan.reyeschaves@ucr.ac.cr,  
<http://orcid.org/0000-0001-5381-8330>

<sup>3</sup> Geógrafo. Máster en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección de la Universidad de Costa Rica (UCR).  
Escuela de Geografía, San José, Costa Rica, melvin.lizanoaraya@ucr.ac.cr,  
<http://orcid.org/0000-0003-3437-3502>

Histórico del Artículo:

Recibido el 26 de septiembre de 2020.

Aceptado el 20 de junio de 2021.

Publicado el 20 de junio de 2021.

## RESUMEN

Los incendios forestales son una problemática frecuente en las áreas silvestres protegidas del Área de Conservación de Guanacaste (ACG), Costa Rica. Las bajas precipitaciones, las altas temperaturas, la dominancia de ecosistemas deciduos y vientos favorables durante la estación seca generan condiciones propicias para la propagación de los fuegos provocados por vandalismo o quemas agrícolas descontroladas. Actualmente la teledetección ofrece datos, técnicas y metodologías suficientes para el mapeo y la evaluación del impacto de los incendios en los ecosistemas protegidos. Desde el año 2015 la misión SENTINEL ofrece imágenes multiespectrales para realizar diversas aplicaciones. En el año 2020 se registraron incendios principalmente en la periferia de la ACG. Consecuentemente este estudio realizó un mapeo y evaluación de incendios por medio de la aplicación de Índices de Calcinación Normalizada.

**Palabras clave:** Incendios forestales. Teledetección. Índices de Calcinación Normalizada. Área de Conservación Guanacaste.

## RESUMO

Os incêndios florestais são um problema frequente nas áreas selvagens protegidas da Área de Conservação Guanacaste (ACG), Costa Rica. A escassez de chuvas, as altas temperaturas, a predominância de ecossistemas deciduos e ventos favoráveis durante a estação seca geram condições propícias à propagação de incêndios criminosos ou queima agrícola descontrolada. Atualmente, o sensoriamento remoto oferece dados, técnicas e metodologias suficientes para mapear e avaliar o impacto dos incêndios nos ecossistemas protegidos. Desde 2015, a missão SENTINEL oferece imagens multiespectrais para várias aplicações. No ano de 2020 foram registrados incêndios na periferia do ACG. Consequentemente, este estudo realizou um mapeamento e avaliação de incêndios através da aplicação de índices de calcinação normalizados.

**Palavras-chave:** Incêndios florestais. Sensoriamento Remoto. Índice de Calcinção Normalizada. Área de Conservação Guanacaste.

## ABSTRACT

Forest fires are a frequent problem in the protected wild areas of the Guanacaste Conservation Area (ACG from its Spanish initials), in Costa Rica. Low rainfalls, high temperatures, the dominance of deciduous ecosystems and favorable winds during the dry season generate propitious conditions for the spread of fires caused by vandalism or uncontrolled agricultural burning. Currently, remote sensing offers sufficient data, techniques and methodologies for mapping and evaluating the impact of fires on protected ecosystems. Since 2015, the SENTINEL mission offers multispectral images for various applications. This year 2020 fires were registered in the ACG neighborhood. Consequently, this study performed a mapping and evaluation of fires through the application of Normalized Calcination Indices.

**Keywords:** Forest fires. Remote sensing. Normalized Burn Ratio. Guanacaste Conservation Area.

## INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales y las quemadas agrícolas descontroladas son amenazas latentes en las áreas silvestres protegidas en Costa Rica, especialmente en la provincia Guanacaste, durante la estación seca para el Pacífico Norte del país.

Los estudios referentes al uso del fuego en la provincia son numerosos y han sido abordados desde diferentes áreas del conocimiento, utilizando fotografías aéreas, imágenes satelitales e inspecciones en terreno. Por ejemplo, Vargas (2011) estudió los cambios derivados por sucesión de vegetación y fuego en el Parque Nacional Santa Rosa usando fotografías aéreas y comprobación en campo. También Alfaro et al (1999) investigaron durante el año Niño 1997 las capacidades del satélite GOES en la detección de puntos calientes asociados a incendios forestales en Guanacaste. Más recientemente, Vargas (2016) analizó la dinámica de afectación y la recurrencia de los incendios forestales entre 1997 y 2015 en el bosque seco mediante la vectorización de eventos por medio de imágenes LANDSAT y elaboró un análisis estadístico para obtener diversas métricas del paisaje estudiado.

La presente investigación contribuye de esa manera en la aplicación de la teledetección al estudio del impacto de los fuegos en los ecosistemas en áreas silvestres protegidas en el Área de Conservación Guanacaste, mediante el mapeo de incidentes, la aplicación de índices calcinación normalizada y la caracterización de la severidad de los fuegos en estos espacios en el primer cuatrimestre 2020.

## ÁREA DE ESTUDIO

En Costa Rica, existen 167 áreas silvestres protegidas distribuidas en 11 áreas de conservación del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) del Ministerio de Ambiente. El Área de Conservación de Guanacaste (ACG) se localiza al noroeste del país entre las coordenadas geográficas 10°42'26''N, 85°16'20' W y 11°2'59''N, 85°57'36'W (Figura 1).

La ACG se extiende en 2936,97 km<sup>2</sup> en la provincia de Guanacaste y maneja 5 áreas silvestres protegidas; Parques Nacionales: Santa Rosa, Guanacaste y Rincón de la Vieja, la Estación Experimental Forestal Horizontes y el Refugio de Vida Silvestre Bahía Junquillal.

El área de estudio se encuentra en una región con rasgos geográficos que contrastan con otras zonas del país. Desde el punto de vista geológico y geomorfológico, el área de estudio cubre la península de Santa Elena, que se caracteriza por tener una costa elevada, fallada de este a oeste, constituida por colinas de peridotitas serpentinizadas del Cretácico. El segundo sector más extenso corresponde con la meseta ignimbrítica de Santa Rosa-La Cruz que ha sido tapizada con lahares, así como piroclastos de composición andesítica del Plioceno hasta el Holoceno, originados desde la Cordillera Volcánica de Guanacaste. Este sistema montañoso orientado del noroeste al sureste está dominado por el conjunto volcánico Orosi-Cacao (1440-

1659 msnm) y Rincón de La Vieja, estrato volcán complejo del Pleistoceno Medio a Superior de 1916 msnm (BERGOEING, 2014).

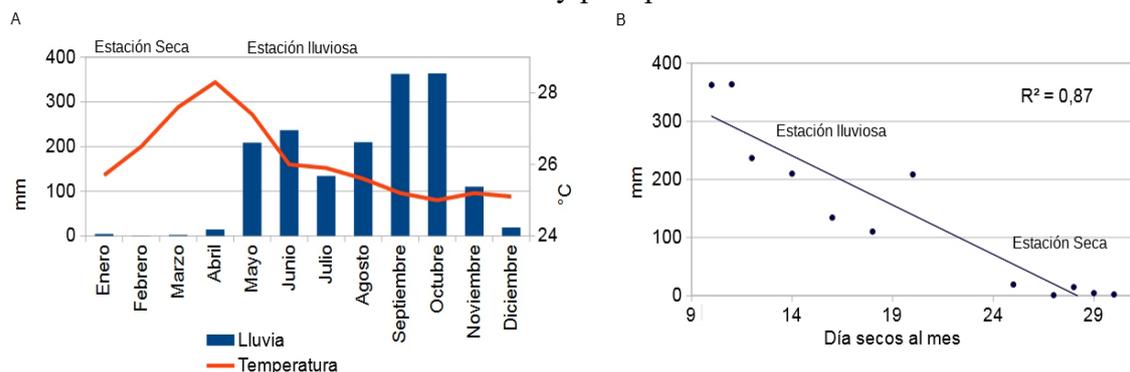
El Área de Conservación Guanacaste tiene una climatología que corresponde al Pacífico Norte, caracterizada por una estación seca que inicia en diciembre y finaliza en abril y una lluviosa entre mayo y noviembre, para una precipitación anual de unos 1600 mm. La estación meteorológica Santa Rosa (10°50'N y 85°37'W) registra que el periodo de enero a abril representa el cuatrimestre con menor lluvia (menos de un 2% de la precipitación anual). En 120 días naturales únicamente 6 días acumulan lluvias superiores a 0,1 mm. Es decir, el 95% de los días del cuatrimestre son secos (Figura 2). La temperatura promedio anual es 30,8 °C, no obstante, las máximas de casi 34 °C pueden presentarse entre marzo y abril, meses con muy baja precipitación regional. Además, predominan los vientos del este a lo largo del año con velocidades superiores a los 15 km/h (INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL, 2018).

Figura 1 – Área de estudio: Área de Conservación Guanacaste



Fuente: Elaboración propia (2020).

Figura 2 – (a) Climograma de la estación meteorológica Santa Rosa. (b) Correlación de cantidad de días secos y precipitación mensual.



Fuente: Elaboración propia (2020).

Las condiciones climáticas, geomorfológicas y geológicas regionales han condicionado una biogeografía compuesta por la presencia de ecosistemas variados como: manglares en el litoral, bosque seco tropical y sabanas arbustivas predominantes en la península de Santa Elena y en la meseta ignimbrítica (Figura 3). De la misma manera, hacia la Cordillera Volcánica de Guanacaste se manifiesta el bosque nuboso y húmedo (JANZEN Y HALLWACHS, 2016).

Figura 3 – Ecosistemas en la meseta ignimbrítica en el Parque Nacional Guanacaste



Fuente: Elaboración propia (2020).

Históricamente, las áreas protegidas de la Área de Conservación Guanacaste han sufrido una alta incidencia de incendios forestales y quemas agrícolas descontroladas que consumen centenares de hectáreas cada año. Vargas (2011) menciona que incluso desde la época precolombina, la presencia de sabanas en Guanacaste es el producto de siglos de interacción entre condiciones ambientales (geología, suelos, forma de relieve, clima) y la acción de fuegos de origen natural o antropogénico, estos últimos inicialmente generados por poblaciones precolombinas. Estos procesos fueron acelerados a partir del asentamiento de grandes hacendados ganaderos que por medio de la deforestación del bosque seco tropical, expandió los pastos en la región con el uso del fuego especialmente en época seca.

La Comisión Nacional sobre Incendios Forestales (2014) registró que en el periodo 1998-2012 se quemaron 76862 ha en el Área de Conservación Guanacaste, con un promedio de 5124 ha anuales (la mayoría de los incendios fueron en el primer cuatrimestre del año). Este fue el tercer dato más alto después del Área de Conservación Tempisque, el Área de Conservación Arenal - Tempisque, las tres subregiones integran la región Chorotega.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Esta fase del trabajo incluyó: la descarga de las imágenes multiespectrales, la corrección atmosférica, el apilamiento de bandas y los cálculos de índices de vegetación correspondientes. Se utilizó la colección de la misión Sentinel 2 de la Agencia Espacial Europea (ESA), la cual está disponible desde el año 2015 para el público de manera gratuita, mediante el portal web <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/sentinel-data-access>.

La misión Sentinel 2 ofrece imágenes multiespectrales con 13 bandas que cubren desde los 443 nm hasta 2190 nm, con tres resoluciones espaciales de 10, 20, 60 m y una frecuencia de cada 5 días (Tabla 1). Para el área de estudio, se adquirió escenas de las cuadrículas T16PFT y T16PFS, entre el 1 de enero y el 30 de mayo de 2020.

Tabla 1 – Características de la imagen multiespectral Sentinel 2

| Bandas                 | Resolución      |                   |
|------------------------|-----------------|-------------------|
|                        | Espacial<br>(m) | Espectral<br>(nm) |
| 1 (Aerosol)            | 60              | 443               |
| 2 (Azul)               | 10              | 490               |
| 3 (Verde)              | 10              | 560               |
| 4 (Rojo)               | 10              | 665               |
| 5 (Infrarojo cercano)  | 20              | 705               |
| 6 (Infrarojo cercano)  | 20              | 740               |
| 7 (Infrarojo cercano)  | 20              | 783               |
| 8 (Infrarojo cercano)  | 10              | 842               |
| 8a (Infrarojo cercano) | 20              | 865               |
| 9 (Vapor de agua)      | 60              | 9945              |
| 10 (Cirrus)            | 60              | 1375              |
| 11 (Infrarojo SWIR)    | 20              | 1610              |
| 12 (Infrarojo SWIR)    | 20              | 2190              |

Fuente: Elaboración propia (2020).

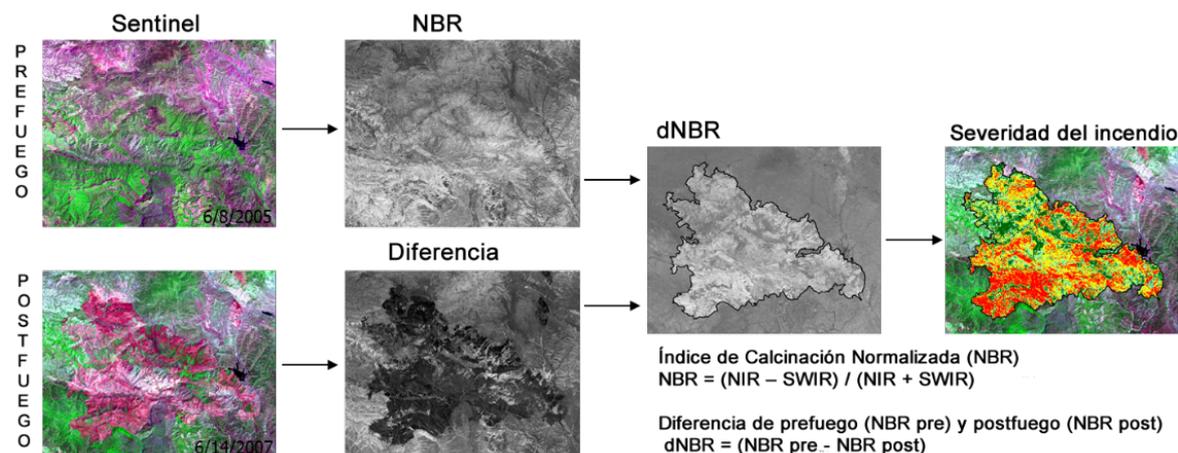
Posteriormente, se procesó la descarga de datos satelitales por medio del complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) del software QGIS. El flujo de trabajo de la herramienta incluye: la carga de las 13 bandas y los metadatos para aplicar la corrección atmosférica. Este es un procedimiento que tiene como objetivo corregir el efecto de dispersión de energía electromagnética en las partículas de agua suspendidas en la atmósfera. El complemento SCP tiene definido el método Dark Object Subtraction (DOS) propuesto por Chavez (1996 en CONGEDO, L 2017).

A partir del procesamiento de la imagen Sentinel 2 con SCP se pueden derivar índices de vegetación. Estas son medidas cuantitativas que relacionan regiones o partes del espectro electromagnético contrastantes entre sí, con el fin de evaluar la biomasa, el vigor vegetal, la humedad en plantas, suelos u otras variables biofísicas. En la actualidad existen decenas de índices de vegetación (multiespectrales o hiperespectrales) para diferentes fines en la agricultura, silvicultura, manejo de pastos y forrajes, entre otros campos (CHUVIECO, 2010).

En la valoración de incendios forestales con imágenes satelitales se utiliza el Índice de Calcinación Normalizada (NBR), que es la relación comparada entre la longitud de onda del infrarrojo cercano (NIR) y onda corta (SWIR) que sirven para determinar el daño del fuego en un terreno agrícola o forestal. El índice NBR permite la relación entre bandas multiespectrales a partir de la ecuación:  $NBR = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$ , es decir  $NBR = (B08 - B12) / (B08 + B12)$ , en el caso de imágenes multiespectrales Sentinel 2.

El contraste entre índices (dNBR) para los escenarios prefuego (NBR pre) y postfuego (NBR post) permite determinar el grado de severidad del incendio o quema sobre la vegetación natural o agrícola. Los valores digitales del dNBR fueron propuestos por Key y Bensson (2006 en ARELLANO *et al*, 2017) para generar mapas a partir de la ecuación:  $dNBR = (NBR\ pre - NBR\ post)$  (Figura 4 y Tabla 2).

Figura 4 – Flujo de trabajo para la estimación del Índice de Calcinación Normalizada y severidad del incendio con imágenes multiespectrales



Fuente: Modificado de Eidenshink *et al* (2007).

Tabla 2 – Clasificación de severidad de calcinación

| Clasificación de severidad                |  | Rango        |              |
|-------------------------------------------|--|--------------|--------------|
|                                           |  | Valor mínimo | Valor máximo |
| Áreas sin quemar                          |  | -0,100       | 0,99         |
| Áreas quemadas con gravedad baja          |  | +0,100       | +0,269       |
| Áreas quemadas con gravedad moderada-baja |  | +0,270       | +0,439       |
| Áreas quemadas con gravedad moderada-alta |  | +0,440       | +0,659       |
| Áreas quemadas con gravedad alta          |  | +0,660       | +1,300       |

Fuente: Elaboración propia (2020).

Con el flujo de trabajo para la estimación del Índice de Calcinación Normalizada y severidad del incendio con imágenes multiespectrales SENTINEL 2, se aplicó el mapeo para diferentes áreas silvestres protegidas del Área de Conservación Guanacaste para el primer cuatrimestre 2020 y se contrastó los resultados con las publicaciones oficiales de la ACG en la red social de Facebook (<https://es-la.facebook.com/ACG.CR/>) relacionadas con la temporada de incendios entre enero y abril.

## RESULTADOS

La temporada de incendios forestales 2020 fue menor que años anteriores, ya que la incidencia de eventos estuvo debajo del promedio de la última década (MEZA, 2020). El 84% de los incendios fueron provocados por cacería y 16% restante por quemas agrícolas y de pastos en las cercanías de los límites de las áreas silvestres protegidas (Figura 5).

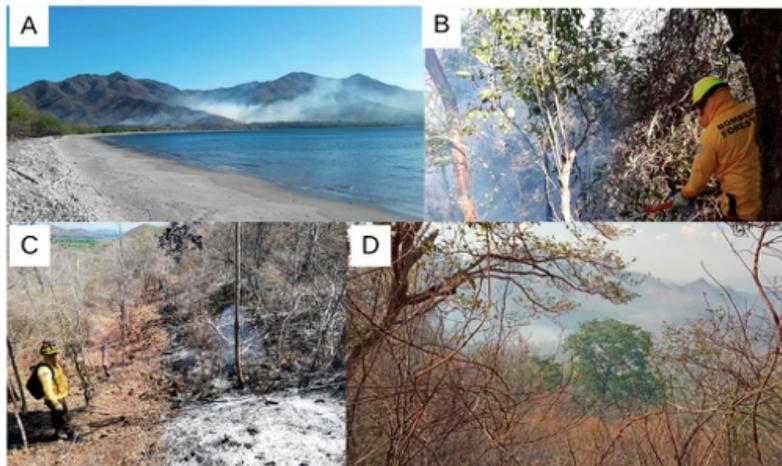
Figura 5 – Localización y distribución de incendios forestales en ACG, 2020



Fuente: Modificado del Programa de Manejo del Fuego (2020).

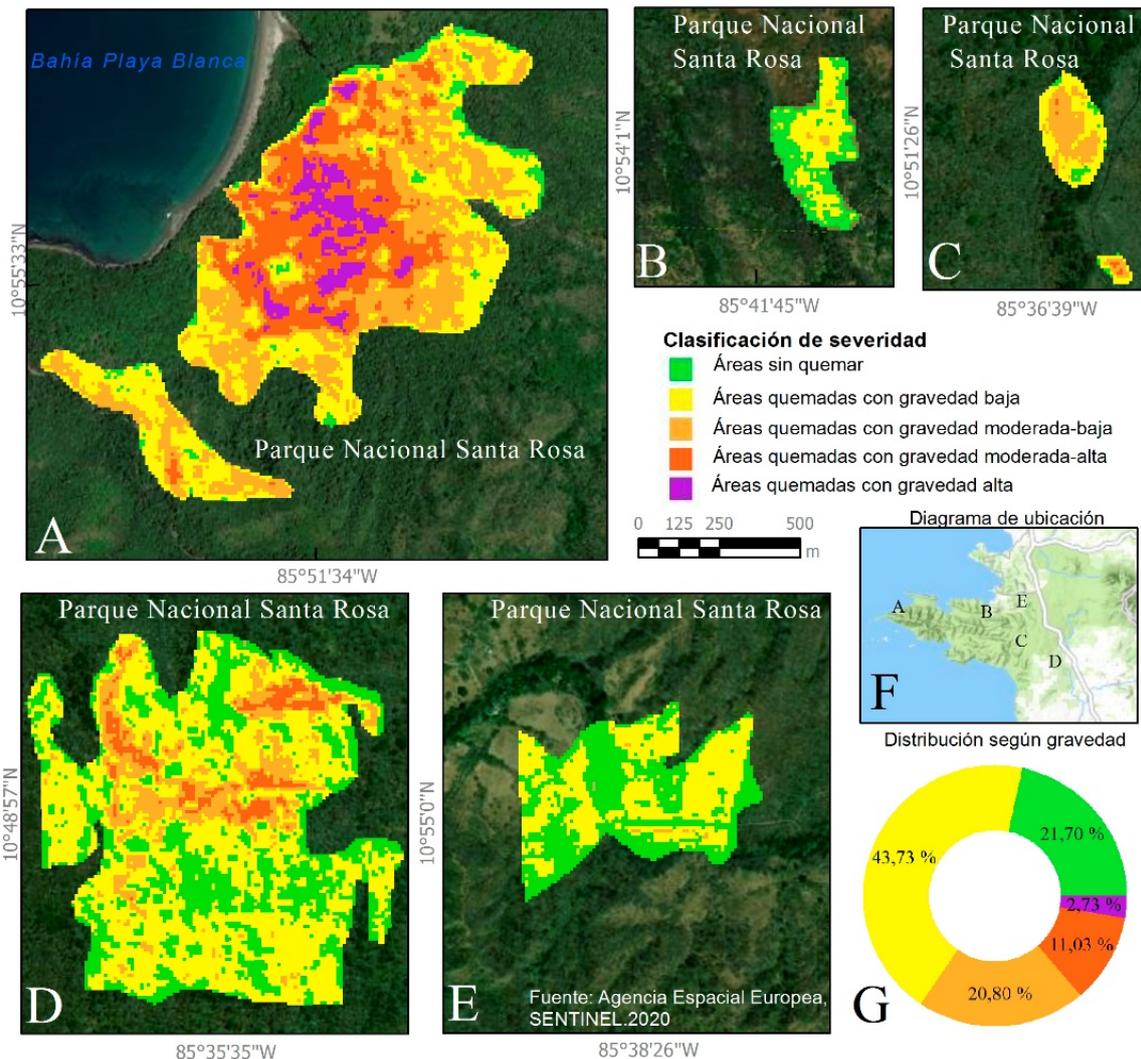
El Parque Nacional Santa Rosa es el área silvestre protegida más extensa de la ACG e históricamente muy afectada por los fuegos. Entre enero y abril 2020 presentó incidentes en playa Blanca, Cuajiniquil y en sectores limítrofes al parque nacional para un total 224 ha afectadas por incendios (Figuras 6 y 7). De las áreas afectadas por los fuegos cerca del 44% tuvieron una gravedad baja en el terreno afectado, el 21% de áreas quemadas fueron impactadas con una gravedad moderada-baja y 14% de las áreas afectadas alcanzaron una gravedad de moderada a alta. Mientras que menos de 21% de los terrenos estuvieron fuera del alcance del fuego.

Figura 6 – (a) Incendio en Playa Blanca. (b) Incendio dentro del área protegida. (c) Quema en el límite del Parque Nacional Santa Rosa. (d) Incidente en el límite con Cuajiniquil



Fuente: Modificado del Facebook del Área de Conservación Guanacaste (2020).

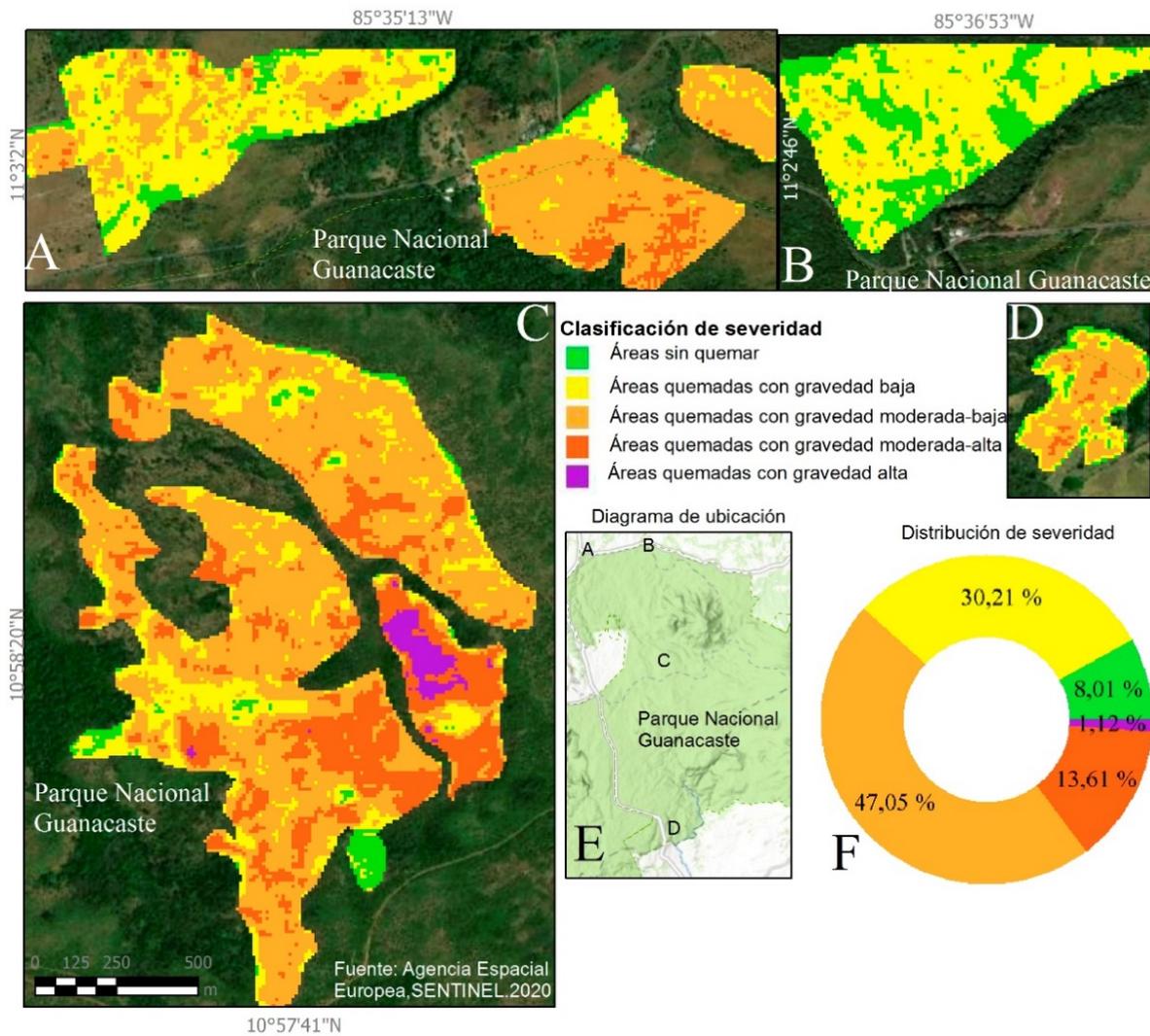
Figura 7 – Severidad de los incendios forestales en el Parque Nacional Santa Rosa, 2020. (a) Playa Blanca. (b) Sector Callejón de la Coyotera. (c) Sector río Cuajiniquil. (d) Sector sur de la meseta ignimbrítica. (e) Sector norte de la meseta ignimbrítica. (f) Diagrama de ubicación. (g) Porcentaje de la distribución según gravedad.



Fuente: Elaboración propia (2020).

El Parque Nacional Guanacaste es la segunda área protegida más extensa de la ACG, cubre cerca de 34077 ha y está separada del Parque Nacional Santa Rosa por la ruta 1 Interamericana Norte. Durante el primer cuatrimestre 2020 presentó eventos de fuego en sectores limítrofes con el sector El Hacha y Pocosol (Figuras 8 y 9) espacios típicamente afectados en las temporadas de incendios forestales, ya que predomina vegetación vulnerable al fuego como el nance, raspaguacal y zacate. En el mapeo de severidad de incendios el 47% de los terrenos afectados por fuego tuvieron una gravedad moderada baja. Para un total 267 ha afectadas por incendios en los sectores mapeados.

Figura 8 – Severidad de los incendios forestales en el Parque Nacional Guanacaste, 2020. (a) Hacienda Ánimas. (b) río Sontoli. (c) Juanilama-El Hacha. (d) Loma Casa Quemada. (e) Diagrama de ubicación. (f) Porcentaje de la distribución según gravedad.



Fuente: Elaboración propia (2020).

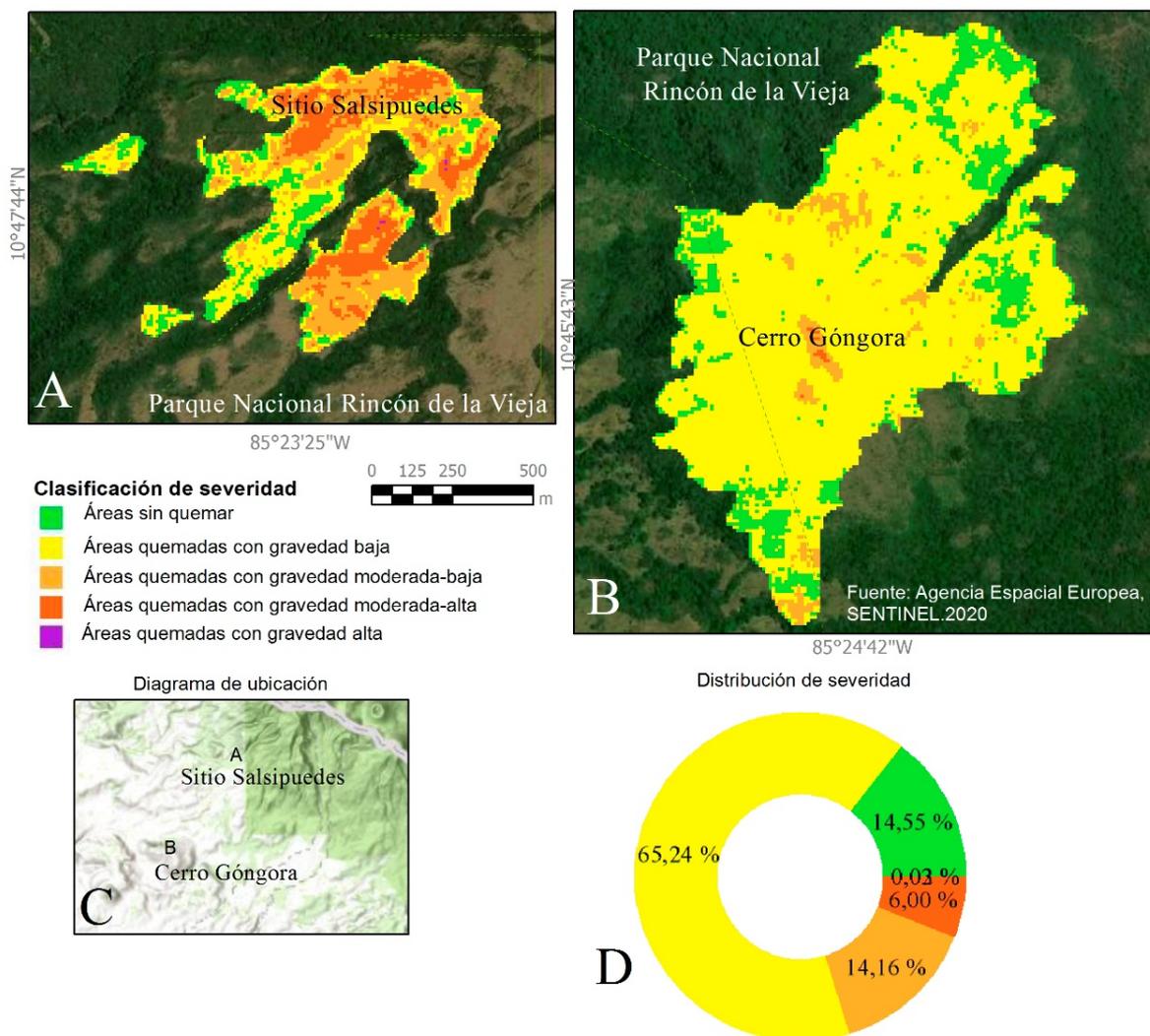
Figura 9 – Incendio en Juanilama-El Hacha en el Parque Nacional Guanacaste, 2020



Fuente: Programa de Manejo del Fuego (2020).

Hacia el piedemonte de la Cordillera Volcánica de Guanacaste, en terrenos del Parque Nacional Rincón de la Vieja, los daños en el 65% del área quemada tuvieron una baja gravedad entre enero y abril de 2020. Los incendios estuvieron localizados en zonas anexas al parque en el sector Mundo Nuevo, en el Sitio Salsipuedes y el Cerro Góngora (Figura 10 y 11), que geográficamente corresponden con domos volcánicos dacíticos caracterizados por vegetación baja o gramíneas desarrolladas en un ambiente rocoso dominante compuesto de lavas y piroclastos. En síntesis, el 2020 fueron afectadas por fuegos 177 ha en los sectores analizados en esta área silvestre protegida.

Figura 10 – Severidad de los incendios forestales en el Parque Nacional Rincón de la Vieja, 2020. (a) Sitio Salsipuedes. (b) Cerro Góngora. (c) Diagrama de ubicación. (d) Porcentaje de la distribución según gravedad.



Fuente: Elaboración propia, 2020

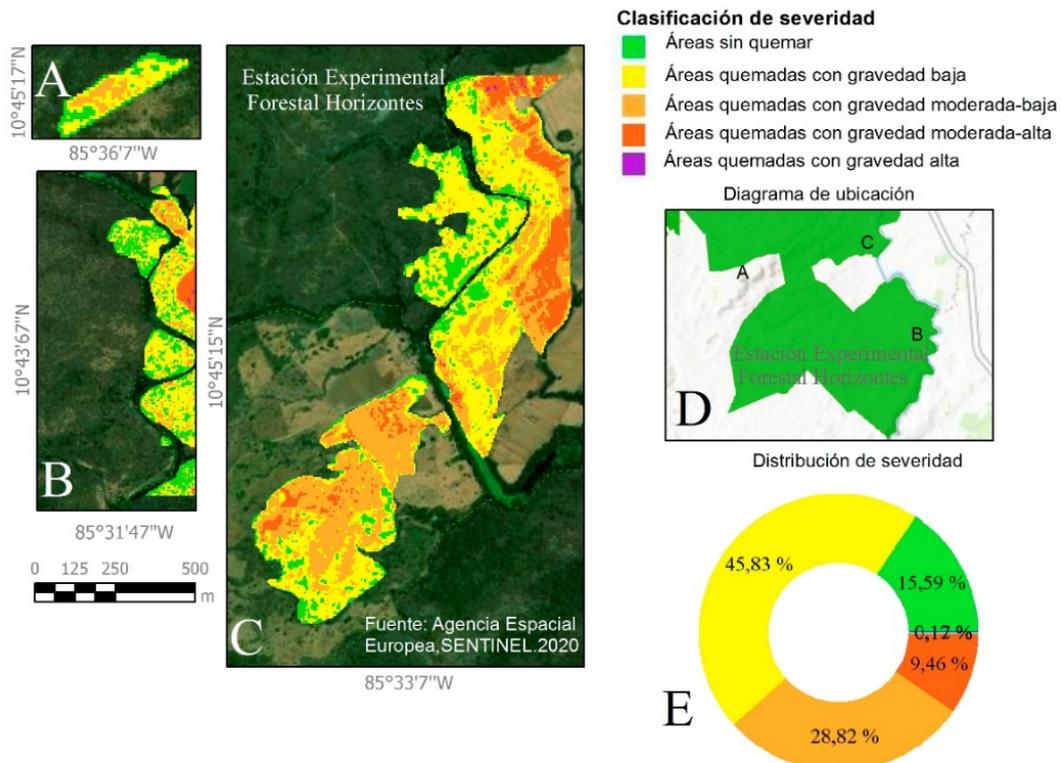
Figura 11 – Incendio en las áreas anexas del Parque Nacional Rincón de la Vieja



Fuente: Facebook del Área de Conservación Guanacaste (2020).

La Estación Experimental Forestal Horizontes fue una hacienda ganadera ubicada en el noroeste del cantón Liberia que mide un poco más de 7329 ha. Según la ACG (2012), más de un 70% de vegetación actual se caracteriza por algún grado de regeneración, que va desde pastizales arbustivos y plantaciones forestales y bosques de galería. En 2020, hubo eventos de quemaduras e incendios en la periferia de Horizontes donde se ubican plantaciones de caña de azúcar y pastizales (Figuras 12 y 13) y la gravedad de aproximadamente el 46% de las áreas quemadas fue baja. En resumen, durante el primer cuatrimestre, aproximadamente 307 ha fueron quemadas en los sectores analizados en esta área silvestre protegida.

Figura 12 – Severidad de los incendios forestales en la Estación Experimental Forestal Horizontes, 2020. (a) Sitio cercano a Barbudal. (b) Sitio Ahogados. (c) Márgenes del río Tempisquito. (d) Diagrama de ubicación. (e) Porcentaje de la distribución según gravedad.



Fuente: Elaboración propia, 2020

Figura 13 – Incendio en la Estación Experimental Forestal Horizontes en el margen del río Tempisquito, 2020



Fuente: Facebook del Área de Conservación Guanacaste, 2020

## CONCLUSIÓN

El uso de la teledetección e índices de vegetación específicos para la evaluación del impacto de los incendios y quemas en áreas protegidas permite obtener resultados de localización y distribución de los eventos y la calificación de la severidad de los fuegos en los ecosistemas y campos agrícolas. En la temporada 2020 la mayoría de los incendios en el Área de Conservación de Guanacaste se localizaron principalmente en las periferias de las áreas silvestres protegidas. En general, los incendios afectaron entre 176 y 307 ha. El uso de las imágenes SENTINEL y especialmente las bandas 8 (infrarrojo cercano NIR) y la banda 12 (onda corta SWIR) permiten mapear la severidad de un incendio para unidades mayores o iguales a 400 m<sup>2</sup>.

Consecuentemente, es recomendable que los estudios espacio-temporales de las quemas e incendios en áreas protegidas en el área de estudio incorporen cada vez más nuevas tecnologías geoespaciales como sistemas de aeronaves pilotadas remotamente, con sensores multispectrales o hiperespectrales, para realizar estudios locales de incidentes. Para escalas regionales se recomienda explorar y explotar las capacidades de las imágenes SENTINEL y otros proyectos satelitales para derivar otras técnicas y resultados en relación con la caracterización y cuantificación de la severidad del fuego y sus efectos ecológicos.

De manera complementaria, el trabajo de campo post evento es sugerido para documentar el efecto del fuego y para realizar los controles en terreno a fin de validar los análisis satelitales y efectuar el conteo de los daños en los espacios estudiados. No obstante, el presente estudio fue desarrollado en medio de la pandemia de COVID-19 que restringió la visita a campo. Consecuentemente se utilizó como referencia las publicaciones oficiales de la red social de ACG relacionadas con la temporada de incendios 2020.

A propósito del año 2020 y en relación con los incendios forestales se recomienda analizar a profundidad la magnitud y asociación desde punto de vista climático este objeto de estudio, ya que el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) permaneció en fase de neutralidad en el cuatrimestre analizado. Además, otro factor interesante de investigar es el efecto que tuvo la pandemia sobre las actividades precursoras del fuego producto del vandalismo o la cacería en áreas silvestres protegidas, debido al confinamiento y restricción de movilidad de la población costarricense a partir del mes de marzo debido a la expansión del COVID-19.

Finalmente, es importante motivar estudios geográficos por medio del uso de sensores activos como RADAR o LiDAR en terrenos sobre laderas del barlovento de la Cordillera Volcánica de Guanacaste, ya que la nubosidad y el aire húmedo ascendente al sistema

montañoso limita el uso de imágenes ópticas en lugares como: Orosi, Cacao, Del Oro, Pitilla, San Cristóbal, Pailas, Aguacates, Santa María, sectores de los parques nacionales: Guanacaste y Rincón de la Vieja.

## REFERENCIAS

AGENCIA ESPACIAL EUROPEA. **Sentinel-2 User Handbook**. 2015. 64 p. Disponible en: <[https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2\\_User\\_Handbook](https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook)> Acceso en: 02 mayo de 2020.

ALFARO, R., FERNANDEZ, W., & CONNELL, B. Detection of the forest fires of April 1997 in Guanacaste, Costa Rica, using GOES-8 images. **International Journal of Remote Sensing**, 20(6), 1189-1195, 1999. Disponible en <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/014311699212948>> Acceso en: 07 mayo de 2020.

ÁREA DE CONSERVACIÓN GUANACASTE (AGC). **Estación Experimental Forestal Horizontes. Área de Conservación Guanacaste**. 2012. Disponible en: <<https://www.acguanacaste.ac.cr/biodesarrollo/programa-de-restauracion-y-silvicultura/estacion-experimental-forestal-horizontes>>. Acceso en: 01 junio de 2020.

ÁREA DE CONSERVACIÓN GUANACASTE (AGC). **Facebook: Área de Conservación Guanacaste**. 2020. Disponible en: <<https://www.facebook.com/ACG.CR/>>. Acceso en: 01 junio de 2020.

ARELLANO, S; VEGA, J; RODRIGUEZ Y SILVA, F; FERNANDEZ, C; OTROS. Validación de los índices de teledetección dNBR y RdNBR para determinar la severidad del fuego en el incendio forestal de Oia-O Rosal (Pontevedra) en 2013. **Revista de Teledetección**. 49. Número especial, 49-61, 2017 Disponible en <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6226391>>. Acceso en: 02 junio de 2020.

BERGOEING, J.P, **Geomorfología regional de Costa Rica**. Editorial ARTGERUST, ISBN 9788416278411. 2014, 263 p.

CHUVIECO, E. **Teledetección Ambiental. La observación de la tierra desde el espacio**. Editorial Planeta S.A. Barcelona, España. 2010, 591 p.

COMISIÓN NACIONAL SOBRE INCENDIOS FORESTALES (CONIFOR). **Estrategia Nacional de Manejo Integral del Fuego en Costa Rica 2012-2021**. San José, Costa Rica: CONIFOR, 2014. 68 p. Disponible en <<http://www.sinac.go.cr/ES/partciudygober/Documents/Estrategia%20Nacional%20Manejo%20del%20Fuego.pdf>>. Acceso en: 02 julio de 2020.

CONGEDO, L. **Semi-Automatic Classification Plugin. Documentation Versión 5.3.6.1**. Disponible en: <<https://fromgistors.blogspot.com/p/user-manual.html>> , 2017. Acceso en: 14 mayo de 2020.

EIDENSHINK, J., SCHWIND, B., BREWER, K., ZHU, ZL., QUAYLE, B., HOWARD, S. A Project for Monitoring Trends in Burn Severity. **Fire Ecology** 3, 3–21, 2007. <<https://doi.org/10.4996/fireecology.0301003>> Acceso en: 12 mayo de 2020.

INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL (IMN). **Promedios mensuales de datos climáticos de la estación 72106 Santa Rosa 1972-2014**. Departamento de Información, 2018.

JANZEN, D; HALLWACHS, W. In Kappelle M. (ed.). **Costa Rican Ecosystems**. Chicago and London: The University of Chicago Press, 2016. p. 290-341.

KEY, C.H., BENSON, N.C. In Lutes, D.C., Keane, R.E., Caratti, J.F., Key, C.H., Benson, N.C., Sutherland, S., & Gangi, L.J. (eds.). **FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system**. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD, 2006. p. 1-55. Disponible en <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/24042>. Acceso en: 05 junio de 2020.

MEZA, A. **Época de incendios forestales finaliza con importante reducción de casi un 50%**, AMPrensa.com, 2020. Disponible en <https://amprensa.com/2020/06/epoca-de-incendios-forestales-finaliza-con-importante-reduccion-de-casi-un-50/>. Acceso en: 03 junio de 2020.

PROGRAMA DEL MANEJO DEL FUEGO. **Temporada de incendios forestales 2020. Área de Conservación Guanacaste**. 2020 Disponible en [https://www.acguanacaste.ac.cr/noticias/noticias-programa-de-proteccion-e-incendios/5001-temporada-de-incendios-forestales-2020-area-de-conservacion-guanacaste?utm\\_campaign=sidebar](https://www.acguanacaste.ac.cr/noticias/noticias-programa-de-proteccion-e-incendios/5001-temporada-de-incendios-forestales-2020-area-de-conservacion-guanacaste?utm_campaign=sidebar) Acceso en: 20 de junio de 2020.

SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN (SINAC). **SINAC en Números: Informe Anual Estadísticas SEMEC 2014**. San José, CR. 2014. 102 p. Disponible en <http://www.sinac.go.cr/ES/estadisticas/SINAC%20en%20Numeros/Informe%20SEMEC%202014.pdf> >. Acceso en: 13 marzo de 2020.

VARGAS, D. **Dinámica del paisaje en áreas afectadas por incendios forestales en el bosque tropical seco del Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica**. Tesis de grado sometida a la consideración del Tribunal Examinador del Programa de Licenciatura en Manejo de Recursos Naturales, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Manejo de Recursos Naturales. Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica. 2016 Disponible en <http://35.196.33.155/handle/11606/695>. Acceso en: 21 marzo de 2020.

VARGAS, G. Estudio cartográfico de los cambios de la vegetación de sabana en el Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica, 1985 – 2009. **Revista Geográfica de América Central**, 2(47), 71-96. 2011. Disponible en: <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/4110>. Acceso en: 17 marzo de 2020.

## AGRADECIMIENTOS

Deseamos manifestar un agradecimiento al proyecto B8088 de la Universidad de Costa Rica. También al estudiante Luis Diego Lara Pineda por el soporte asistencial en Geografía y al Dr. Mario Fernández Arce por la revisión de este documento.