



2022
Lleida
27·1
junio · juny
julio · juliol
Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza



Seguimiento del índice NBR como indicador de la defoliación en el País Vasco

CANTERO AMIANO, A.¹

¹ Fundación HAZI Fundazioa. Granja Modelo s/n. 01192 Arkaute (Álava). acantero@hazi.eus

Resumen

El grave ataque de hongos defoliadores de verano de 2018 en los pinares de radiata del País Vasco ha obligado a establecer nuevos sistemas de monitoreo de la enfermedad. Proyectos como LIFE HEALTHY FOREST (2015-2019) o Innobandas (2019-2020) han permitido a HAZI desarrollar sistemas de visualización de imágenes satelitales y de cálculo de diversos índices basados en dichas imágenes. Entre esos índices de vegetación, ha destacado el índice NBR: siguiendo una pauta de ciclos anuales, permite cuantificar la defoliación en los pinares.

A partir de las imágenes Sentinel 2 recopiladas desde 2016, se parte de un gran volumen de datos históricos en los pinares del País Vasco. Los datos de estaciones meteorológicas automatizadas de Euskalmet (humedad ambiental, pluviometría y temperatura) permiten ir relacionando la influencia de estos factores climáticos en la emergencia de las esporas de estos hongos defoliadores y en la magnitud de la defoliación causada.

El objetivo ha sido crear un sistema de alerta temprana que permita, en base a la experiencia recogida en estos últimos años y a la climatología de los meses anteriores, aconsejar al sector forestal sobre el lugar y el momento más propicio para realizar tratamientos que frenen el avance de estas enfermedades en el futuro.

Palabras clave

Sentinel 2, banda marrón, sanidad forestal, sistemas de apoyo a la toma de decisiones (modelización).

1. Introducción

El inesperado episodio de defoliación por banda marrón registrado en el verano de 2018 en los pinares vascos obligó a HAZI a realizar un cálculo rápido de la superficie afectada mediante imágenes Sentinel2 de agosto 2018, cuando se produjo un súbito enrojecimiento de gran parte de los citados pinares. Comprobada en campo la correlación entre el estado sanitario del pinar y diversos índices de vegetación, se optó finalmente por emplear el valor del índice NBR (*Normalized Burn Ratio*), índice normalizado de zonas quemadas de severidad de incendios. Este índice, generalmente utilizado para el caso específico del análisis de incendios forestales y de la recuperación de las zonas quemadas, está relacionado con la actividad fotosintética y emplea las bandas del infrarrojo cercano (NIR, banda 8 de Sentinel2) y del infrarrojo cercano de onda corta (SWIR, bandas 10-11-12).

Ya en el proyecto LIFE HEALTHY FOREST (2015-2019) se había comprobado la capacidad de la teledetección y, en concreto, de índices como NDVI o NBR para reflejar la defoliación de los pinares utilizando los valores de esos índices en los pinares mediante una única imagen, así como de permitir estudiar su evolución a lo largo del año comparando varias imágenes. Las imágenes gratuitas procedentes de los satélites LandSat8 y Sentinel2 proporcionan periódicamente los valores de ambos índices NBR y NDVI con una resolución de 10-20 m.

Posteriormente al proyecto LIFE HEALTHY FOREST, el proyecto de cooperación INNOBANDAS- "Proyecto innovador de Sanidad sobre Bandas de acículas de pinos en Cantabria, Navarra y País

Vasco“ (2018/2020) se encargó de determinar los tratamientos más eficientes y sostenibles para controlar la enfermedad de las bandas de las acículas de los pinos, mediante la evaluación de métodos innovadores utilizados en otros países, así como los desarrollados por centros de investigación de las regiones participantes.

La parte correspondiente a HAZI en ambos proyectos se dedicó a la evaluación de la defoliación y medición de los resultados mediante teledetección a lo largo de los últimos años. Igualmente, HAZI viene estudiando la influencia de diversos parámetros climáticos en la afección de los pinares por las bandas, empleando los datos proporcionados por la extensa red de estaciones meteorológicas automatizadas de Euskalmet por todo el País Vasco, principalmente humedad ambiental, pluviometría y temperatura.

Distintos informes y mapas de afección han sido realizados por HAZI para informar a la Administración y al sector forestal vasco del avance o retroceso de la enfermedad, así como de la efectividad de diversos tratamientos efectuados. El primer mapa de afección de agosto 2018 fue realizado en el marco del proyecto LIFE HEALTHY FOREST y, posteriormente, los mapas de evaluación de la defoliación han sido realizados por encargo de la Viceconsejería de Agricultura, Pesca y Política Alimentaria del Gobierno Vasco.

2. Objetivos

Establecer, mediante el seguimiento satelital del índice NBR y de la climatología, un sistema de alerta previa y de cuantificación de los pinares vascos afectados por la enfermedad de las bandas.

3. Metodología

Gracias a las herramientas técnicas actualmente disponibles en materia de teledetección, la metodología aquí explicada es replicable en cualquier otro territorio o con otros agentes de daños bióticos o abióticos.

Cuando en el mes de agosto de 2018 se detectó un considerable enrojecimiento de gran parte de los pinares de radiata de Gipuzkoa y Bizkaia, se propuso a HAZI acometer la estimación de la superficie afectada. No había antecedentes históricos de una afección tan rápida y tan extendida, aunque la primera mitad del año 2018 había sido especialmente lluviosa.

La primera tarea fue visitar a principios de septiembre el centro de Gipuzkoa, una de las comarcas más afectadas, para señalar pinares más o menos enrojecidos. La comparación de los valores del NBR que suministraban las imágenes satelitales de Sentinel2 del mes de agosto en esas “zonas de entrenamiento” señaladas en campo permitía ver que las zonas más afectadas presentaban valores de NBR menores que los pinares no enrojecidos o más sanos.

El índice NBR está directamente relacionado con la severidad de los daños en la vegetación o en la pérdida de humedad en la cubierta arbórea superior, la visualizada por los satélites. Según la metodología aplicada, el índice NBR puede adoptar valores entre -1 y 1 o entre 0 y 20.000, rango de valores que relaciona la energía reflejada por la vegetación respecto a la energía solar incidente, empleando las bandas NIR (infrarrojo cercano, banda 8 de Sentinel2) y SWIR (infrarrojo de onda corta, bandas 10-11-12).

El visualizador gratuito de las imágenes de la constelación Sentinel (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>) permite calcular en el momento los valores del NBR de cualquier punto y fecha disponible, así como descargar las imágenes y sus valores asociados, siempre que la

nubosidad lo posibilite. En el caso del País Vasco y sus alrededores, también se disponía de un visor propio llamado *HAZISAT Image Browser*, gratuito y creado por HAZI para comparar datos e imágenes satelitales de las constelaciones Landsat y Sentinel: <https://geo.hazi.eus/rs/comparador/>. Por último, en el País Vasco también se dispone del visor GeoEuskadi del Gobierno Vasco (<https://www.geo.euskadi.eus/>), donde se pueden visualizar y descargar las distintas ortofotos anuales, las imágenes satelitales libres de nubes y los mapas del índice NBR correspondientes a esas mismas imágenes.

El citado análisis de septiembre de 2018 dio lugar a unas primeras conclusiones:

- La variación de los valores NBR entre pinares sanos y afectados estaba directamente relacionada con el grado deafección: a más enrojecimiento, menores valores de NBR en agosto de 2018 y mayor descenso del NBR respecto a los meses anteriores al ataque.
- Las comarcas con mayores superficies de pinares afectados coincidía con las de mayor pluviometría en los meses anteriores y las de humedad ambiental más elevada en esos meses. Además de esas diferencias comarcales, otros factores locales que estaban relacionados con mayores grados deafección eran la juventud de los pinares, su altitud y su exposición, ya que los menores valores de NBR se registraban en pinares jóvenes (repoblado de varios años de edad o monte bravo), en solana y a baja altitud.
- Por último, conforme se analizaba la dinámica anual del NBR en pinares sanos, se fue comprobando su típica evolución temporal en forma de ciclos anuales, con un mínimo en el comienzo de la primavera (febrero-marzo), una tendencia ascendente posterior y un máximo alcanzado hacia el mes de diciembre. Las condiciones meteorológicas de cada año, la edad y densidad del pinar y el grado deafección de la enfermedad eran variables a tener en cuenta, ya que condicionaban esa evolución temporal del NBR en un año concreto y podían variar los valores mínimos y máximos que podían alcanzar (Figura 2).

Por tanto, se creó un primer mapa deafección correspondiente al mes de agosto de 2018 (Figura 1). Este mapa permitió publicar las primeras estimaciones de superficies y existencias maderables de pinar afectado, ya que se contaba con el mapa forestal de 2016 del País Vasco, actualizado posteriormente a 2018. Las primeras estimaciones apuntaban a cerca de un 40% de la superficie de pinar afectado según diversos grados de defoliación, sin tener en cuenta las zonas recientemente repobladas o taladas. Empleando valores umbrales del NBR correspondientes a los distintos grados deafección analizados en las primeras zonas de entrenamiento del trabajo de campo, el citado mapa distinguía entre:

- Pinares denominados “enfermos” o “defoliados”: Tipos 1 (los de menores valores de NBR por ser los más afectados, con defoliación superior al 70%), 2 y 3 (los menos afectados por la defoliación)
- Pinares denominados “sanos”: Tipos 4 (muy poco afectados) y 5 (los que no presentaban enrojecimiento ni defoliación, correspondiendo a mayores valores de NBR)

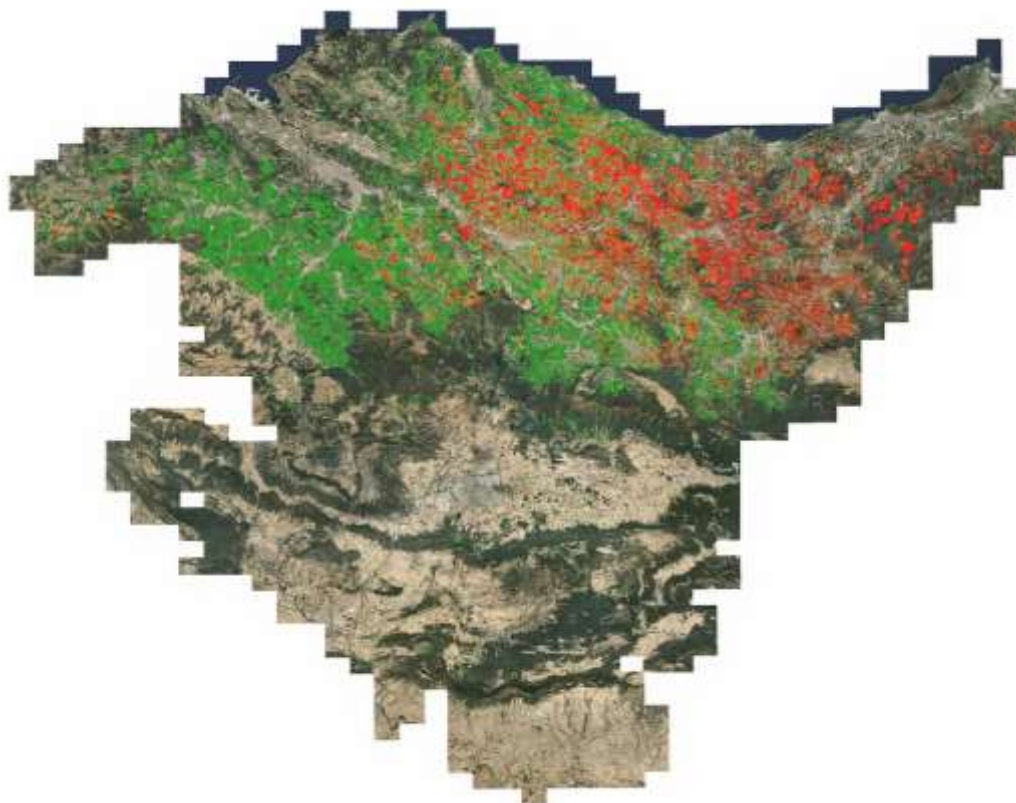


Figura 1. Mapa de afecciones de agosto 2018, distinguiendo entre las zonas rojas (tipo 1 o más afectadas) y verdes (tipo 5 o pinares sanos con mayores valores de NBR).

Una vez establecida la metodología de cálculo, la operación se ha ido repitiendo periódicamente entre 2019 y 2021, teniendo en cuenta que:

- Una parte considerable de los pinares, sanos o afectados, ya han sido cortados desde 2018, por lo que hay que tener en cuenta que esas superficies taladas no entran en los nuevos cálculos
- Los citados ciclos anuales del valor del NBR en pinares sanos a lo largo del año obligan a modificar los valores umbrales según el mes del año en que se realicen nuevos mapas de afección.
- Desde ese primer mapa de agosto de 2018, se han seleccionado un conjunto amplio de nuevas zonas de entrenamiento, repartidas por todo el País Vasco y representativas de las 5 clases de afección inicialmente establecidas.

Entre 2019 y 2021, se han ido realizando por parte de HAZI varias estimaciones de la afección de los pinares vascos, procurando elegir los meses en los que se dan mayores diferencias del NBR medio entre pinares sanos o afectados. Para ello, se partió en 2019 de un conjunto de 606 parcelas o zonas de entrenamiento y se han ido eliminando las ubicadas en pinares cortados en los últimos años. Quedan actualmente delimitadas 511 parcelas o zonas de entrenamiento de *P. radiata*, con una superficie media de 1,34 ha y repartidas de forma homogénea por la totalidad de superficie de la CAPV, sin tener en cuenta las zonas recién repobladas o taladas.

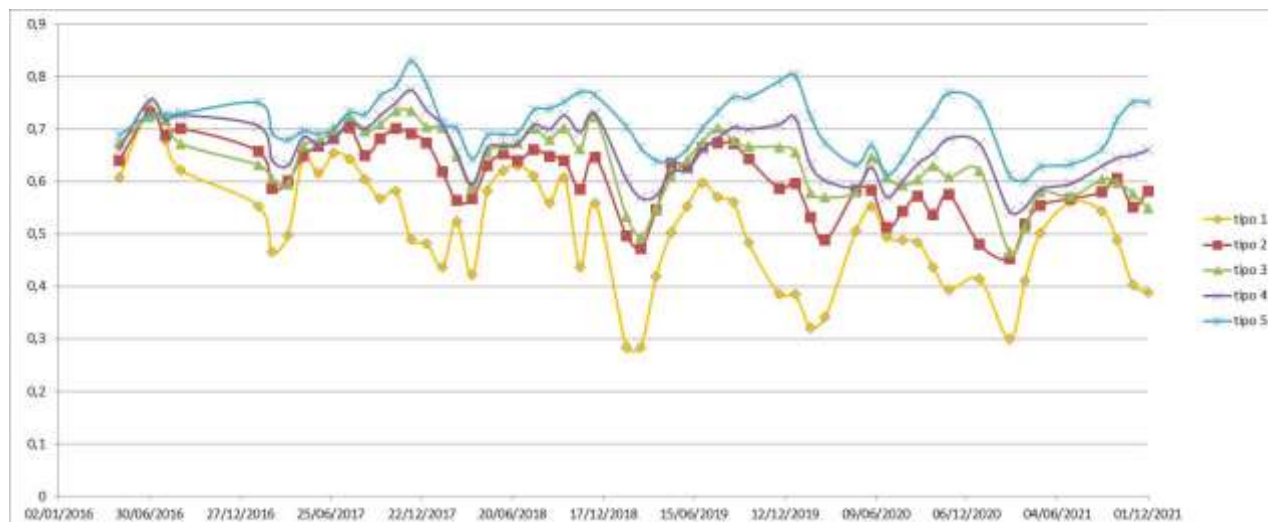


Figura 2. Variación mensual del NBR medio en las zonas de entrenamiento a lo largo de los últimos años según los datos disponibles de Sentinel2, siguiendo la clasificación en 5 tipos en cuanto a la defoliación estimada.

Tabla 1. Características de las zonas de entrenamiento evaluadas.

Clase de afección	Número de parcelas	Superficie (ha)	NBR medio Agosto 2018	NBR medio Octubre 2020	NBR medio Octubre 2021
1	183	159,66	0,611	0,437	0,435
2	12	1,58	0,662	0,537	0,566
3	7	0,94	0,701	0,631	0,600
4	68	9,91	0,709	0,655	0,644
5	241	514,81	0,737	0,729	0,752
Total	511	686,90	0,689	0,612	0,646

4. Resultados

Desde el mencionado ataque de agosto 2018, se han realizado varios mapas de afección en los pinares vascos, basados en el valor de NBR aportado por la imagen Sentinel2 de distintas fechas disponibles. Cada mapa ha ido acompañado de un informe de resultados, para facilitar la interpretación de esos resultados. El primer mapa se encuentra disponible para su consulta en el visor del proyecto LIFE HEALTHY FOREST y fue validado mediante las observaciones de campo de los Servicios Forestales de las Diputaciones Forales.

El empleo del índice NBR ha demostrado su utilidad, no solo para comprobar la evolución de los pinares afectados, sino también para comprobar la efectividad de diversos productos y tratamientos fitosanitarios aplicados de forma terrestre o aérea contra la enfermedad de las bandas. Aunque el seguimiento del índice NDVI también proporciona resultados sobre la afección de la enfermedad, es superado por el NBR en cuanto a la mayor amplitud de sus valores en pinares sanos y afectados a lo largo del año y al patrón cíclico anual mejor definido para los pinares sanos de radiata, factores que facilitan el empleo del NBR.

5. Discusión

El método aquí descrito presenta grandes ventajas: gratuidad, periodicidad (el satélite Sentinel2 sobrevuela el País Vasco cada 4-6 días, dependiendo de la zona), rapidez (las imágenes

están disponibles para su consulta el mismo día del paso del satélite Sentinel2), exactitud (píxeles de 10 m de lado que se repiten en las distintas imágenes) y efectividad para su empleo en grandes superficies. Como desventajas, podría hablarse de la escasez de imágenes Sentinel2 libres de nubes o de niebla en el País Vasco o de la necesidad de disponer de un mapa forestal permanentemente actualizado para poder delimitar bien los pinares adultos a analizar.

Al tratarse de una metodología novedosa, se ha ido aprendiendo sobre la marcha, según se disponía de más años de datos satelitales y, así, se ha visto que los ciclos anuales de los valores de NBR en los pinares sanos dependen de la climatología de cada año. Es decir, los valores correspondientes al NBR del mismo mes en años consecutivos pueden variar según las condiciones climatológicas de cada año, pues las lluvias o las temperaturas adelantan o retrasan la época de brotación o de caída de las acículas de los pinos. La edad de los pinares, la altitud o la exposición de la ladera también pueden suponer pequeñas variaciones del NBR medio previsto, lo que puede dificultar la estimación de la defoliación de un pinar.

También hay que tener en cuenta que otros agentes de daños bióticos o abióticos pueden provocar enrojecimiento, defoliación o mortalidad de los pinos, causando descensos de la actividad vegetativa y del NBR, por lo que los resultados de la teledetección deben ser contrastados en campo. Las estaciones de seguimiento de los daños forestales, con sus posteriores análisis de laboratorio, así como las redes de cuantificación de esporas de hongos defoliadores, deben ser complementos para interpretar correctamente el seguimiento de las enfermedades forestales.

Pero, sin duda, las citadas condiciones climatológicas están resultando ser clave para cuantificar la incidencia de la enfermedad de las bandas en un año concreto. Las zonas de clima atlántico con humedad ambiental más alta y continua durante el periodo vegetativo están sujetas a un mayor riesgo de ataque de la enfermedad de las bandas, como la bibliografía señala para el género *Dothistroma* en pinares (Gadgil, 1974; Murray & Batko, 1962; Marks & Hepworth, 1986). Por tanto, se debe seguir trabajando en la integración entre los cálculos periódicos de afección de la enfermedad y el seguimiento continuo de la humedad ambiental según la extensa red de estaciones meteorológicas de la red Euskalmet o según otros tipos de sensores de humedad disponibles.

Hasta la fecha, no se ha realizado ninguna estimación numérica del grado de acierto de este método basado en el índice NBR. Sin embargo, hay varias razones que inducen a pensar que, hasta la fecha, el método aporta buenos resultados. Por un lado, los guardas forestales de las Diputaciones Forales se basan en los mapas elaborados por HAZI desde 2018 para comprobar *in situ* la afección de los pinares de cada zona y, hasta la fecha, no se han registrado observaciones negativas por su parte. Por otro lado, la nueva delimitación de pinares defoliados que está desarrollando HAZI basándose en las imágenes rádar de Sentinel1 aporta resultados prácticamente coincidentes con los basados en el NBR y Sentinel2 para las mismas fechas, por lo que se abre una nueva forma periódica de obtención de resultados basados en la teledetección e independiente de la climatología.

6. Conclusiones

El seguimiento periódico y extensivo del estado vegetativo de las masas forestales es una magnitud de gran importancia forestal, aunque poco estudiada hasta la fecha por el frecuente empleo de parcelas de muestreo estadístico, por su dificultad y carestía en la toma de datos de campo o por la complejidad del manejo de datos satelitales. Sin embargo, los avances conseguidos en los últimos años en cuanto al cálculo de índices satelitales, principalmente gracias a Internet y a las constelaciones LandSat8 y Sentinel2, han puesto a disposición de los gestores forestales una herramienta gratuita de gran poder de cálculo.

Como consecuencia de la experiencia adquirida en teledetección forestal, en el País Vasco se dispone de una metodología de seguimiento de la enfermedad de las bandas de los pinos mediante teledetección, que ha sido contrastada en campo y ha mostrado su eficacia en los últimos años.

7. Agradecimientos

Agradezco a la guardería forestal y al personal técnico de NEIKER, BASALAN y Diputaciones Forales su buena disposición y sus atinadas observaciones relacionadas con la sanidad forestal.

8. Bibliografía

BASKEGUR, 2020. Proyecto INNOBANDAS. Publicación de la jornada de conclusiones. Zamudio. 47 pp. Disponible en <https://baskegur.eus/wp-content/uploads/2020/05/Innobandas.pdf>

GADGIL, P.D., 1974. Effect of temperature and leaf wetness period on infection of *Pinus radiata* by *Dothistroma pini*. New Zealand Journal of Forestry Science, 4, 495-501.

HAZI FUNDAZIOA, 2018. Proyecto Interreg Sudoe PLURIFOR. Plan de gestión de plagas y enfermedades emergentes en relación a los bosques – País Vasco. Vitoria/Gasteiz. 41 pp. Disponible en https://plurifor.efi.int/wp-content/uploads/WP2/plans/Emerging-pests-and-diseases-risk-plan_ES.pdf

HAZI FUNDAZIOA, 2019. Informe final del proyecto LIFE HEALTHY FOREST. Vitoria/Gasteiz. 296 pp. Disponible en http://www.lifehealthyforest.com/wp-content/uploads/2019/10/LIFE_HEALTHY_FOREST_web.pdf

MARKS, G.C.; HEPWORTH, G., 1986. Effect of certain features of a stand of *Pinus radiata* on *Dothistroma septospora* needle blight. Australian Forest Research, 16, 223-229.

MURRAY, J.S.; BATKO, S., 1962. *Dothistroma pini* Hulbary: a new disease on pine in Britain. Forestry, 3: 57–65

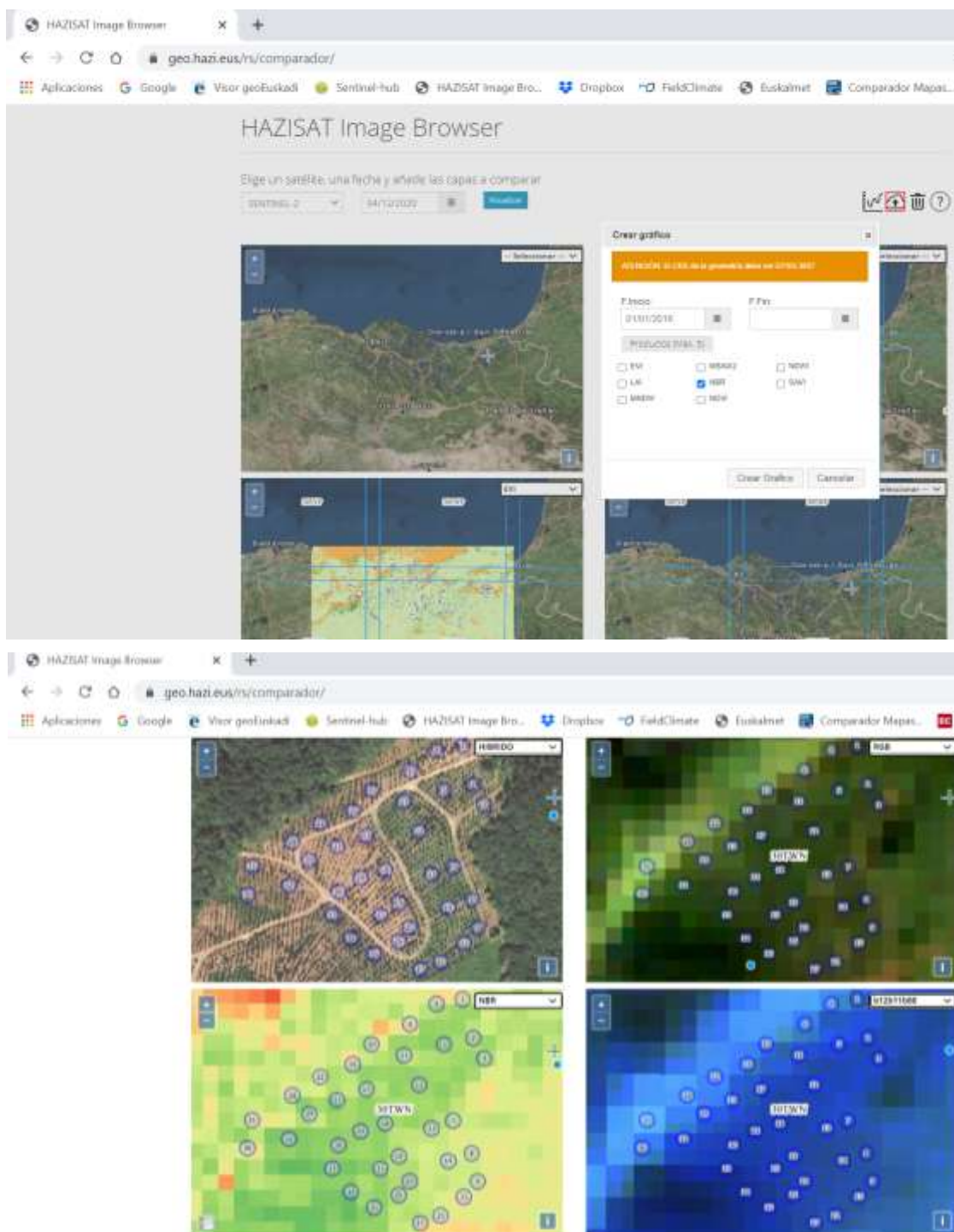


Figura 3. Aspecto del visor HAZISAT Image Browser, creado por HAZI para analizar la evolución temporal de índices de vegetación procedentes de imágenes satelitales (arriba) o de otras fuentes de información de mayor resolución espacial como drones (abajo).

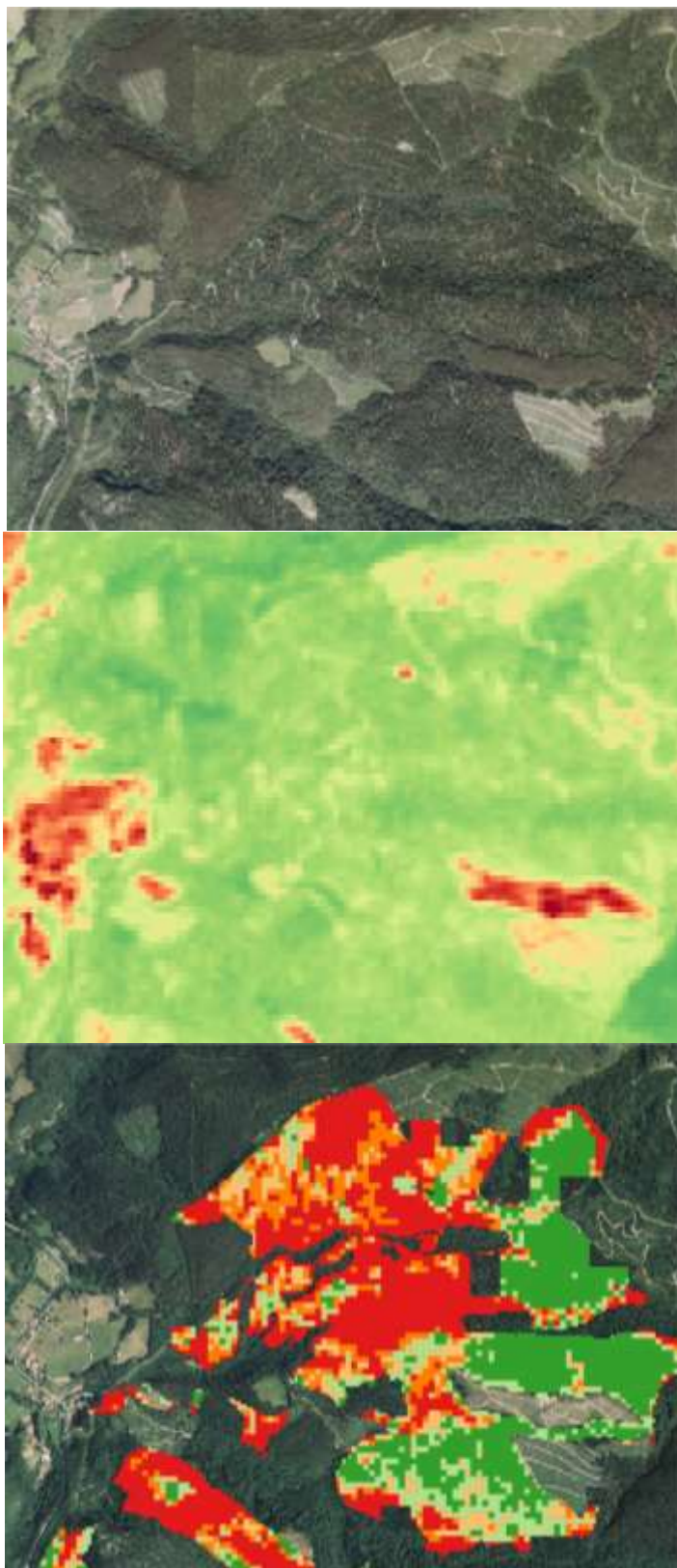


Figura 4. Ejemplo de pinares con distintos grados de afección, según la ortofoto de verano de 2018 (arriba), según los valores NBR de agosto 2018 (medio) y según el correspondiente mapa de afección de 2018 (abajo), mostrando los pinares con mayor grado de defoliación en rojo y los de menor defoliación estimada en verde.

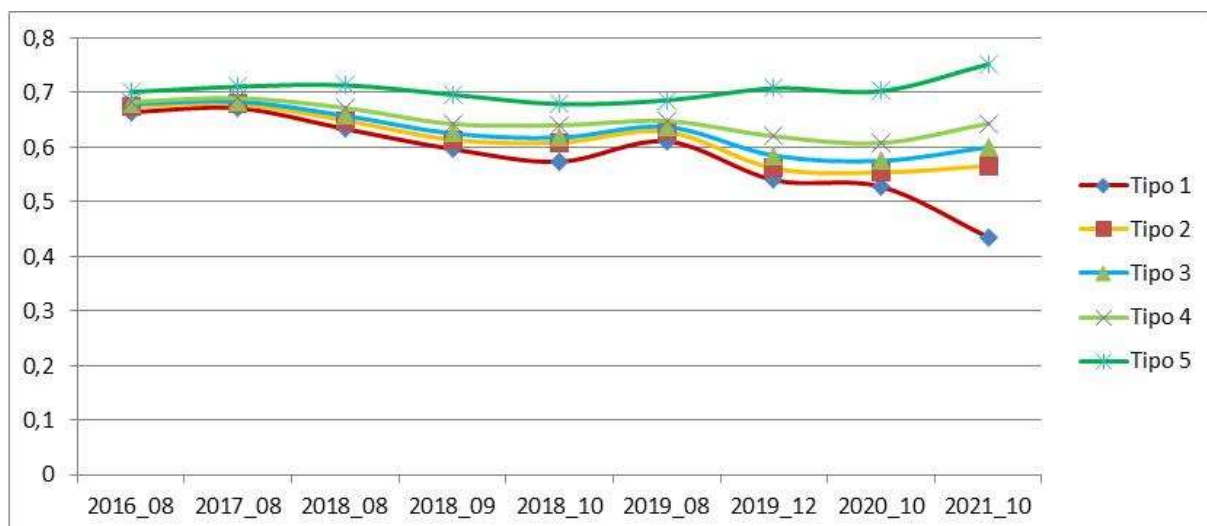


Figura 5. Variación mensual y anual del NBR medio en los pinares adultos de radiata a lo largo de los últimos años, siguiendo la clasificación en 5 tipos en cuanto a la defoliación estimada.

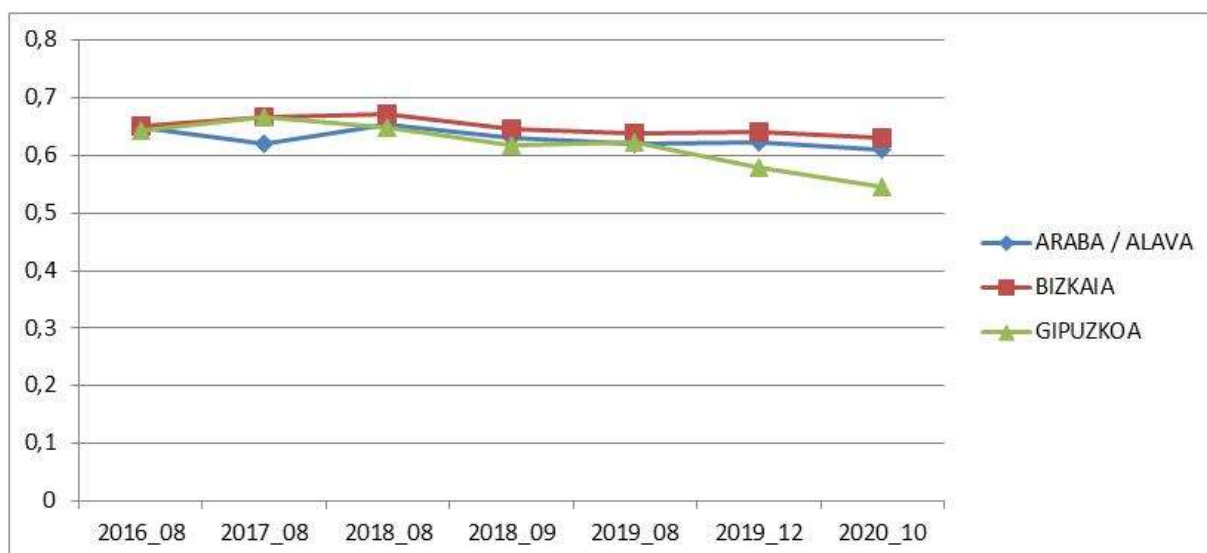


Figura 6. Variación mensual y anual del NBR medio en los pinares adultos de laricio a lo largo de los últimos años. El pino laricio también está siendo progresivamente afectado en los últimos años por la enfermedad de las bandas, principalmente en Gipuzkoa.