

Influencia de factores meteorológicos en la generación de incendios en la provincia de las Tunas

Influence of geographic and meteorological factors in fire generation in las Tunas province

Influência de fatores meteorológicos na geração de incêndios na província de las Tunas

María de los Ángeles Zamora Fernández^{1*}  <https://orcid.org/0000-0002-2302-7076>

Julia Azanza Ricardo¹  <https://orcid.org/0000-0002-9454-9226>

¹Universidad de La Habana. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. Cuba.

*Autor para la correspondencia: maryzamfer97@gmail.com

Recibido: 21 de enero de 2020.

Aprobado: 5 de agosto de 2020.

RESUMEN

Debido a las repercusiones de los incendios, se hace necesario conocer las particularidades territoriales que favorecen su surgimiento y dispersión. Por sus características meteorológicas, Las Tunas es una provincia vulnerable a la ocurrencia de incendios. Por ello, este trabajo pretende relacionar la aparición y magnitud de incendios con las características geográficas y meteorológicas de los municipios de Las Tunas y Puerto Padre de la provincia de Las Tunas, Cuba en el período 2008-2012. Para ello se analizaron 249 incendios y se estudió el comportamiento de variables meteorológicas relevantes para el estudio. Se encontraron diferencias entre los municipios con respecto a la ocurrencia de incendios, las áreas afectadas por estos y los factores relacionados con la dispersión. Para el caso de los incendios pequeños, se comprobó la relación entre las variables meteorológicas y el área afectada por los incendios, aunque los valores de correlación no fueron altos. Las variables con mayor influencia, como era esperado, fueron las relacionadas con la humedad de los materiales combustibles, los acumulados de precipitaciones 15 y 20 días antes de cada incendio y la humedad relativa. Se pudo agrupar con éxito el número de incendios y área afectada con respecto a diferentes rangos de las variables meteorológicas, logrando obtener criterios cualitativos de riesgo de incendio.

Palabras clave: Formación vegetal; Incendio; Las Tunas; Variables meteorológicas.

ABSTRACT

Due to the repercussions of fires, it is necessary to know the territorial particularities that favor their emergence and dispersion. Because of its meteorological characteristics, Las Tunas is a vulnerable province to the occurrence of fires. For this reason, this study intends to relate the occurrence and magnitude of fires with the geographical and meteorological conditions of Las Tunas and Puerto Padre



municipalities in Las Tunas province, Cuba, in the period 2008-2012. For this purpose, 249 fires were analyzed along with the behavior of meteorological variables. There were found differences among the municipalities regarding the occurrence of fires, the areas affected and the factors related to the spreading. For the case of small fires, it was verified the relationship between meteorological variables and the area affected by fires, although the correlation values were not high. The variables with greater influence, as it was expected, were those related to the moisture of the combustible materials, to the accumulated of precipitations 15 and 20 days before each fire and the relative humidity. It was possible to group successfully the number of fires and affected area with respect to different ranges of the meteorological variables, obtaining qualitative criteria of fire risk.

Keywords: Vegetal formation; Fire; Las Tunas; Meteorological variables.

RESUMO

Devido ao impacto dos incêndios, é necessário conhecer as particularidades territoriais que favorecem a sua emergência e dispersão. Dadas as suas características meteorológicas, Las Tunas é uma província vulnerável à ocorrência de incêndios. Por esta razão, este trabalho visa relacionar o surgimento e a magnitude dos incêndios com as características geográficas e meteorológicas dos municípios de Las Tunas e Puerto Padre na província de Las Tunas, Cuba, no período 2008-2012. Para o efeito, foram analisados 249 incêndios e estudado o comportamento das variáveis meteorológicas relevantes para o estudo. Foram encontradas diferenças entre os municípios no que diz respeito à ocorrência de incêndios, às áreas afetadas por eles e aos fatores relacionados com a dispersão. No caso de pequenos incêndios, foi verificada a relação entre as variáveis meteorológicas e a área afetada pelos incêndios, embora os valores de correlação não fossem elevados. As variáveis com maior influência, como esperado, foram as relacionadas com a humidade dos materiais combustíveis, principalmente a pluviosidade acumulada, 15 e 20 dias antes de cada incêndio, e a humidade relativa. O número de incêndios e a área afetada poderiam ser agrupados com sucesso em relação a diferentes gamas de variáveis meteorológicas, obtendo-se assim critérios qualitativos de risco de incêndio.

Palabras clave: Formación vegetal; Fogo; Las Tunas; Variáveis meteorológicas.

INTRODUCCIÓN

El equilibrio natural de las formaciones vegetales y los incendios ha sido modificado por la acción humana (Carrillo *et al.*, 2012), a través de la intervención cada vez más agresiva sobre los recursos naturales renovables (Mondragón *et al.*, 2013), FAO 2016, Doerr y Santín 2016). La actividad agrícola es una de las principales responsables de este daño (Vélez 1995), (Castillo *et al.*, 2003, Anaya *et al.*, 2017), sin embargo, los incendios provocados, han pasado a ocupar uno de los primeros lugares en la causalidad del problema (Castillo *et al.*, 2003).

La investigación sobre la ocurrencia de los incendios ha aumentado paulatinamente a lo largo de los años, con especial atención al desarrollo de índices de peligrosidad (Solano 2004, Torres *et al.*, 2007, Carrasco 2016). La mayoría de los índices utilizados para el estudio del peligro de incendios, a pesar de que brindan una panorámica ajustada a las condiciones observadas, deben ser valorados de acuerdo con las particularidades territoriales, al no considerar elementos que influyen en el inicio y desarrollo de los fuegos (Domínguez *et al.*, 2008).



La frecuencia y la intensidad de los incendios está determinada de forma general por el clima, la topografía y la acumulación de material combustible (Castillo *et al.*, 2003). Diferentes estudios, utilizando estaciones meteorológicas de superficie, han confirmado la influencia que tiene el déficit de precipitación, el aumento de la temperatura, la rapidez del viento y la disminución de la humedad relativa en la ocurrencia y dispersión de los incendios (Solano 2004, Carrasco 2016). Otros autores evalúan, además, la influencia de patrones sinópticos (Carracedo *et al.*, 2009) y de las oscilaciones climáticas (Carracedo *et al.* 2009, González *et al.*, 2011, Mondragón *et al.*, 2013). Incluso, nuevas investigaciones afirman que sin ajustes previsoires es muy probable que el cambio climático incremente la frecuencia y la intensidad de los incendios durante temporadas más largas (Parry *et al.*, 2007, FAO 2016, Doerr y Santín 2016), lo que tendrá efectos negativos significativos para la vida en la Tierra.

Aunque no pueden compararse las magnitudes de las afectaciones de los incendios en Cuba con otros países donde las situaciones son críticas, los incendios constituyen un fenómeno que incrementa la deforestación, la degradación de los suelos y la pérdida de la diversidad biológica (CITMA 2010). Incluso el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) ha incluido entre los cinco grandes problemas ambientales del país, la afectación a la cobertura vegetal donde los incendios juegan un papel muy importante (Planos *et al.*, 2013).

La provincia de Las Tunas, ha sido considerada como una de las más vulnerables a los procesos de aridez, desertificación e incendios (Planos *et al.* 2013), Instituto de Geografía Tropical 2015), debido a las características de los suelos y a la situación climática de la región (clima seco con pocas precipitaciones anuales, altas temperaturas y procesos de sequía). Es, además, una de las provincias más deforestadas del país, con poca superficie de bosques, en su mayoría deteriorados. El municipio de Puerto Padre, ubicado al norte de la provincia, se encuentra entre los 15 municipios del país donde los bosques existentes enfrentan los mayores riesgos de muerte regresiva (Planos *et al.*, 2013). Por lo que los incendios constituyen una presión adicional al desarrollo de la agricultura y provocan un gran daño a las formaciones vegetales de manera general.

Debido a lo expresado anteriormente, el siguiente trabajo tiene como objetivo relacionar la aparición y magnitud de incendios con las características geográficas y meteorológicas locales de los municipios de Las Tunas y Puerto Padre de la provincia de Las Tunas en el período 2008-2012.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del área de estudio

La provincia Las Tunas (Figura 1) se ubica en la región oriental de Cuba y está formada por ocho municipios (ONEI 2019). El territorio presenta un clima seco y suelos semidesérticos (Planos *et al.* 2013). La capital provincial es el municipio Las Tunas (latitud: 20° 57' 25" N y longitud: 76° 57' 13" O) que tiene una extensión superficial de 908,9 km² y una población residente de 207 648 habitantes. Por otra parte, el municipio de Puerto Padre (latitud: 21° 11' 43" N y longitud: 76° 36' 5" O) tiene una extensión superficial de 1 106,3 km² y una población residente de 92 441 habitantes (ONEI 2019).



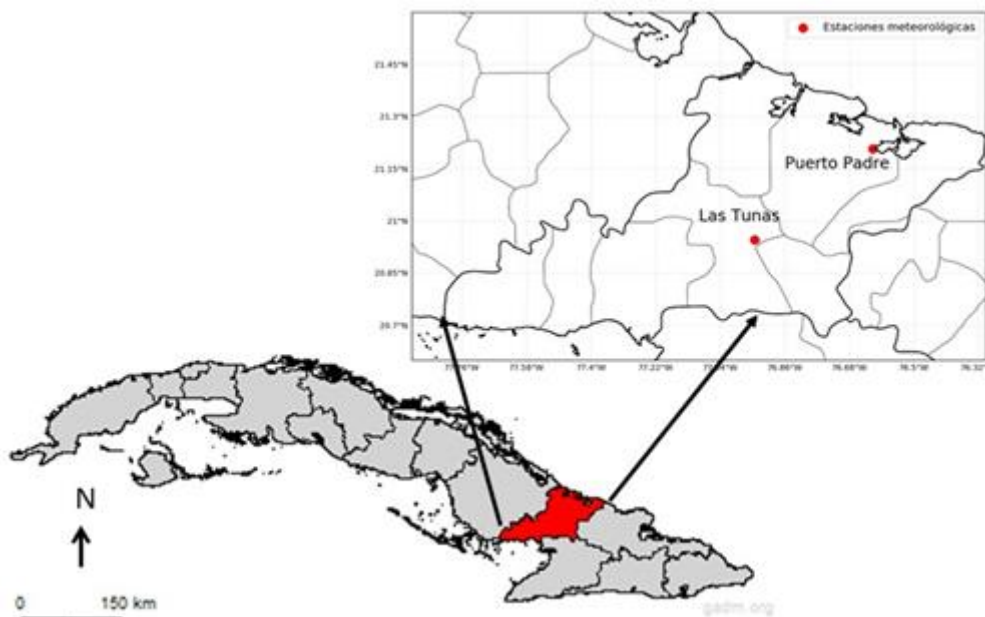


Figura 1. - Área de estudio

Colecta de datos

Los datos de incendios fueron obtenidos en la oficina del CITMA de la provincia de Las Tunas, los cuales a su vez fueron proporcionados por el Centro de Guardabosques. Para la evaluación del comportamiento se tuvo en cuenta la distribución en años, meses, horas, días de la semana, la formación forestal afectada, total de área afectada, clase de peligrosidad, período hidrológico y causas.

La serie de datos meteorológicos se obtuvo a partir de la base de datos suministrada por el Centro del Clima perteneciente al Instituto de Meteorología de la República de Cuba (INSMET). Las variables consideradas son: Hr-humedad relativa (%), T-temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$), Td-temperatura de punto de rocío ($^{\circ}\text{C}$), FF-rapidez del viento (km h^{-1}), DD-Dirección del viento y P-precipitación (mm). Se utilizaron las mediciones de las 13:00 horas en las estaciones meteorológicas de Las Tunas y Puerto Padre (Figura 1), excepto para el caso de la precipitación que se analizó su acumulado en ciclos de 24 horas, tal como se sugiere en Carrasco (2016).

Análisis de los datos

A partir de las variables disponibles y utilizando el programa en lenguaje de programación *Python* 3.6.3 se obtuvieron dos nuevas variables, consideradas por Solano (2004) y Carrasco (2016) importantes para el análisis: Días SLL (Número de días sin lluvias antes de la ocurrencia del incendio) y Días SLL ≥ 5 mm (Número de días sin lluvias mayor o igual a 5 mm antes de la ocurrencia del incendio). Para analizar la situación precedente a cada uno de los incendios se determinaron los acumulados de precipitaciones en intervalos de 5, 10, 15 y 20 días antes de la ocurrencia del incendio, debido a que la peligrosidad de un incendio está determinada tanto por las condiciones meteorológicas que presenta un día en particular como por el cúmulo de días (Solano, 2004).



Primeramente, se determinó si existían diferencias significativas entre las variables meteorológicas por municipio utilizando la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney. Se determinó, además, si existían diferencias significativas entre formaciones vegetales en cuanto a las variables meteorológicas mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis seguida por su correspondiente análisis de comparaciones múltiples de rango. Estas pruebas se realizaron utilizando el software Statsoft Statistica versión 7.0 con un valor de significación de 0,05.

Para relacionar el área afectada por cada incendio y las variables meteorológicas rapidez del viento (FF), temperatura (T), temperatura del punto de rocío (Td), humedad relativa (Hr), Días sin lluvia (Días SLL), días sin lluvias mayores a 5 mm (Días SLL ≥ 5 mm), Acumulado de precipitaciones 5 días antes de cada incendio (AcumR5DA), Acumulado de precipitaciones 10 días antes de cada incendio (AcumR10DA), Acumulado de precipitaciones 15 días antes de cada incendio (AcumR15DA) y Acumulado de precipitaciones 20 días antes de cada incendio (AcumR20DA). Se empleó el coeficiente de correlación de Spearman calculado con el software OriginPro versión 8.0721. Las áreas afectadas por los incendios en ambos municipios se separaron en dos grupos *a priori*: los pequeños (para una afectación menor de 50 ha) y los grandes (para los mayores o iguales de 50 ha) y se recalcularon los coeficientes de correlación para cada grupo por separado, para determinar la relevancia de las variables en la dispersión.

Luego se agrupó el área afectada total para determinados criterios de las variables meteorológicas temperatura (T), temperatura del punto de rocío (Td), humedad relativa (Hr), rapidez del viento (FF), días sin lluvias mayores o iguales de 5 mm (Días SLL ≥ 5), acumulado de precipitaciones 15 días antes de cada incendio (AcumR15DA) y acumulado de precipitaciones 20 días antes de cada incendio (AcumR20DA). Además, se determinó la probabilidad de ocurrencia de incendios para los criterios de las variables meteorológicas temperatura (T), temperatura del punto de rocío (Td), humedad relativa (Hr), rapidez del viento (FF). Además, se determinó la relación entre la dirección y la rapidez del viento, el total de incendios y el área afectada por incendios en Las Tunas y Puerto Padre mediante un gráfico radial.

Finalmente, para determinar el grado de contribución de las variables meteorológicas en la magnitud del área afectada se realizó un análisis de componentes principales (PCA) utilizando el software Primer 5.2.9. Esto permitió explicar la variabilidad existente y qué variables contribuyen en mayor medida a dicha variabilidad a partir de tres representaciones gráficas teniendo en cuenta los siguientes factores: municipio, causa de los incendios y formación vegetal afectada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características climáticas de la región

A partir de los datos meteorológicos suministrados por el INSMET, se puede resumir que el municipio de Las Tunas, teniendo en cuenta el período 1989-2018, tiene una temperatura media de 26,34°C, siendo la máxima para el mes de julio con un valor de 28,55°C y la mínima para el mes de enero con un valor de 23,73°C. El acumulado promedio anual de precipitaciones es de 1178,05 mm con un mínimo para el mes de febrero de 29,40 mm y un máximo para el mes de junio con 176,24 mm. En cuanto al municipio de Puerto Padre, la temperatura media es de 26,44°C, mientras que la máxima se registra en el mes de julio con un valor de 29,01°C y la mínima en el mes de enero con un valor de 23,66°C. El acumulado promedio anual de precipitaciones es de 948,32 mm con un mínimo para el mes de febrero de 38,61 mm y un máximo para el mes de octubre con 131,63 mm.



En el período de estudio 2008-2012 ocurrieron un total de 249 incendios entre los municipios de Las Tunas (89) y Puerto Padre (160). La mayor cantidad ocurrió en el año 2012 para el municipio de Las Tunas (61), mientras que en Puerto Padre fue en el 2008 con 73. Se encontró, además, que coincidieron en el mismo año los mayores valores de número de incendios y total de áreas afectadas. Se destacó el año 2008 para Puerto Padre debido a la ocurrencia de un incendio de grandes proporciones (1935 ha afectadas). Los meses de mayor número de incendios fueron los del período poco lluvioso del año: febrero para Puerto Padre y marzo para Las Tunas. Es en este período donde se concentraron los menores acumulados mensuales de precipitaciones y los valores más bajos de humedad relativa (Tabla 1). El mayor número de incendios ocurrió entre las 13 y 17 horas para ambos municipios.

Tabla 1. - Promedio mensual de las variables meteorológicas en los municipios Las Tunas y Puerto Padre en el período 1989-2018

Mes	Las Tunas						Puerto Padre					
	\bar{T} (°C)	\bar{Td} (°C)	\bar{Hr} (%)	\bar{FF} (km h ⁻¹)	\bar{P} (mm)	FRI (%)	\bar{T} (°C)	\bar{Td} (°C)	\bar{Hr} (%)	\bar{FF} (km h ⁻¹)	\bar{P} (mm)	FRI (%)
1	23,73	17,98	75,66	11,95	30,46	3,37	23,66	19,52	79,32	13,00	60,04	16,88
2	23,94	17,46	72,61	12,42	29,40	24,72	23,79	19,07	76,47	14,08	38,61	25,00
3	24,81	17,46	70,03	12,61	36,66	38,20	24,55	19,25	74,73	14,42	46,59	23,13
4	26,42	18,66	70,12	12,12	73,26	22,47	26,13	20,51	75,02	14,72	43,60	17,50
5	27,36	20,52	74,94	10,59	148,18	11,24	27,25	21,97	77,70	13,25	113,47	15,63
6	28,21	22,26	78,54	8,48	176,24	0,00	28,52	23,55	79,85	12,00	91,99	1,25
7	28,55	22,43	77,60	9,69	128,60	0,00	29,01	23,81	78,04	13,78	59,55	0,00
8	28,51	22,58	78,51	8,72	156,94	0,00	28,89	23,81	78,41	11,73	72,22	0,63
9	27,94	22,63	80,60	6,91	175,63	0,00	28,21	23,51	79,67	9,06	115,96	0,00
10	26,91	22,23	81,62	7,93	145,93	0,00	27,18	23,08	81,20	9,30	131,63	0,00
11	25,37	20,56	79,69	10,82	45,88	0,00	25,64	21,64	80,30	11,55	108,27	0,00
12	24,31	19,15	77,94	11,88	30,88	0,00	24,43	20,50	80,28	12,30	66,39	0,00
Anual	26,34	20,32	76,49	10,34	1178,05		26,44	21,69	78,42	12,43	948,32	

FRI: Frecuencia relativa de ocurrencia de incendios (%)

Se encontraron diferencias a nivel local entre las variables meteorológicas por los incendios en Las Tunas y Puerto Padre con respecto a las variables meteorológicas (Tabla 2). La comparación entre las medias territoriales determinó que existían diferencias para las variables relacionadas con las precipitaciones, con mayores valores medios en Puerto Padre que en Las Tunas.



Tabla 2. - Comparación de los valores medios de diez variables meteorológicas entre Las Tunas y Puerto Padre

VARIABLES	\bar{X} Las Tunas	\bar{X} Puerto Padre	U Mann-Whitney
FF	17,49	22,34	2 614,5 n. s
T	30,13	28,17	2 573,5 n. s
Td	14,04	18,87	2 500 n. s
Hr	38,53	57,51	2 624,5 n. s
DíasSLL	19,22	7,16	1 860 **
DíasSLL\geq5 mm	42,66	12,71	1 928,5 *
AcumR5DA	3	7	2 203,5 *
AcumR10DA	5	15	1 848 **
AcumR15DA	12	23	1 984,5 *
AcumR20DA	17	34	1 422,5 ****

* Diferencias significativas ($P < 0,05$), n.s-no hay diferencias significativas ($P < 0,05$)**Tabla 3.** - Comparación de los valores medios de diez variables meteorológicas entre formaciones vegetales

VARIABLES	\bar{X}_{Pifor}	\bar{X}_{SCF-C}	\bar{X}_{SCF-MD}	\bar{X}_{MC}	$\bar{X}_{caña}$	H
FF	17,8	19,0	26,0	33,0	22,0	16,29 ****
T	29,5	30,5	30,6	29,8	28,0	64,74 n. s
Td	14,1	15,6	13,6	21,2	18,8	81,38 ****
Hr	40,0	41,7	36,0	60,5	58,0	110,03 **
DíasSLL	20	13	24	13	7	12,00*
DíasSLL\geq5 mm	41	33	54	50	12	60,68 **
AcumR5DA	4	5	0	0	7	6,97 n. s
AcumR10DA	6	8	1	0	15	24,36 **
AcumR15DA	14	13	1	2	23	37,41 **
AcumR20DA	20	16	1	2	35	57,18 **

* Diferencias significativas ($P < 0,05$), n.s-no hay diferencias significativas ($P < 0,05$)

Estas variables también fueron comparadas entre formaciones vegetales (Pifor: Matorrales secundarios; SCF-C: semicaducifolias sobre suelo calizo; SCF-md: semicaducifolias sobre suelo con mal drenaje; MC: manigua costera y el cultivo de caña) afectadas por incendios y se obtuvieron diferencias significativas para todas, excepto la temperatura y el acumulado de precipitaciones 5 días antes de cada incendio (Tabla 3). Los mayores valores promedios de rapidez del viento, temperatura de punto de rocío y humedad relativa fueron para la manigua costera. Analizando las precipitaciones, la menor cantidad de días sin lluvias y días sin lluvias mayores de 5 mm fue para la caña, sin embargo, este cultivo tuvo un mayor acumulado promedio 5, 10, 15 y 20 días antes de cada incendio.



Efecto de las variables meteorológicas en la magnitud de los incendios

Los valores de correlación entre el área afectada por municipio y las variables meteorológicas no fueron significativas (Tabla 4), resultado encontrado también, por Carrasco (2016) en la provincia de Pinar del Río. La excepción fue la rapidez del viento en el municipio de Las Tunas y el acumulado de precipitaciones 20 días antes de los incendios en Puerto Padre. Debido a los resultados anteriores, se decidió realizar el análisis por nivel de área afectada. Para los incendios pequeños, las correlaciones de todas las variables fueron significativas excepto el acumulado de precipitaciones 5 días antes de los incendios. Las correlaciones más altas fueron para la temperatura del punto de rocío y la humedad relativa, pero con sentido positivo cuando debería ocurrir lo contrario. El sentido de la correlación también fue contrario a lo que debería ocurrir para las variables temperatura, días sin lluvia, y días sin lluvias mayores o iguales a 5 mm y con los acumulados de precipitaciones. Para los incendios grandes, no se tuvo en cuenta el incendio del 20 de mayo del 2008 en Puerto Padre con 1 935 ha afectadas ocasionado por un rayo, por ser un caso extremo. En este caso la mejor correlación fue para el acumulado de precipitaciones 15 días antes de cada incendio, con sentido negativo, lo que demostró la importancia de la precipitación no solo si llovía o no, sino su acumulado en un período de tiempo.

Tabla 4. - Relación entre área afectada por los incendios y las variables meteorológicas en los municipios de Las Tunas y Puerto Padre; considerando como grupos los incendios pequeños y los incendios grandes en los dos municipios

Variables	FF (km h ⁻¹)	T (°C)	Td (°C)	Hr (%)	Días SLL	DíasSLL ≥5 mm	AcumR 5DA (mm)	AcumR 10DA (mm)	AcumR 15DA (mm)	AcumR 20DA (mm)
Las Tunas	-0,279 *	0,220	-0,071	-0,110	-0,110	0,095	0,078	-0,093	-0,145	-0,182
Puerto Padre	-0,126	0,024	-0,014	-0,066	-0,018	-0,007	-0,015	0,110	0,119	0,315 *
Incendios pequeños	0,153 *	-0,372 *	0,485 *	0,545 *	-0,140 *	-0,353 *	0,077	0,245 *	0,317 *	0,389 *
Incendios grandes	0,086	-0,132	-0,197	-0,239	-0,106	0,286	0,058	-0,202	-0,433 *	-0,056

* Diferencias significativas ($P < 0,05$)

Según la clase de peligrosidad establecida por Oharriz y Davidenko *et al.*, (1989), en Las Tunas predominaron los incendios de tipo II (pequeños) con solo de 1 a 10 ha de área afectada y en Puerto Padre los de tipo III (medianos) con afectaciones de 10.1 a 20 ha. Las formaciones vegetales más afectadas fueron los matorrales secundarios para Las Tunas y la caña para Puerto Padre. En Puerto Padre predominaron los incendios originados de forma intencional y en Las Tunas, las negligencias.

Criterios cualitativos de riesgo de incendios

Para poder identificar posibles criterios cualitativos de riesgo de incendios según las variables meteorológicas estas se agruparon en intervalos de variación (Figura 2). Para el caso de la temperatura (Figura 2 A) el valor máximo de área afectada estuvo entre los 27,5°C y 30,4°C, al igual que la mayor probabilidad de incendios. Para la humedad relativa (Figura 2 B), la mayor probabilidad de incendios estuvo para los valores menores iguales a 43 %. Teniendo en cuenta la temperatura de punto de rocío (Figura 2 C) en Las Tunas el máximo valor de área afectada y la mayor probabilidad se encontró para valores menores a 18,5°C. Con relación a la rapidez del viento (Figura 2 D) la mayor área afectada y probabilidad de incendios ocurrió para valores inferiores a los 22 km h⁻¹.



Con relación a la influencia de las precipitaciones, se analizaron los días sin lluvias mayores o iguales de 5 mm y los acumulados de precipitaciones 15 y 20 días antes de cada incendio (Figura 3). Para el total de días con precipitaciones menores de 5 mm (Figura 3A) el comportamiento en cada municipio fue diferente, pues, en el caso de Las Tunas la mayor área afectada ocurrió para más de 60 días sin lluvia, mientras que, para Puerto Padre, para menos de 20 días. Al analizar el acumulado de precipitaciones 15 días antes de cada incendio (Figura 3B) se encontró que en ambos municipios el valor máximo de área afectada fue para los acumulados menores de 10 mm. Finalmente, para el acumulado de precipitaciones 20 días antes de cada incendio (Figura 3C) se encontró que en Las Tunas el valor máximo de área afectada estuvo para los acumulados menores de 10 mm, mientras que para Puerto Padre fue entre los 10 y los 49 mm.

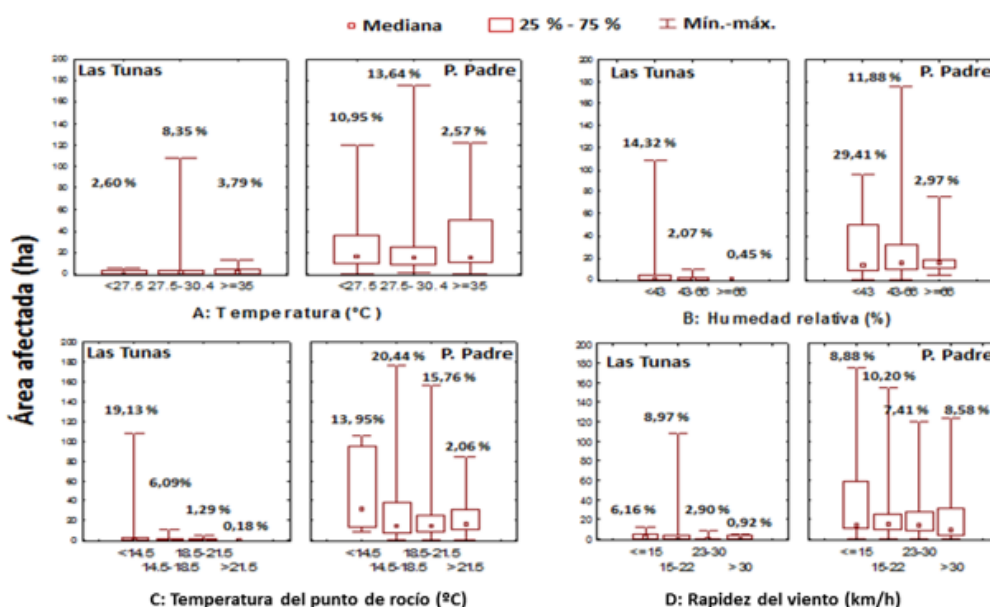
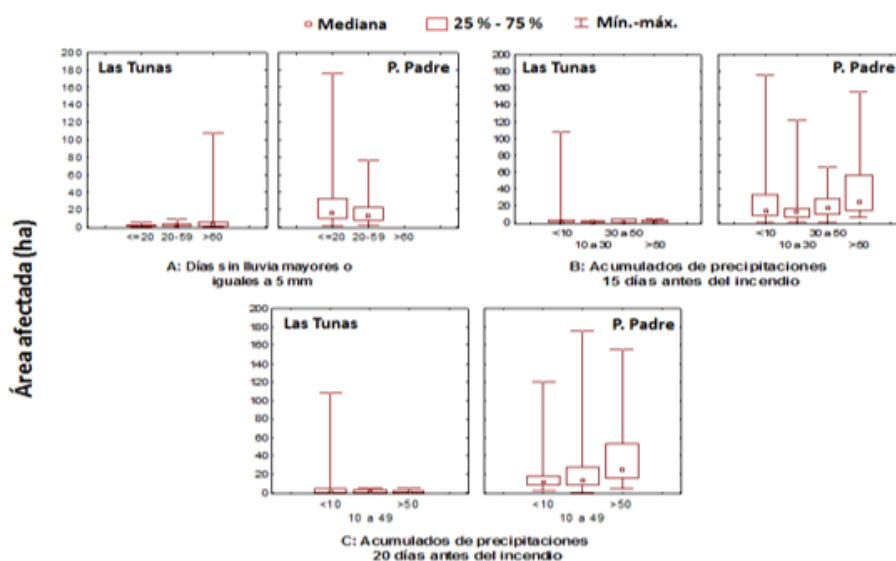


Figura 2. - Variación del área afectada por incendios según variables meteorológicas A: Temperatura (°C), B: Humedad relativa (%), C: Temperatura de punto de rocío (°C) y D: Rapidez del viento



(km h⁻¹)

Figura 3. - Variación del área afectada por incendios según las precipitaciones A: Días sin precipitaciones mayores de 5 mm, B: Acumulado de precipitaciones 15 días antes de cada incendio y C: Acumulado de precipitaciones 20 días antes de cada incendio



Si se analiza la dirección del viento en ambos municipios (Figura 4), en el municipio de Las Tunas la mayor rapidez del viento media, Dirección del viento predominante en 2008-2012, Total de incendios y Área Afectada coincide con las direcciones este (E) y noreste (ENE). En el municipio de Puerto Padre, sin embargo, se encuentra una mayor variabilidad, pues las direcciones donde se produce el mayor número de incendios y la mayor cantidad de área afectada son noreste (NE) y este-noreste (ENE), las que, a su vez, son las direcciones del viento predominantes en el periodo de estudio, pero no son las de mayor rapidez del viento (WSW: oeste-suroeste). En síntesis, en el municipio de Puerto Padre la dirección del viento es más importante en la aparición y magnitud de los incendios que la rapidez del viento.

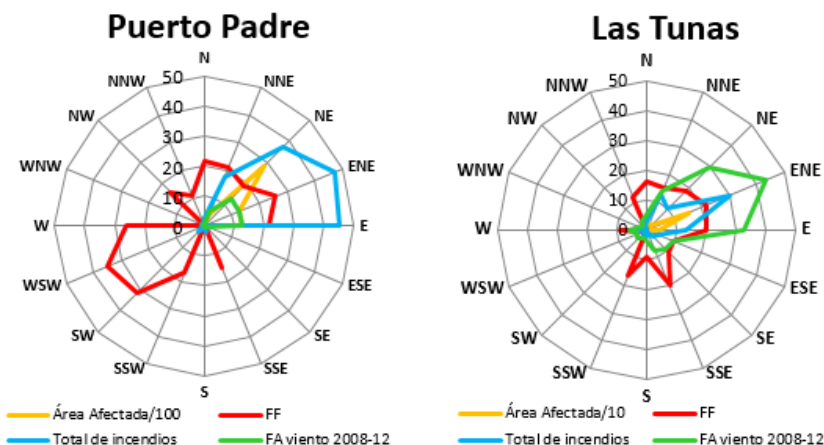


Figura 4 - Relación entre dirección del viento, rapidez del viento, total de incendios y área afectada por incendios en Las Tunas y Puerto Padre

Análisis multivariado

El análisis de componentes principales (PCA) mostró las variables que más resaltaron por orden de importancia en el eje 1 (PCA 1) con 37,7 % de variación fueron las relacionadas con el nivel de precipitaciones, entre las cuales, los acumulados 15 y 20 días antes son las que más contribuyeron a la dispersión de los datos en ese eje. En cuanto a la variación explicada por el segundo eje (PCA 2) con un 15,8 % las variables de mayor peso fueron la rapidez del viento (FF) y la temperatura (T) (Tabla 5).

Tabla 5. - Contribución a la variación natural de las variables analizadas en cada uno de los tres componentes principales que explican 64,6 % de la variación del área afectada por incendios en Las Tunas

Causa	FF	T	Td	Hr	Días SLL	Días SLL ≥ 5	Acum R5DA	Acum R10DA	Acum R15DA	Acum R20DA	
PCA 1 (37,7 %)	0,049	0,026	0,195	-0,324	-0,361	0,173	0,353	-0,329	-0,338	-0,416	-0,414
PCA 2 (15,8 %)	-0,233	0,463	-0,459	0,222	0,381	0,277	-0,082	-0,33	-0,349	-0,072	-0,062
PCA 3 (11,1 %)	0,668	0,092	0,097	0,205	0,102	-0,059	-0,032	-0,055	-0,06	-0,103	-0,045

A partir del análisis integral de los incendios producidos y teniendo en cuenta todas las variables meteorológicas, se pudieron distinguir dos grupos fundamentales: en el primero, los incendios intencionales producidos en Puerto Padre en los campos de caña y en el segundo grupo, los incendios producidos en las Tunas por negligencias en diferentes formaciones vegetales (Figura 5). Las diferencias entre los dos grupos estuvieron determinadas fundamentalmente por el comportamiento de las



precipitaciones en el primer eje (PCA 1), en particular, los acumulados de precipitaciones de 15 y 20 días antes de cada incendio, mientras que para el eje (PCA 2), la rapidez del viento y la temperatura.

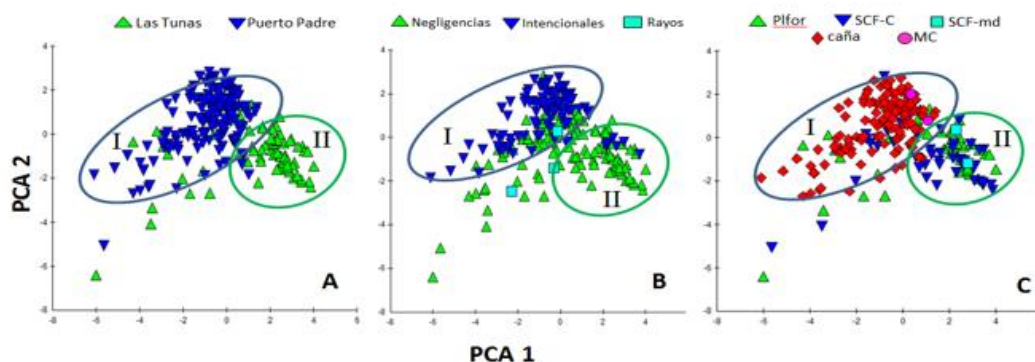


Figura 5. - Análisis de componentes principales en los cuales se muestra la distribución de los datos teniendo en cuenta tres factores:

A: Municipio, B: Causa de los incendios y C: Formación vegetal afectada

El mayor número de incendios y la mayor cantidad de área afectada ocurrieron en el período poco lluvioso del año, debido a que el material combustible tiende a aumentar su inflamabilidad y disponibilidad por el bajo contenido de agua que tienen las fibras (Carrasco 2016). Los meses de mayor ocurrencia no se correspondieron con los de otras zonas del país como Pinar del Río (Ramos y Soares 2004, Ramos y Cabrera 2011, Carrasco 2016) donde el mes de mayor ocurrencia fue mayo, hecho que tiene su causa en la localización geográfica de las regiones y a la influencia de sistemas meteorológicos en el periodo invernal como los frentes fríos, los cuales provocan un mayor número de precipitaciones en los primeros meses del año en las regiones del Occidente del país. Los meses de mayor ocurrencia tampoco se correspondieron con la de otras zonas como Brasil (Ramos y Soares 2004) debido a que las localidades están en hemisferios diferentes y el período poco lluvioso es contrario, pero sí con España, especialmente en la región de Cantabria (Carracedo 2009).

Con respecto al horario de ocurrencia de los incendios estos sí se asemejaron a las investigaciones mencionadas previamente (*opcit*), en las cuales todas apuntaron como los de mayor probabilidad los horarios de la tarde, entre 14:00 y las 18:00 hora local. Este comportamiento está en correspondencia con la distribución diaria de la temperatura y la humedad relativa, dos variables del tiempo atmosférico que influyen en la humedad de los materiales combustibles, además, en este horario ocurre el mayor tráfico de vehículos y mayor movimiento de personas (Domínguez *et al.* 2008, Carrasco 2016, Barcia *et al.* 2019).

La comparación entre las medias territoriales evidenció la importancia de diferenciar el comportamiento de las precipitaciones en la ocurrencia de incendios y además evidenció que para analizar la influencia de las variables meteorológicas en los incendios es importante tener en cuenta el tipo de formación forestal afectada, pues no todas responden a las condiciones meteorológicas de la misma manera (Domínguez *et al.* 2008).

Las correlaciones entre el área afectada y las variables meteorológicas de forma general fueron poco informativas debido a que el grado de afectación no depende solamente de las variables meteorológicas, dato encontrado por Carrasco (2016). Otros factores que pudieron influir fueron la topografía, características del material combustible, los sistemas de alerta temprana y los medios de control disponibles



(Carracedo 2009, Barcia *et al.* 2019). Las estadísticas de incendios en Cuba señalan que el origen de los incendios es también determinante, porque en su mayoría son ocasionados por el hombre de forma intencional o accidental (Solano 2004). En Puerto Padre predominaron los incendios originados de forma intencional y en Las Tunas por negligencias, y se diferenció con la provincia de Pinar del Río donde la causa más común fueron los rayos (Ramos y Soares 2004, Ramos y Cabrera 2011, Carrasco 2016). En los incendios, por tanto, influyen factores sociales y factores vegetales, pero sin condiciones meteorológicas adecuadas ni el incendiario más hábil podría hacer arder la planta más inflamable (Vélez, 1995).

Las formaciones vegetales más afectadas fueron los matorrales secundarios para Las Tunas y la caña para Puerto Padre, diferenciándose de la provincia de Pinar del Río, donde la formación vegetal más afectada fue *Pinus spp.*, que es además, una de las predominantes en la región (Rodríguez *et al.*, 2015, Carrasco 2016), pero sí coincidió con la provincia de Cienfuegos, donde ocurrieron incendios por quemas no controladas en formaciones cañeras o inducidas por personas que violan las medidas de seguridad (Barcia *et al.*, 2019).

Con respecto a las semicaducifolias sobre suelo calizo (SCF-C), estas pierden sus hojas en el periodo de sequía y por tanto pueden producirse ocasionales incendios superficiales (Domínguez *et al.* 2008). Para Las Tunas la mayoría de los incendios ocurrieron en matorrales indiferenciados, mayoritariamente secundarios, marabuzales y pastos con matorrales (Figura 6), pero también al igual que en Puerto Padre se encuentran afectaciones en los SCF-C.

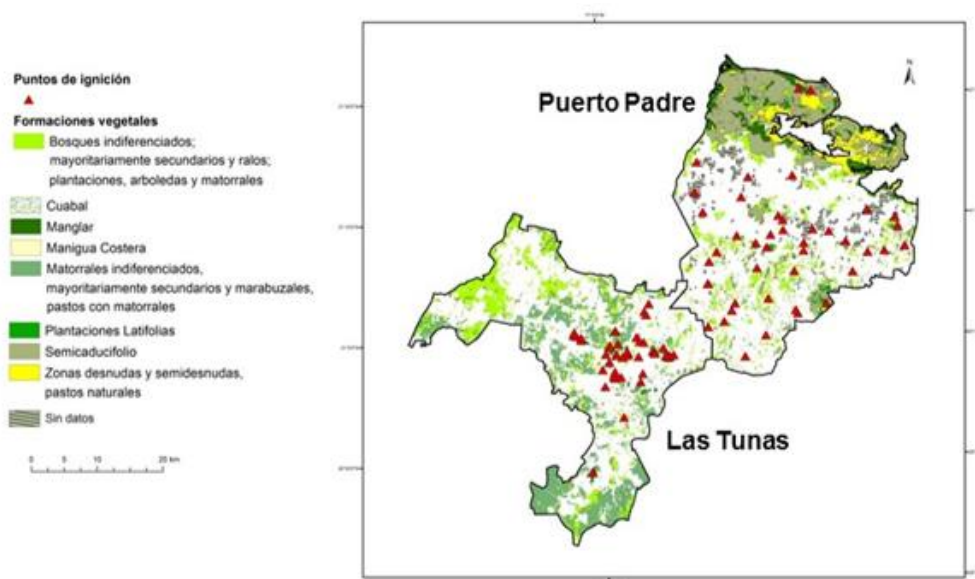


Figura 6. - Puntos de ignición y formaciones vegetales en Las Tunas y Puerto Padre

Teniendo en cuenta todo lo analizado anteriormente se puede resumir que la mayor probabilidad de incendios en ambos municipios se encuentra en el período poco lluvioso del año, entre las 13:00 y las 17:00 hora local. Las formaciones vegetales más afectadas son la caña para Puerto Padre y los matorrales secundarios para Las Tunas. Según los criterios de las variables meteorológicas se puede afirmar que existe una mayor probabilidad para días con condiciones de temperatura mayores de 27,5°C, temperaturas de punto de rocío menores de 14,5°C para Las Tunas y menores 18,5°C para Puerto Padre, con humedad relativa menor de 43 %, una dirección predominante del viento del E y del ENE y no tienen que existir altos valores



de rapidez del viento en ninguno de los dos municipios. Las precipitaciones se agrupan de forma diferente: en Las Tunas es peligroso cuando existen más de 60 días con lluvias menores de 5 mm, pero para Puerto Padre esta no es una variable tan representativa como es el acumulado de precipitaciones 15 días antes, pues para acumulados menores de 10 mm, es mayor la cantidad de área afectada. Para 20 días antes, las condiciones de vegetación y suelo de Puerto Padre permite que, aunque llueva 50 mm, exista riesgo de incendio, sin embargo, para Las Tunas menos de 10 mm de acumulado genera condiciones favorables para los incendios. Según lo obtenido en el PCA se destaca la influencia de las variables relacionadas con la humedad de los materiales combustibles, especialmente los acumulados de precipitaciones 15 días antes de cada incendio.

CONCLUSIONES

Se encontraron diferencias entre los municipios con respecto a la ocurrencia de incendios, las áreas afectadas por estos y los factores relacionados con la dispersión. Las características climáticas y el tipo de formación vegetal, son determinantes en la ocurrencia de incendios, aunque la acción del hombre incrementa las probabilidades de ocurrencia.

Las variables con mayor influencia fueron las relacionadas con la humedad de los materiales combustibles, principalmente los acumulados de precipitaciones, 15 y 20 días antes de cada incendio y la humedad relativa.

Se pudo agrupar con éxito el número de incendios y área afectada con respecto a diferentes rangos de las variables meteorológicas, logrando obtener criterios cualitativos de riesgo de incendio.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los especialistas del CITMA de la provincia de Las Tunas por su ayuda en la realización de este trabajo, especialmente a Reynol Pérez Fernández. Igualmente queremos agradecer a los especialistas del Centro del Clima perteneciente al Instituto de Meteorología de la República de Cuba por suministrarnos los datos necesarios para evaluar las variables meteorológicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAYA MORALES, J.A., 2017. Acciones para la prevención de incendios forestales en cinco rodales del Lote 7 perteneciente a la Unidad Empresarial de Base Silvícola Guisa. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* [en línea], vol. 5, no. 2, pp. 181-193. [Consulta: 7 septiembre 2020]. ISSN 2310-3469. Disponible en: <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/220>.

BARCIA, S. y FONTES LEANDRO, M., 2019. Los focos de calor y los incendios forestales en la provincia Cienfuegos, Cuba. *Revista Cubana de Meteorología* [en línea], vol. 25, pp. 265-277. [Consulta: 7 septiembre 2020]. ISSN 0864-151X. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/335664646_Los_focos_de_calor_y_los_incendios_forestales_en_la_provincia_Cienfuegos_Cuba.



CARRACEDO MARTÍN, V., DIEGO LIAÑO, C., GARCÍA CODRÓN, J.C. y RASILLA ÁLVAREZ, D.F., 2009. Clima e incendios forestales en Cantabria: evolución y tendencias recientes. *Pirineos* [en línea], vol. 164: pp. 33-48. [Consulta: 8 septiembre 2020]. ISSN 0373-2568. DOI 10.3989/pirineos.2009.v164.28. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/43245320_Clima_e_incendios_forestales_en_Cantabria_evolucion_y_tendencias_recientes.

CARRASCO RODRÍGUEZ, Y., 2016. *Índice meteorológico de peligro de incendio forestal para la provincia Pinar del Río, Cuba* [en línea]. La Habana: Editorial Universitaria. [Consulta: 8 septiembre 2020]. ISBN 978-959-16-3401-6. Disponible en: <http://eduniv.reduniv.edu.cu/index.php?page=13&id=157&db=1>.

CARRILLO GARCÍA, L., RODRÍGUEZ TREJO, D.A., TCHIKOUÉ, H., MONTERROSO RIVAS, A.I. y SANTILLAN PÉREZ, J., 2012. Análisis espacial de peligro de incendios forestales en Puebla, México. *Interciencia* [en línea], vol. 37, no. 9, pp. 678-683. [Consulta: 8 septiembre 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/257922106_ANALISIS_ESPACIAL_DE_PELIGRO_DE_INCENDIOS_FORESTALES_EN_PUEBLA_MexICO.

CASTILLO, M., PEDERNEIRA, P. y PEÑA, E., 2003. Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista Ambiente y Desarrollo* [en línea], vol. XIX, no. 3-4, pp. 44-53. Disponible en: <https://www.google.com/cu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiSpNucztnrAhWtpFkKHcLuD5wQFjAAegQIBRAB&url=http%3A%2F%2Fwww.keneamazon.net%2FDocuments%2FPublications%2FVirtualLibrary%2FGRFFS%2F18.pdf&usq=AOvVaw2XX7ykSQJr1FA430aERfjB>.

DOERR, S.H. y SANTÍN, C., 2016. Global trends in wildfire and its impacts: perceptions versus realities in a changing world. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* [en línea], vol. 371, no. 1696, pp. 2015-0345. [Consulta: 8 septiembre 2020]. DOI 10.1098/rstb.2015.0345. Disponible en: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2015.0345>.

DOMÍNGUEZ HURTADO, I.M., MOYA ÁLVAREZ, A.S. y ESTRADA MORENO, A., 2008. Vigilancia del riesgo de ocurrencia de incendios forestales mediante estaciones meteorológicas de superficie. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente* [en línea], vol. 14, no. 2, pp. 119-128. [Consulta: 8 septiembre 2020]. ISSN 2007-4018. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-40182008000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

GONZÁLEZ, M.E., LARA, A., URRUTIA, R. y BOSNICH, J., 2011. Cambio climático y su impacto potencial en la ocurrencia de incendios forestales en la zona centro-sur de Chile (33° - 42° S). *Bosque (Valdivia)* [en línea], vol. 32, no. 3, pp. 215-219. [Consulta: 8 septiembre 2020]. ISSN 0717-9200. DOI 10.4067/S0717-92002011000300002. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0717-92002011000300002&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, R., RAMOS RODRÍGUEZ, M.P., DUANY RANGEL, A., VIANA SOARES, R., BATISTA, A.C. y FRANÇA TETTO, A., 2015. Incendios forestales y grado básico de peligro en la empresa forestal Macurije, Cuba - DOI:10.5039/agraria.v8i2a2531. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)* [en línea], vol. 8, no. 2, pp. 279-286. [Consulta: 8 septiembre 2020]. ISSN 1981-



0997. Disponible en: http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=agraria_v8i2a2531.

INSTITUTO DE GEOGRAFÍA TROPICAL, 2015. *Incidencia del cambio climático en áreas vulnerables a la desertificación de las tierras en Cuba* [en línea]. 2015. S.l.: Instituto de Geografía Tropical. [Consulta: 8 septiembre 2020]. Disponible en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:TdFohFtetnwJ:repositorio.geotech.cu/xmlui/handle/1234/1874+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=cu>.

MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE (CITMA), 2010. *Estrategia ambiental nacional* [en línea]. 2010. S.l.: CITMA. [Consulta: 8 septiembre 2020]. Disponible en: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Ts9mNXWQbIYJ:euroclimaplus.org/intranet/_documentos/repositorio/Estrategia%2520Ambiental%25202011-2015_Cuba.pdf+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=cu.

MONDRAGÓN LEONEL, M.F., MELO ARDILA, A. y GELVEZ PINZÓN, K., 2013. *Causas de los incendios forestales en la región Caribe, Andina y Orinoquía de Colombia. Anteproyecto PPD153/11 Rev.1 (F). Prevención de incendios forestales*. Bogotá, Colombia: Organización Internacional de Maderas Tropicales.

OFICINA NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMACIÓN, 2019. *Anuario Estadístico de Las Tunas 2018. Edición 2019* [en línea]. Las Tunas: Oficina Nacional de Estadística e Información. Disponible en: <http://www.onei.gob.cu/node/14576>.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO), 2016. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2016* [en línea]. Roma: FAO. [Consulta: 8 septiembre 2020]. ISBN 978-92-5-309374-8. Disponible en: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:GmJjQP_hvjAJ:www.fao.org/publications/sofa/2016/es/+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=cu.

PLANOS GUTIÉRREZ, E., RIVERO VEGA, R. y GUEVARA VELAZCO, V., 2013. *Impacto del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba* [en línea]. La Habana: CITMA. [Consulta: 8 septiembre 2020]. ISBN 978-959-300-039-0.

RAMOS RODRÍGUEZ, M.P. y CABRERA REINA, J.M., 2011. Los incendios forestales en Pinar del Río, Cuba, del 2000 al 2009. [en línea]. 5to Congreso Forestal de Cuba. Cuba. [Consulta: 8 septiembre 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/313361168_LOS_INCENDIOS_FORESTALES_EN_PINAR_DEL_RIO_CUBA_DEL_2000_AL_2009.

RAMOS RODRÍGUEZ, M.P. y VIANA SOARES, R., 2004. Análisis comparativo entre los incendios forestales en Monte Alegre, Brasil y Pinar del Río, Cuba. *Floresta* [en línea], vol. 34, no. 2, pp. 101-107. [Consulta: 8 septiembre 2020]. DOI 10.5380/rev.v34i2.2379. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/269735824_ANALISIS_COMPARATIVO_ENTRE_LOS_INCENDIOS_FORESTALES_EN_MONTE_ALEGRE_BRASIL_Y_PINAR_DEL_RIO_CUBA.

TORRES ROJO, J.M., MAGAÑA TORRES, O.S. y RAMÍREZ FUENTES, G.A., 2007. Índice de peligro de incendios forestales de largo plazo. *Agrociencia* [en línea], vol. 41, no. 6, pp. 663-674. [Consulta: 9 septiembre 2020]. ISSN 1405-3195. Disponible en:



http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-31952007000600663&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

VÉLEZ MUÑOZ, R., 1995. El peligro de incendios forestales derivado de la sequía. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* [en línea], no. 2, pp. 99-109. [Consulta: 9 septiembre 2020]. ISSN 1575-2410, 2386-8368. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4247532>.

SOLANO, O., VÁZQUEZ, R., MENÉNDEZ, J.A., PÉREZ, E. Y FIGUEREDO, M., 2004. Sistema de vigilancia y alerta de condiciones agrometeorológicas de peligro potencial de incendios de vegetación. *Revista Cubana de Meteorología*. Vol. 11 No. 2. pp 63-73.

OHARRIZ, S., Y DAVIDENKO, E., 1982. *Classification of the Cuban forests according to the grade of natural resistance to forest fires. Hazard danger classes of forest fires*. Boletín Técnico Forestal (Cuba).

Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Copyright (c) 2020 María de los Ángeles Zamora Fernández, Julia Azanza Ricardo

