

Distribución de *Graellsia isabellae* en Navarra y afección del ALAN sobre la población

15 de Mayo de 2022



CARLOS ARMENDARIZ¹, IKER PARDO*, SUSANA CÁRCAMO¹, ANIKA MEYER¹ Y KIKE VERGARA¹

¹GESTIÓN AMBIENTAL DE NAVARRA (GAN-NIK)

*AUTOR DE LA MEMORIA

Interreg
POCTEFA



Gobierno
de Navarra



Nafarroako
Gobernua

Nafarroako
Ingurumen
Kudeaketa, S.A.



Gestión
Ambiental de
Navarra, S.A.

Fotografía de la portada modificada
a partir del original de Didier Descouens
distribuida bajo licencia CC BY-SA 4.

Índice

1	Antecedentes y justificación	1
2	Enfoque del trabajo y objetivos	3
3	Corología, ecología y estatus de conservación de la especie	4
4	Material y métodos	5
4.1	Área potencial de la especie	5
4.2	Recopilación de citas de la especie	5
4.3	Diseño y metodología de muestreo 2020	9
4.4	Identificación de masas de pinares con presencia de <i>Graellsia isabellae</i> constatada y selección de núcleos de población con afección ALAN sobre la especie	11
5	Resultados y discusión	13
5.1	Distribución de <i>Graellsia isabellae</i>	13
5.2	Núcleos de población con afección sobre <i>Graellsia isabellae</i>	16
6	Agradecimientos	26
7	Referencias	27

1 | Antecedentes y justificación

El siglo pasado fue testigo de una expansión generalizada de la red eléctrica y un incremento de la iluminación artificial nocturna (conocida como **ALAN**, acrónimo de *Artificial Light At Night*) sin precedentes (Cinzano *et al.*, 2001). Como resultado el paisaje nocturno ha sido modificado drásticamente, no sólo en las áreas más pobladas, sino en las áreas naturales y semi-naturales protegidas (Gaston *et al.*, 2015; Guetté *et al.*, 2018). Esto se debe a la expansión e iluminación directa de núcleos de población, carreteras y otras infraestructuras industriales, así como al resplandor del cielo (*skyglow*) causado por la iluminación difusa emitida por estas mismas fuentes hacia la atmósfera, el cual puede llegar a extenderse hasta cientos de kilómetros más allá del punto original (Kyba y Hölker, 2013).

Desde que los primeros estudios pusieran el foco sobre el posible impacto ecológico del ALAN (e.g. Frank, 1988), se han ido acumulando numerosas y muy diversas evidencias sobre el riesgo que suponen los niveles actuales de ALAN para los organismos, la salud humana y el patrimonio cultural (el cielo estrellado). En la actualidad, existe un amplio consenso de que el ALAN es una amenaza emergente para el medio ambiente y la biodiversidad, y su estudio comienza a ser considerado como prioritario en el contexto de cambio global (Davies y Smyth, 2018).

Uno de los grupos más sensibles a los efectos del ALAN son los insectos voladores nocturnos. Muchos de estos insectos son fuertemente atraídos por la luz artificial (principalmente, UV, pero también las emisiones en la parte azul y verde del espectro) (van Langevelde *et al.*, 2011; Donners *et al.*, 2018; van Grunsven *et al.*, 2020). Como consecuencia, los individuos quedan incapacitados temporalmente para llevar a cabo funciones básicas. Entre otros, se han descrito efectos sobre el vuelo, la orientación, los desplazamientos a gran escala, la dispersión, la puesta de huevos, el emparejamiento, la alimentación, el camuflaje, los ritmos circadianos y los procesos de desarrollo ligados al fotoperiodo. En el caso de los lepidópteros nocturnos, especies que pueden llegar a jugar un papel clave en la polinización de cultivos económicamente importantes e incluso de plantas con interés de conservación (Macgregor y Scott-Brown, 2020), el ALAN puede aumentar de manera significativa la exposición y vulnerabilidad de los individuos frente a predadores (principalmente, murciélagos). Estudios experimentales han demostrado que el ALAN puede llegar incluso a generar un impacto negativo sobre las poblaciones a largo plazo (van Grunsven *et al.*, 2020).

Para este y otros grupos de insectos con fototropismo positivo el incremento del ALAN conlleva cuando menos una pérdida de calidad del hábitat. Sin embargo, no todos los tipos de iluminación son igualmente nocivos. Las lámparas de vapor de mercurio, ya prohibidas aunque todavía presentes en algunos pueblos, ejercen una mayor atracción que las lámparas de vapor de sodio sobre los insectos. La tendencia actual de implantación de luminarias con tecnología LED se presupone favorable para la fauna, por ser escasa en UV. Sin embargo, no hay evidencia científica sólida que avale esta expectación y es que las emisiones del LED blanco (el tipo de LED más frecuentemente usado para el alumbrado) siguen siendo ricas en emisiones del azul y verde, y por tanto, potencialmente nocivas para la biodiversidad (e.g. Davies et al., 2013; Donners et al., 2018; van Grunsven et al., 2020). En este contexto, la búsqueda de tipos de LED alternativos que permitan mitigar el uso creciente del ALAN resulta prioritaria.

Entre 2018-2020 [Armendariz et al. \(2020\)](#) llevaron a cabo un estudio para evaluar *in situ* el nivel atracción que los diferentes tipos de lámparas existentes en los núcleos de población del Pirineo occidental ejercen sobre los lepidópteros y coleópteros nocturnos. En este estudio, se evaluó por primera vez un novedoso tipo de LED con luz de color amarillo, denominado PC-Ámbar, cuyo espectro de emisión por debajo de los 500 nm es prácticamente nulo. Los resultados obtenidos en este estudio señalan que los LED blancos (tanto fríos como cálidos) ejercen una atracción sobre los lepidópteros variable y contexto dependiente, que en muchos casos no es necesariamente inferior a la observada en luminarias de vapor de mercurio o halogenuros metálicos de cerámica. Por el contrario, el estudio avala el uso de LED tipo PC-Ámbar como medida mitigadora del impacto del ALAN, ya que el nivel de atracción ejercido es significativamente inferior al observado en LED blancos y el resto de tipos de luz convencionales ([Armendariz et al., 2020](#)).

El estudio de [Armendariz et al. \(2020\)](#) también demostró que la emblemática *G. isabellae* es una buena indicadora del efecto del ALAN sobre la comunidad de lepidópteros, ya que su respuesta frente a los diferentes tipos de luz es representativa de la observada en el conjunto de especies. El uso de *G. isabellae* como especie paraguas ha sido sugerido con anterioridad, ([Monasterio y Escobés, 2017](#)), no obstante, los resultados observados en este trabajo constituyen la primera evidencia empírica que avala el uso de la especie en el contexto de la contaminación lumínica, una de las principales fuentes de amenaza actual para los lepidópteros nocturnos.

2 | Enfoque del trabajo y objetivos

El presente trabajo está enmarcado dentro del proyecto *Pyrenees La Nuit* EFA233/16, cuyo objetivo principal es comprender el efecto de la alteración de la oscuridad nocturna en el medio ambiente para promover estrategias que permitan mitigar el impacto sobre la calidad del medio nocturno, los ecosistemas y la biodiversidad asociada. Tomando como punto de partida los resultados obtenidos por [Armendariz et al. \(2020\)](#), el presente trabajo persigue realizar una identificación de los puntos de ALAN presentes a lo largo de la distribución de *G. isabellae*, que afectan a la población, y por ende, el conjunto de la comunidad de lepidópteros nocturnos.

Para ello, en primer lugar, se recopilaron las citas de históricas de la especie para evaluar el grado de conocimiento de la distribución de la especie. Tras constatar la existencia de lagunas en el conocimiento y evaluar el hábitat potencial de la especie se diseñó y llevó a cabo un muestreo exhaustivo para completar la distribución de la especie en Navarra. Posteriormente, se identificaron los núcleos de población cercanos a la población de la especie en Navarra, dando prioridad a aquellos núcleos situados dentro o próximos a zonas destinadas a la conservación de la biodiversidad (Red Natura 2000).

Los objetivos específicos de este trabajo fueron:

1. Completar la distribución de *G. isabellae* para Navarra.
2. Identificar los núcleos de población cuya iluminación nocturna tiene una afección constatada sobre la población de la especie en su ámbito de distribución y dentro de la Red Natura 2000.

3 | Corología, ecología y estatus de conservación de la especie

Graellsia isabellae es un macrolepidóptero nocturno de la familia Saturniidae (Figura 1). La especie es endémica del Oeste de Europa, con presencia conocida exclusivamente en las montañas Béticas, sistema Central, Sistema Ibérico, Pirineos y Alpes franco-suizos, entre las cuales no parece haber contacto reproductivo (Marí-Mena *et al.*, 2016).

Se distribuye por la mitad oriental de la Península Ibérica, ocupando los pinares de pino royo y (*Pinus sylvestris*) y pino laricio (*P. nigra*), situados en los pisos montano y montano-submediterráneo (Romo *et al.*, 2012). Durante el estadio de oruga se alimenta exclusivamente de acículas de estas especies de pinos.

La especie está incluida en los Anexos II y V de la Directiva Hábitats (92/34/CEE), la Lista Roja Europea de la IUCN, el Anexo III del Convenio de Berna y el Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial (LESRPE; Real Decreto 139/2011), así como en diversos Catálogos de Especies Amenazadas. Gran parte del hábitat ocupado por *G. isabellae* está incluido dentro de la Red Natura 2000, aunque algunos autores cuestionan que esa situación sea suficiente para conservar las poblaciones ibéricas (Chefaoui y Lobo, 2007). De hecho, esos lugares no están exentos de algunas de las principales amenazas para la especie, como p.ej. la destrucción de su hábitat a causa de los incendios y las deforestaciones (Romo *et al.*, 2012).



Figura 1: Tres ejemplares machos de *Graellsia isabellae* inmovilizados en una trampa sábana durante un muestreo nocturno realizado en 2021.

4 | Material y métodos

4.1 | Área potencial de la especie

El área potencial de *G. isabellae* en Navarra coincide con la distribución de las masas forestales de *P. sylvestris* y *P. nigra*. Estas masas ocupan una extensión de 89,985.77 ha en Navarra según el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de 2019, lo que supone un 8 % de la superficie total. Los bosques de pino royo se han extendido considerablemente desde sus posiciones iniciales desde los valles del Roncal y Salazar hasta el valle de Ezcabarte en su extremo occidental y el municipio de Leoz en el límite meridional, favorecidos por la estrategia de reforestación iniciada en 1.965 (Plan Forestal de Navarra, 1999). Los pinares de laricio, cuyas repoblaciones comenzaron entorno a 1920, se encuentran dispersos por la mitad norte, siendo menos frecuentes en la zona de influencia cantábrica (oeste de Navarra). Por extensión, cabe destacar los pinares de laricio localizados en la finca experimental del Gobierno de Navarra en Sabaiza y los municipios de Lónguida, Leoz, Ibargoiti, Lumbier, Izagaondoa, Arce y Guirguillano (Vicente *et al.*, 2004).

4.2 | Recopilación de citas de la especie

En Navarra, las primeras citas de *G. isabellae* datan de 1.974. Desde entonces se han registrado un total de 74 localidades con presencia de la especie (Tabla 1), obtenidas a partir de :

- Citas publicadas en la literatura o en plataformas digitales de datos de biodiversidad (iNaturalist).
- Citas inéditas provenientes de la base de datos de fauna del Gobierno de Navarra (2017) y del programa de seguimiento de la especie realizado por la empresa Gestión Ambiental de Navarra (GAN-NIK) iniciado en 2011 (Armendariz *et al.*, 2012) y continuado en 2018 y 2019 (Armendariz *et al.*, 2019).
- Registros de presencia obtenidos en los muestreos con trampas de luz realizados dentro del marco del proyecto *Pyrenees La Nuit EFA233/16* entre 2018 y 2021. Estos datos incluyen los registros obtenidos durante el estudio realizado en 2018 y 2019 (Armendariz *et al.*, 2020) y los muestreos específicos que se detallan a continuación.

Tabla: 1: Registros de *Graellsia isabellae* en Navarra. La distancia de la localidad a las masas de pinares de pino rojo y laricio se ha usado en pasos posteriores para identificar las masas de pinares donde la especie está presente (ver subsección 4.4). La distancia máxima a un pinar ha la que la especie a sido registrada es de 762 m.

Coordenadas		Localidad	Distancia a pinar (m)
X	Y		
645568	4752321	Abaurrepea / Abaurrea Baja	417
618365	4750077	Akerreta	18
617990	4720609	Amunarrizqueta	762
611029	4752872	Anocibar / Anotzibar	235
610561	4743723	Ansoáin / Antsoain	265
611368	4743368	Ansoáin / Antsoain	608
633092	4738619	Aoiz / Agoitz	502
618161	4738512	Aranguren	457
620937	4736719	Aranguren	70
672904	4752191	Asolace	0
651474	4727615	Bigüézal	613
651383	4726370	Bigüézal	0
651388	4727613	Bigüézal	686
661291	4730912	Burgui / Burgi	0
661291	4730912	Burgui / Burgi	0
626416	4755472	Erro	111
655485	4746764	Esparza de Salazar / Espartza Zaraitzu	107
625673	4718006	Ezprogi	124
669900	4739384	Garde	50
669904	4739378	Garde	45
669952	4739325	Garde	30
670171	4739082	Garde	24
673422	4737990	Garde	0
673524	4738057	Garde	0
656908	4741807	Güesa / Gorza	0
654920	4744642	Ibilcieta / Ibiltzieta	126
654871	4744663	Ibilcieta / Ibiltzieta	99
656283	4738631	Iciz / Izize	165
656305	4738713	Iciz / Izize	137
647921	4730530	Idokorri	43
620787	4737211	Ilundáin	100

Continúa en la siguiente página

Tabla: 1: Registros de *Graellsia isabellae* en Navarra. La distancia de la localidad a las masas de pinares de pino rojo y laricio se ha usado en pasos posteriores para identificar las masas de pinares donde la especie está presente (ver subsección 4.4). La distancia máxima a un pinar ha la que la especie a sido registrada es de 762 m. **(Continuación)**

Coordenadas		Localidad	Distancia a pinar (m)
X	Y		
619352	4725126	Iracheta	10
619448	4724351	Iracheta	0
669520	4752801	Isaba / Izaba	35
669748	4752769	Isaba / Izaba	1
669811	4752745	Isaba / Izaba	31
672761	4751916	Isaba / Izaba	0
673605	4751730	Isaba / Izaba	0
669505	4747391	Isaba / Izaba	382
671842	4748285	Isaba / Izaba	0
672581	4749359	Isaba / Izaba	0
672843	4749359	Isaba / Izaba	0
672843	4749359	Isaba / Izaba	0
672886	4752258	Isaba / Izaba	0
675193	4749504	Isaba / Izaba	0
633825	4746391	Itoiz	24
634048	4747124	Itoiz	0
629650	4730107	Izagaondoa	0
630365	4729802	Izagaondoa	0
653085	4740856	Izal / Itzalle	79
653089	4740792	Izal / Itzalle	35
628782	4719457	Izco	0
651370	4753870	Jaurrieta	132
634055	4747136	Lacabe	0
628807	4719419	Leache	0
640086	4723568	Lumbier	149
633869	4746364	Nagore	34
654371	4731557	Navascués / Nabaskotze	0
659988	4731530	Navascués / Nabaskotze (Pto.)	0
619489	4718366	Olleta	10
656111	4738604	Polígono Iziz / Izize, (polígono)	338
649552	4728764	Puente	68

Continúa en la siguiente página

Tabla: 1: Registros de *Graellsia isabellae* en Navarra. La distancia de la localidad a las masas de pinares de pino royo y laricio se ha usado en pasos posteriores para identificar las masas de pinares donde la especie está presente (ver subsección 4.4). La distancia máxima a un pinar ha la que la especie a sido registrada es de 762 m. **(Continuación)**

Coordenadas		Localidad	Distancia a pinar (m)
X	Y		
648181	4749035	Remendía	217
666873	4740395	Roncal / Erronkari	19
667210	4741634	Roncal / Erronkari	42
667757	4743438	Urzainqui / Urzainki	86
656077	4737543	Uscarrés / Uskartze	278
620589	4720405	Uzquita	0
672872	4749072	Valle de Belabarce	9
674944	4749311	Valle de Belabarce	55
675000	4745000	Valle de Belabarce	490
675000	4745000	Valle de Belabarce	490
621423	4753082	Zubiri	73
626040	4746248	Zunzarren / Zuntzarren	165

4.3 | Diseño y metodología de muestreo 2020

En primer lugar, se hizo una selección de cuadrículas UTM 10x10 km sin registros de *G. isabellae*, adyacentes a cuadrículas con presencia conocida de la especie y que estuvieran situadas dentro de las grandes masas de pinares con ausencia de datos de presencia. A esta selección se añadieron aquellas cuadrículas con citas antiguas (hace varias décadas) que requerían confirmación (Figura 2).

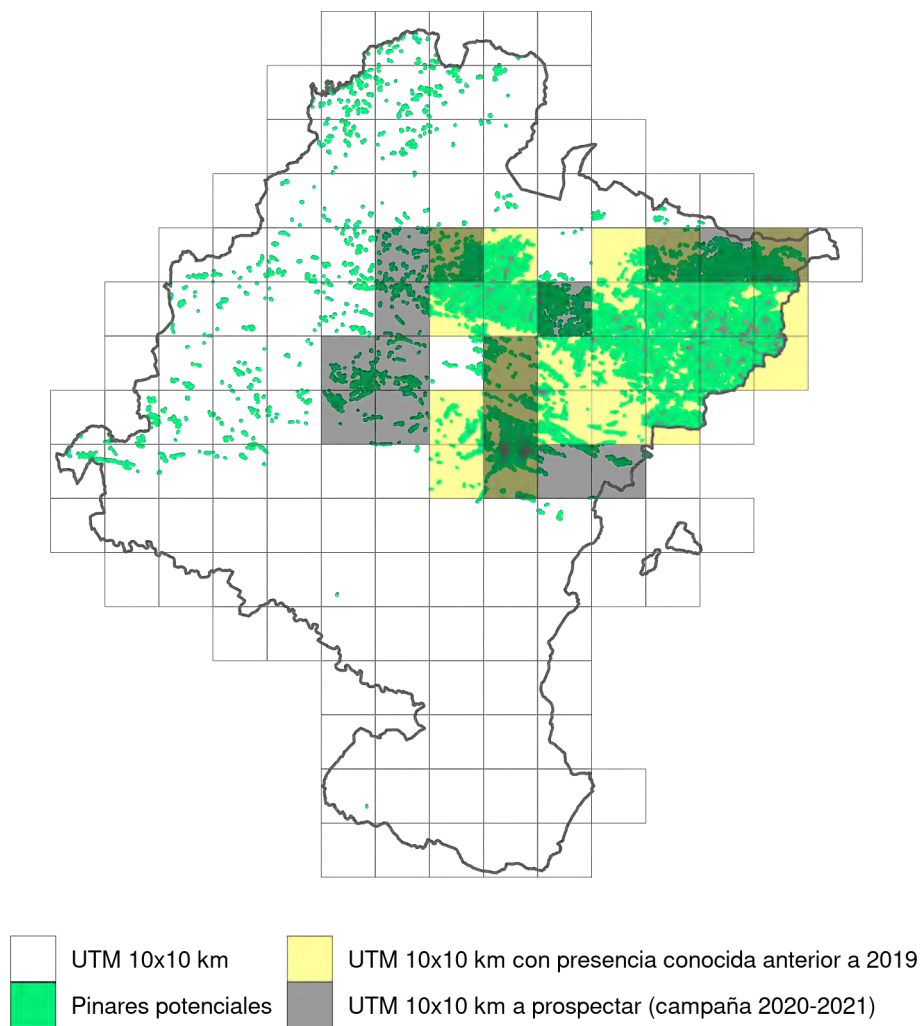


Figura 2: Diseño de muestreo para completar la distribución de *Graellsia isabellae* en Navarra.

A continuación, dentro de cada una de las 16 UTM de 10x10 km seleccionadas ($N = 16$) se escogieron dos localidades al azar y se muestrearon durante una noche mediante dos

aproximaciones complementarias (ver Figura 3):

- **Trampas sábana con luz de vapor de mercurio** situadas en un claro de pinar.
- **Trampas colgantes LepiLED**. Estas lámparas están compuestas por 8 LEDs que emiten luz en un amplio espectro (360-520 nm), con picos en el UV, azul y verde.



Figura 3: Ejemplos de trampa sábana (izda.) y trampa colgante LepiLED (dch.) utilizadas durante los muestreos para detectar la presencia de *Graellsia isabellae*.

Los muestreos se llevaron a cabo entre 2020-2021, coincidiendo con el periodo de vuelo de la especie (mayo-junio) y seleccionando días con condiciones favorables para la especie (sin viento ni lluvia, con temperaturas moderadas-altas y preferentemente con luna nueva). Todos los individuos capturados fueron liberados inmediatamente.

4.4 | Identificación de masas de pinares con presencia de *Graellsia isabellae* constatada y selección de núcleos de población con afección ALAN sobre la especie

A partir de los citas de localidad existentes (incluidas las obtenidas durante el muestreo del presente trabajo) se completó el mapa de distribución de la especie con una resolución de 10x10 km y se aplicaron las siguientes operaciones geométricas en un SIG (Figura 4):

1. Preparación del mapa de hábitat potencial para *G. isabellae*, mediante la fusión de los polígonos ocupados por pinares de pino royo y laricio definidos en el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de Navarra de 2019. La fusión de los polígonos permitió discriminar las masas de pinares contiguas de otras aisladas.
2. Intersección entre los puntos de localización conocidos de *G. isabellae* y el mapa de hábitat potencial para identificar las masas con presencia constatada de la especie.
3. Selección de los pinares situados a una distancia inferior a 762 m (la distancia de atracción de la especie verificada durante el muestreo) de las masas identificadas en el paso 2 con presencia de la especie.
4. Intersección de las masas de pinares con presencia constatada con la capa de núcleos de población de Navarra. Se seleccionaron sólo aquellos núcleos situados dentro o a menos de 762 m de los pinares con presencia constatada.
5. Selección de los núcleos identificados en el paso 4 que están situados dentro o en las inmediaciones de la red Natura 2000.

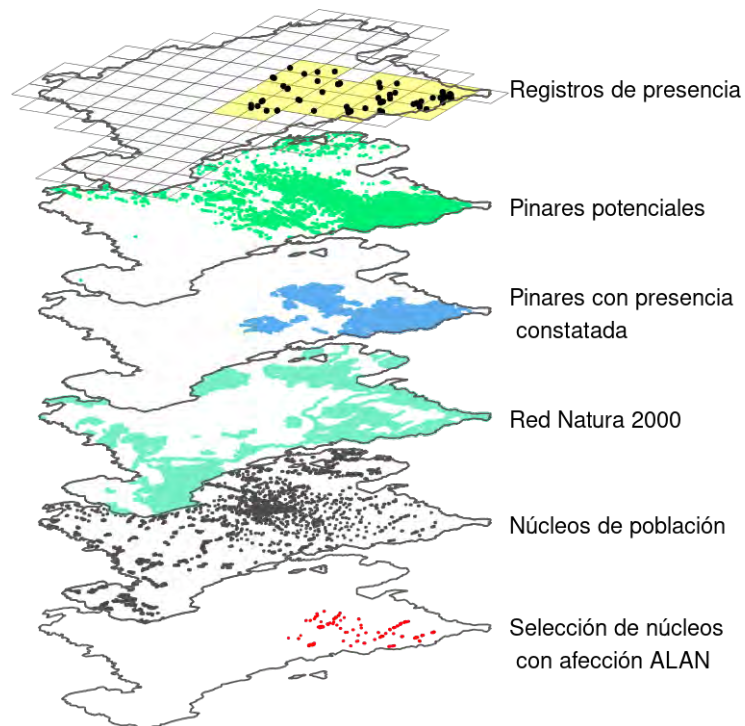


Figura 4: Capas de información utilizadas para la selección de núcleos de población cuya iluminación nocturna tiene afección sobre la población de *Graellsia isabellae* en la red Natura 2000 de Navarra.

5 | Resultados y discusión

5.1 | Distribución de *Graellsia isabellae*

Durante los muestreos realizados en el marco del proyecto PLN, se ha constatado la presencia de *G. isabellae* en 9 nuevas UTM's 10x10 km, más de un tercio del número de UTM's conocido con anterioridad a 2018. Una vez completada la distribución, se puede apreciar que las 26 UTM's 10x10 km con presencia de la especie son contiguas y abarcan la práctica totalidad de los valles del Prepirineo y Pirineo Navarro y la cuenca de Pamplona, donde hay masas de *P. sylvestris* y *P. nigra* (Figura 5). La superficie de masas de pinares con continuidad espacial y presencia constatada de *G. isabellae* en Navarra es de 67.484,59 ha, un 75 % de la superficie de pinares potenciales en Navarra.

En los valles Pirenaicos, *G. isabellae* tan sólo está ausente en aquellas zona donde la altitud da paso a bosques de *Pinus uncinata* (Larra, extremo nororiental de distribución) y donde las masas de pino royo (y en menor medida, de pino laricio) son sustituidas por el haya y los abetos (valle de Aezkoa, límite norte). Fuera del ámbito estrictamente pirenaico, la población se extiende hacia el oeste por los valles de Odieta, Olaibar y Ezcabarte (límite occidental de distribución). La distribución de la especie desciende hacia el sur hasta el valle de Aranguren e Izagaondoa. El límite sur está situado en los los montes de la Valdorba, y más al este, la sierra de Izko y la sierra de Leire (Figura 5).

Resulta llamativa la ausencia de la especie en las importantes masas de pinares del entorno de la sierra del Perdón, el valle de Etxauri y el Val de Mañeru (Guirguillano) (Figura 5), lugares para los cuales la potente iluminación de la cuenca de Pamplona podría ejercer de barrera de dispersión de la especie desde sus posiciones más septentrionales.

La Figura 6 muestra la evolución en el conocimiento, así como la distribución de la especie en Navarra, desde 1974: desde las primeras citas localizadas en las cabeceras de los valles pirenaicos al este del territorio, a su distribución actual, prácticamente continua en todos los pinares del cuadrante noroccidental de Navarra.

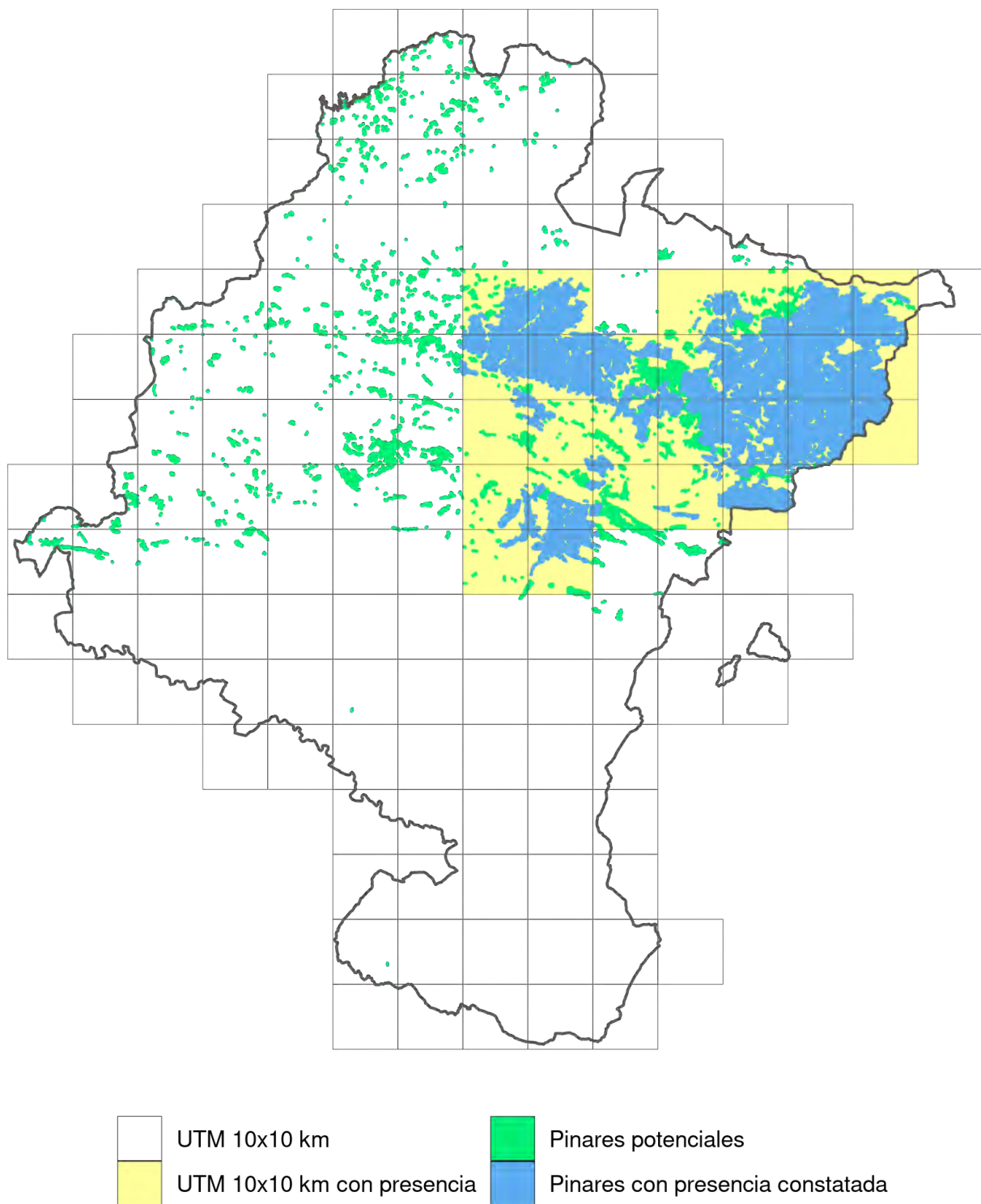


Figura 5: Distribución de *Graellsia isabellae* en Navarra.

Dado que es una especie conspicua, fácil de identificar y atractiva para los naturalistas, el aumento de UTM's con presencia de la especie a lo largo del tiempo se debe con mayor probabilidad a un incremento real de su distribución. Este patrón podría estar relacionada con (i) el desarrollo y madurez de las grandes masas de pinares de pino royo y laricio en Navarra durante los últimos 50 años, y (ii) el cese de los tratamientos aéreos para el control de la procesionaria del pino, principalmente mediante diflubenzurón (Romo *et al.*, 2012).

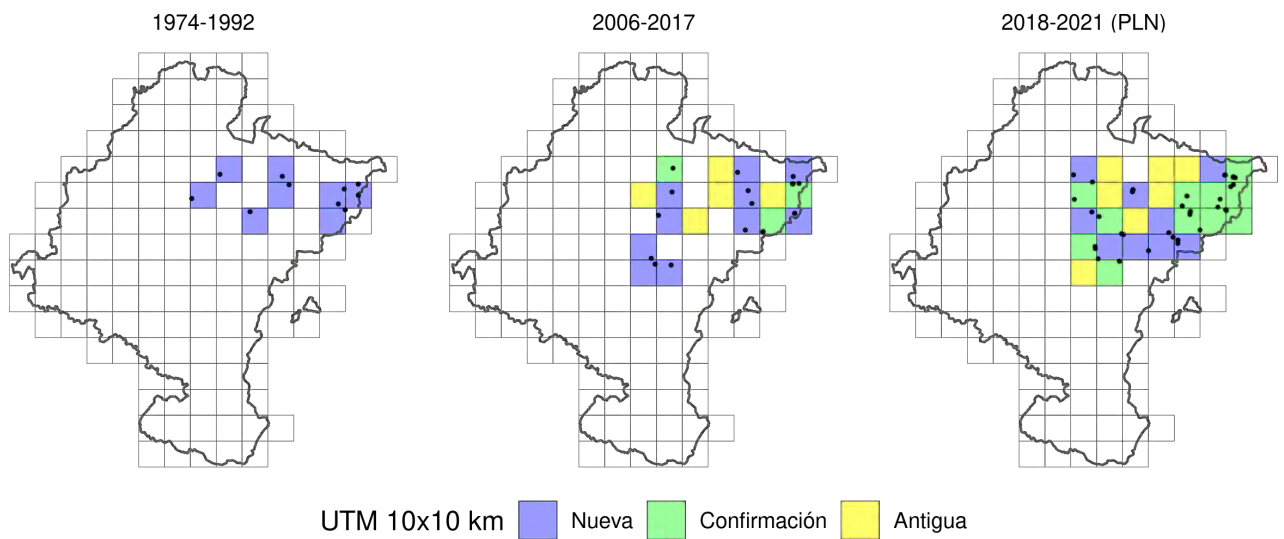


Figura 6: Evolución temporal de los registros de presencia de *Graellsia isabellae* en Navarra.

5.2 | Núcleos de población con afección sobre *Graellsia isabellae*

En base a los registros disponibles (ver Tabla 1), se han evaluado las distancias de desplazamiento de los ejemplares, desde sus hábitats a los núcleos de población iluminados. La distancia máxima ha sido de 762 m. En este sentido, se entiende, que cualquier punto de iluminación situado a esa distancia máxima o a una menor ejerce atracción sobre la especie. Es altamente probable que la especie pueda desplazarse a distancias superiores, siendo el área de afección del ALAN superior a la asumida en este estudio. Por esa razón, los resultados mostrados a continuación pueden considerarse como ‘conservadores’.

En Navarra, se han identificado un total de 148 núcleos habitados situados a una distancia inferior a 762 m de pinares con presencia constatada de *G. isabellae* (Figuras 7 y Tabla 2). En estos núcleos habita el 41 % de la población de Navarra, localizándose la mayoría de habitantes en Pamplona y su comarca (Figura 8), cuya iluminación nocturna podría suponer una importante barrera de dispersión para la especie. El resto de núcleos, salvo Aoiz / Agoitz y Lumbier, tienen menos de 500 habitantes (ver Tabla 2). Estos núcleos aparecen dispersos a lo largo del ámbito de distribución de la especie, en muchos casos, rodeados de masas de pinares con presencia constatada de *G. isabellae* (Figura 8). Usando un búfer de 762 m alrededor del perímetro de los núcleos, la estimación de la superficie del hábitat con presencia de *G. isabellae* afectada por el ALAN de estos núcleos sería de 11.304,45 ha (17 % del total).

Cuarenta y ocho de estos núcleos (entorno al 1 % de la población Navarra) están situados dentro o en las proximidades de la Red Natura 2000 (Tabla 2), con una afección sobre 3.757,78 ha (6 % del total) con presencia constatada de *G. isabellae*. La reducción del impacto del ALAN de estos 48 núcleos debería ser prioritaria para favorecer la conservación de *G. isabellae* y el conjunto de la comunidad de insectos nocturnos.

Se tiene constancia de que la tipología de lámparas usadas para el alumbrado nocturno de estos núcleos es diversa y por tanto, con un grado de afección sobre *G. isabellae* variable. En algunos de ellos todavía predominan las lámparas de mercurio y de halogenuros metálicos de cerámica. Estos tipos de lámparas tiene un elevado impacto sobre *G. isabellae* (Armendariz *et al.*, 2020).

En varios núcleos las lámparas convencionales han sido reemplazadas por lámparas con

tecnología LED como resultado de campañas de mejora de la eficiencia energética. Aunque a este tipo de iluminación se le presupone un impacto ambiental menor al de las lámparas anteriormente citadas, la evidencia científica no es concluyente. Un aspecto importante a considerar es que existen LEDs con diferentes espectros lumínicos, cuyo grado de atracción sobre la fauna nocturna es variable. En general, los LEDs con luz blanca fría ricos en emisiones del azul y verde se consideran más perjudiciales que los de luz cálida para la biodiversidad. Sin embargo, como ya se ha indicado anteriormente el único estudio que ha evaluado el impacto de diferentes tipos de LED sobre *G. isabellae* hasta la fecha, sugiere que ambos tipos de LEDs son potencialmente dañinos para la especie (Armendariz *et al.*, 2020). Asimismo, la iluminación mediante LED de color amarillo PC-Ámbar, ya presente en algunos núcleos, puede contribuir significativamente a mitigar el impacto del ALAN sobre *G. isabellae* (Armendariz *et al.*, 2020). La implantación de este tipo de LEDs debería ser prioritaria, al menos, en los 48 núcleos situados en espacios con alto valor para la conservación.

La sustitución del alumbrado con mayor impacto sobre *G. isabellae* por lámparas más sostenibles es sin duda el punto de partida para comenzar a mitigar el impacto del ALAN. Por esa razón, partiendo de la identificación de los núcleos con afección sobre la especie realizada en este trabajo, se ha llevado a cabo un estudio de caracterización detallada del alumbrado callejero existente (Malón, 2021), que servirá como hoja de ruta para identificar las lámparas con iluminación más dañina dentro de cada uno de los núcleos identificados y que permitirá establecer un orden de prioridades para llevar a cabo la sustitución del alumbrado.

Por último, el presente estudio no ha considerado el alumbrado de carreteras, rotondas y del ámbito privado, que en muchos casos puede llegar a formar barreras lineales entre las masas de pinares ocupadas por *G. isabellae*. Este aspecto no debería ser ignorado por las autoridades competentes. Sin duda, las campañas de concienciación para fomentar el uso de LEDs tipo PC-Ámbar en el alumbrado externo de edificios particulares podrían contribuir a proteger el medio nocturno y su biodiversidad.

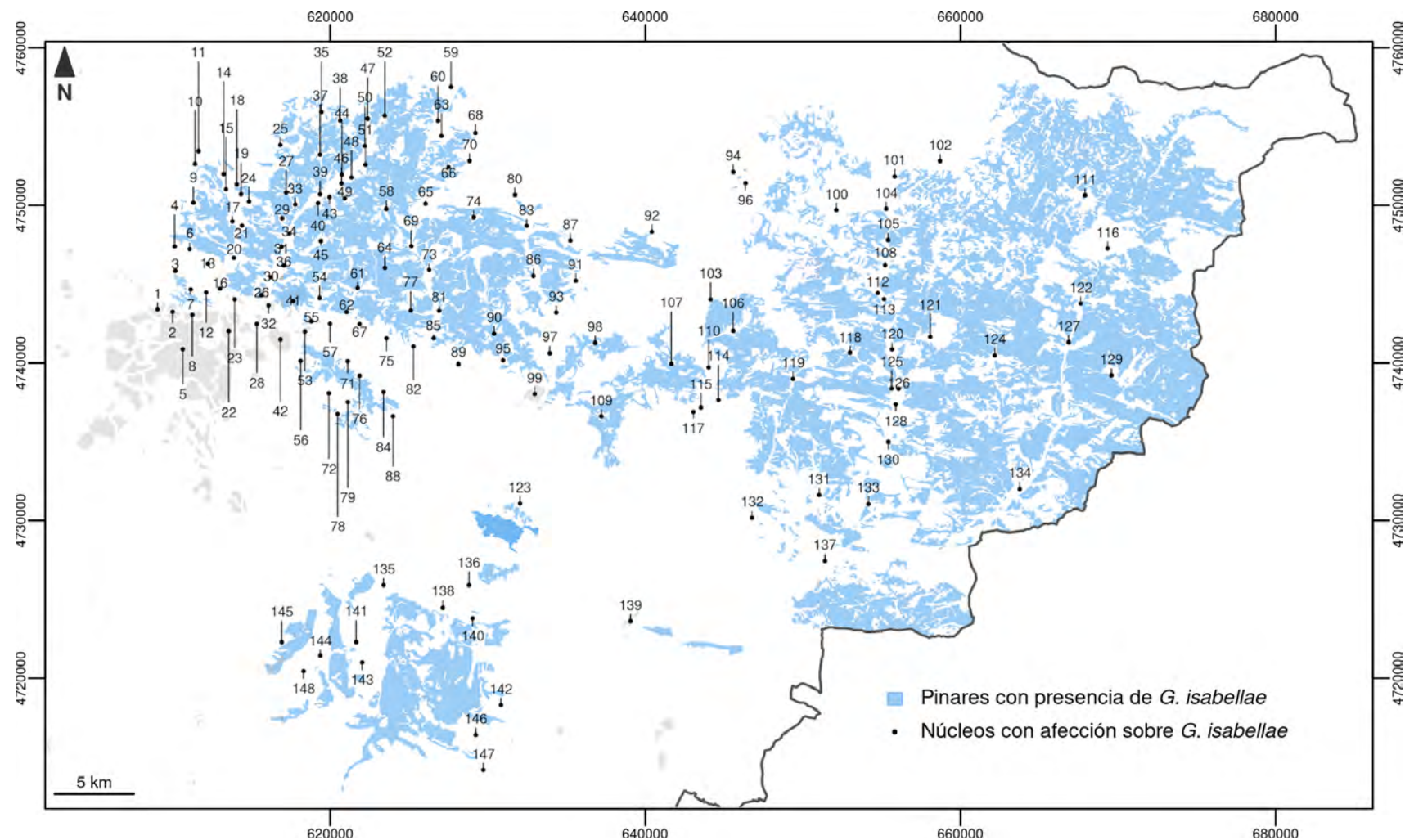


Figura 7: Distribución espacial de los núcleos de población existentes respecto a las masas de pinares con presencia constatada de *Graellsia isabellae* en Navarra. Ver correspondencia entre el código y el nombre de los núcleos cuya iluminación nocturna tiene una afección sobre la especie en la Tabla 2.

Tabla: 2: Listado de núcleos de población situados dentro o a menos de 762 m de masas de pinares con presencia constatada de *Graellsia isabellae* en Navarra, dentro y fuera de red Natura 2000. Los datos de población han sido obtenidos a partir del padrón continuo de 2021 del Instituto Nacional de Estadística.

Código	Localidad	Núm. de habitantes	Coordenadas		Dentro de red Natura 2000
			X	Y	
1	Berriozar	10.723	608617	4743616	
2	Artica / Artika	4820	609583	4743466	
3	Garrués	5	609755	4746053	
4	Orrio	50	609714	4747614	
5	Pamplona / Iruña	203.081	610234	4741072	
6	Makirriain	76	610679	4747440	
7	Ezcaba	6	610741	4744885	
8	Ansoáin / Antsoain	10.732	610848	4743266	
9	Anoz	6	610914	4750387	
10	Anocíbar / Anotzibar	39	611024	4752868	
11	Ciáurriz / Ziaurritz	66	611248	4753677	
12	Azoz / Azotz	169	611737	4744693	
13	Eusa	51	611854	4746516	
14	Ostiz / Ostitz	98	612860	4752211	
15	Endériz	126	613009	4751251	
16	Oricáin	107	612624	4744939	
17	Olaiz	37	613420	4749212	
18	Beraiz	4	613705	4751557	
19	Zandio	17	613974	4750944	
20	Sorauren	196	613520	4746889	
21	Olave / Olabe	131	614032	4748940	
22	Burlada / Burlata	19.723	613181	4742239	
23	Arre	1.081	613568	4744261	
24	Osacáin	61	614486	4750465	
25	Etsain	43	616494	4754066	
26	Arleta	3	615281	4744515	
27	Sarasibar	33	616869	4751031	
28	Huarte / Uharte	7.286	614987	4742695	
29	Gendulain	8	616617	4749402	
30	Zabaldika	38	615895	4745669	

Continúa en la siguiente página

Tabla: 2: Listado de núcleos de población situados dentro o a menos de 762 m de masas de pinares con presencia constatada de *Graellsia isabellae* en Navarra, dentro y fuera de red Natura 2000. Los datos de población han sido obtenidos a partir del padrón continuo de 2021 del Instituto Nacional de Estadística. **(Continuación)**

Código	Localidad	Núm. de habitantes	Coordenadas		Dentro de red Natura 2000
			X	Y	
31	Antxoritz	33	616586	4747593	
32	Oloki	1.101	615736	4743856	
33	Idoi	10	617454	4750272	
34	Zuriain	75	617078	4748436	
35	Usetxi	5	619139	4756165	
36	Irotz	38	616723	4746414	
37	Inbuluzketa	40	619045	4753455	
38	Leranotz	13	620341	4755624	
39	Larrasoaña	156	619046	4750938	
40	Akerreta	11	618918	4750357	
41	Alzuza	253	617313	4744140	
42	Gorraiz	3.649	616506	4741700	
43	Irure	6	619650	4750755	
44	Urdaitz / Urdániz	104	620452	4752183	
45	Ilurdotz	63	619101	4747957	
46	Ezkirotz	14	620423	4751615	
47	Saigots	73	622099	4755738	
48	Ilarratz	14	621064	4752001	
49	Setoain	6	620629	4750685	
50	Zubiri	469	621921	4754000.	
51	Osteritz	14	621955	4752820	
52	Agorreta	37	623199	4755919	
53	Egüés	417	618072	4742206	
54	Sagaseta	41	619024	4744344	
55	Elcano	206	618488	4742862	
56	Ardanaz de Egüés	87	617801	4740335	
57	Ibiricu	61	619684	4742706	
58	Errea	15	623295	4750006	
59	Lintzoain	62	627451	4757766	
60	Erro	139	626614	4755611	
61	Elía	19	621457	4744979	

Continúa en la siguiente página

Tabla: 2: Listado de núcleos de población situados dentro o a menos de 762 m de masas de pinares con presencia constatada de *Graellsia isabellae* en Navarra, dentro y fuera de red Natura 2000. Los datos de población han sido obtenidos a partir del padrón continuo de 2021 del Instituto Nacional de Estadística. **(Continuación)**

Código	Localidad	Núm. de habitantes	Coordenadas		Dentro de red Natura 2000
			X	Y	
62	Echálaz	4	620745	4743449	
63	Orondritz	44	626836	4754640	
64	Galdúroz / Galdurotz	5	623207	4746248	
65	Ardaitz	15	625811	4750317	x
66	Loizu	11	627292	4752662	
67	Eransus	15	621582	4742684	
68	Esnotz	35	629016	4754832	
69	Urricelqui / Urritzelki	11	624900	4747638	x
70	Aintzioa	21	628638	4753051	
71	Azpa	22	620821	4740319	
72	Aranguren	87	619610	4738271	
73	Zunzarren / Zuntzarren	13	626045	4746125	x
74	Espoz / Espotz	1	628906	4749470	
75	Mendióroz / Mendiorotz	40	623308	4741767	
76	Yelz / Iheltz	21	621579	4739387	
77	Leyún / Leiun	9	624865	4743553	
78	Ilundáin / Ilundain	10	620173	4736961	
79	Laquidáin / Lakidain	10	620832	4737723	
80	Urdíroz / Urdirotz	6	631556	4750891	x
81	Zalba	24	626688	4743532	x
82	Redín / Erredin	21	625039	4741259	x
83	Úriz / Uritz	19	632306	4748920	x
84	Lérruz / Lerrutz	21	623117	4738363	
85	Oscáriz / Oskaritz	20	626332	4741769	x
86	Nagore	39	632736	4745746	x
87	Lacabe / Lakabe	39	635108	4747982	
88	Idoate	28	623728	4736809	
89	Beortegui / Beortegi	12	627924	4740121	
90	Zazpe	7	630209	4742081	
91	Usoz / Usotz	5	635458	4745428	
92	Azparren	20	640338	4748551	x

Continúa en la siguiente página

Tabla: 2: Listado de núcleos de población situados dentro o a menos de 762 m de masas de pinares con presencia constatada de *Graellsia isabellae* en Navarra, dentro y fuera de red Natura 2000. Los datos de población han sido obtenidos a partir del padrón continuo de 2021 del Instituto Nacional de Estadística. (**Continuación**)

Código	Localidad	Núm. de habitantes	Coordenadas		Dentro de red Natura 2000
			X	Y	
93	Osa / Otsa	2	634203	4743418	
94	Abaurrepea / Abaurrea Baja	29	645565	4752348	
95	Olaberri	2	630794	4740367	
96	Abaurregaina / Abaurrea Alta	128	646355	4751631	
97	Górriz / Gorritz	1	633785	4740820	
98	Rala / Errala	6	636703	4741484	
99	Aoiz / Agoitz	2.791	632818	4738224	x
100	Jaurrieta	181	652183	4749933	
101	Ochagavía / Otsagabia	496	655925	4752063	x
102	Izalzu / Itzaltzu	38	658842	4753045	
103	Elcoaz	6	644113	4744253	
104	Ezcároz / Ezkaroze	308	655383	4750012	x
105	Oronz / Orontze	49	655509	4748020	x
106	Ayechu	17	645560	4742250	x
107	Artanga	1	641591	4740145	
108	Esparza de Salazar / Espartza Zaraitzu	74	655316	4746428	x
109	Javerri / Xaberri	1	637092	4736809	
110	Ongoz	20	643991	4739922	x
111	Uztárroz / Uztarroze	150	668143	4750861	
112	Ibilcieta / Ibiltzieta	33	654845	4744648	x
113	Sarriés / Sartze	28	655244	4744281	x
114	Ezcániz	1	644613	4737864	
115	Santa Fe	2	643491	4737379	
116	Isaba / Izaba	410	669591	4747483	x
117	Epároz	8	643007	4737099	x
118	Izal / Itzalle	42	653060	4740871	x
119	Adoáin	3	649403	4739202	
120	Güesa / Gorza	34	655757	4741064	x

Continúa en la siguiente página

Tabla: 2: Listado de núcleos de población situados dentro o a menos de 762 m de masas de pinares con presencia constatada de *Graellsia isabellae* en Navarra, dentro y fuera de red Natura 2000. Los datos de población han sido obtenidos a partir del padrón continuo de 2021 del Instituto Nacional de Estadística. **(Continuación)**

Código	Localidad	Núm. de habitantes	Coordenadas		Dentro de red Natura 2000
			X	Y	
121	Igal / Igari	9	658210	4741859	x
122	Urzainqui / Urzainki	88	667862	4743979	x
123	Urbicáin	9	631876	4731268	
124	Vidángoz / Bidankoze	82	662357	4740696	x
125	Gallués / Galoze	96	655737	4738597	x
126	Iciz / Izize	17	656180	4738574	x
127	Roncal / Erronkari	206	667087	4741526	x
128	Uscarrés / Uskartze	32	655996	4737583	x
129	Garde	137	669838	4739413	x
130	Ustés	23	655521	4735188	x
131	Aspurz	21	651081	4731801	
132	Napal	7	646771	4730355	x
133	Navascués	80	654246	4731237	x
134	Burgui / Burgi	193	663955	4732191	x
135	Zabalza de Ibargoiti	3	623123	4726078	
136	Sengáriz	2	628602	4726073	x
137	Bigüézal	56	651453	4727605	x
138	Abínzano	16	626921	4724641	
139	Lumbier	1.293	638970	4723791	x
140	Izco	49	628836	4723964	
141	Leoz	25	621359	4722462	
142	Leache / Leatxe	32	630655	4718451	
143	Uzquita	6	621747	4721160	
144	Iracheta	51	619064	4721599	
145	Bariáin	6	616588	4722453	
146	Moriones	5	629038	4716555	
147	Ayesa	38	629522	4714329	
148	Amunarrizqueta	7	617985	4720614	

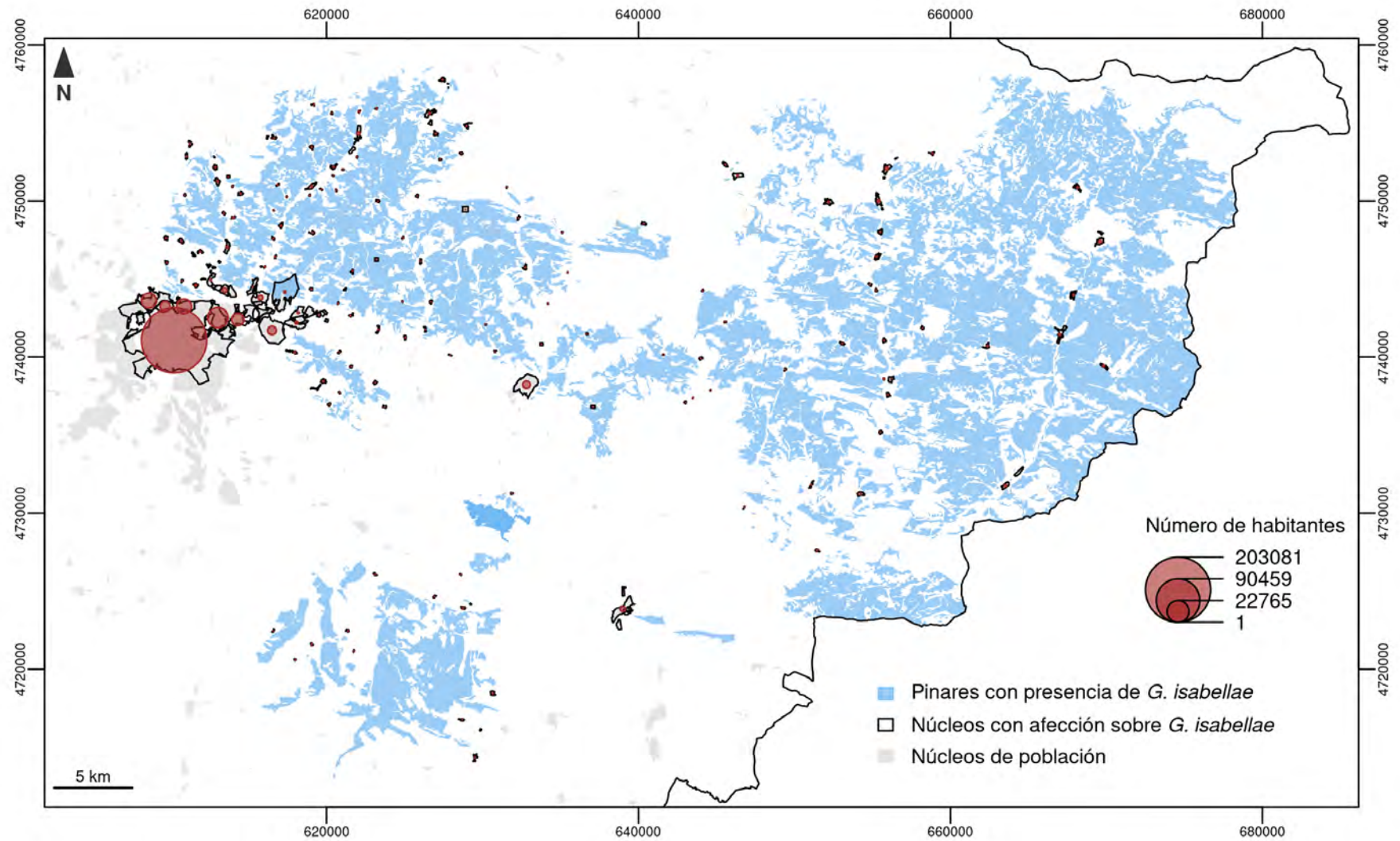


Figura 8: Número de habitantes en los núcleos situados a menos de 762 m de distancia de masas de pinares con presencia constatada de *Graellsia isabellae* en Navarra. Los datos poblacionales corresponden al año 2021 y han sido obtenidos del Instituto Nacional de Estadística.

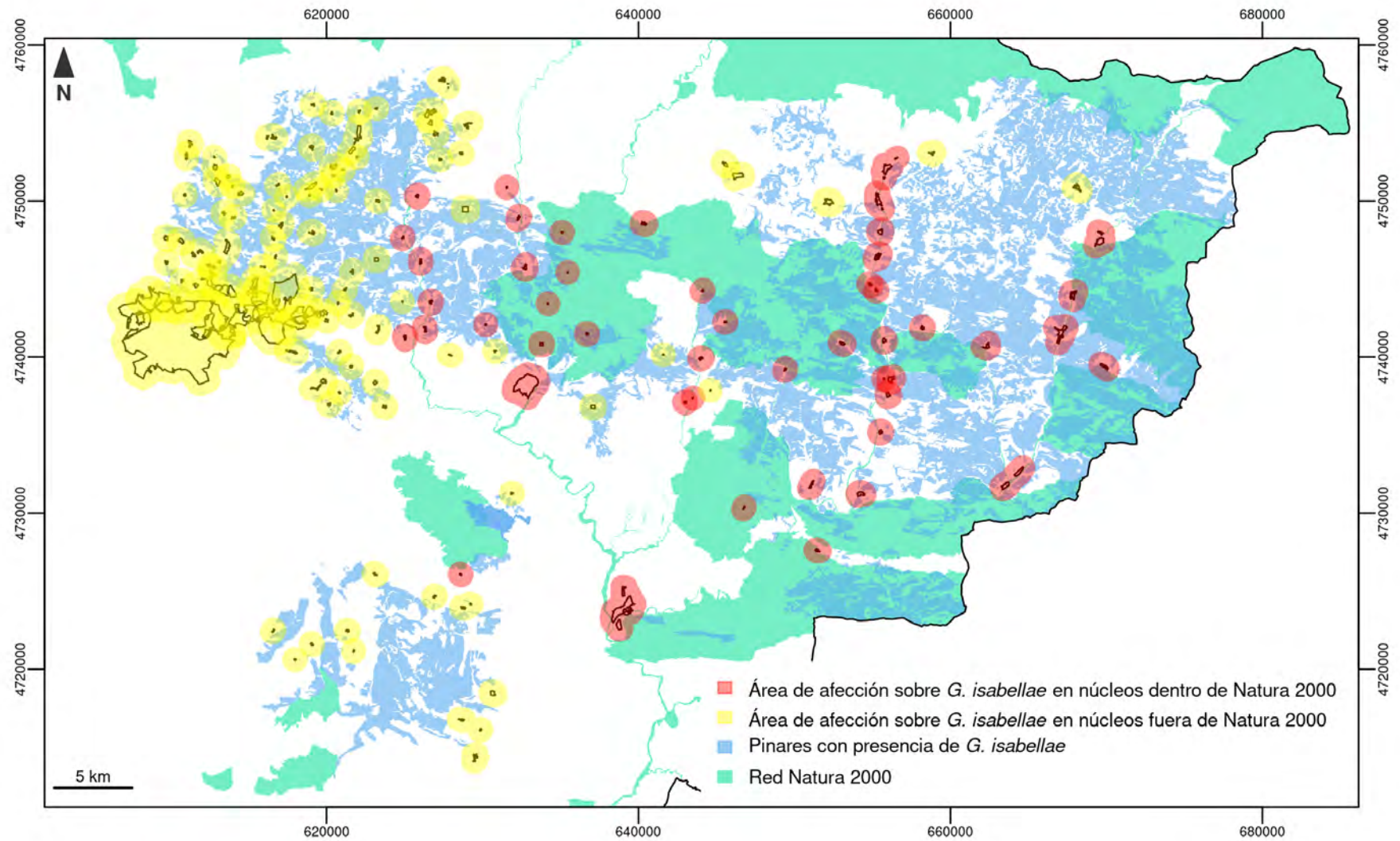


Figura 9: Áreas de afección por contaminación lumínica sobre la población de *Graellsia isabellae* dentro y fuera de la Red Natura 2000 en Navarra. Para el cálculo del área se ha utilizado un búfer de 762 m alrededor del perímetro de los núcleos con afección sobre la especie.

6 | Agradecimientos

Los autores de este trabajo queremos agradecer al personal técnico de Gestión Ambiental de Navarra (GAN-NIK) Ainhoa Istúriz, Aritz Zaldúa, Enara Rabina, Fermín Urrea y Diego Villanúa por la ayuda prestada durante las diferentes fases de este trabajo. También queremos agradecer a Iosu Antón (Guarderío de Medio Ambiente de Navarra), Alba Rípodas y Asier Herrera por su participación y apoyo durante el trabajo.

7 | Referencias

- Armendariz, C., Pardo, I., Istúriz, A., y Vergara, E. (2019). Distribución y situación actual de la población de *Actias isabellae* en Red Natura 2000 (Navarra) y propuesta de una red de seguimiento. Informe inédito. Gestión Ambiental de Navarra.
- Armendariz, C., Pardo, I., y Vergara, K. (2020). *Evaluación del impacto del ALAN sobre lepidópteros nocturnos en núcleos rurales pirenaicos (Pyrenees La Nuit EFA233/16)*, Gestión Ambiental de Navarra (GAN-NIK), Gobierno de Navarra, Euskal Herriko Unibertsitatea (EHU/UPV).
- Armendariz, C., Rabina, E., Llamas, A., Almacegui, I., y Campión, D. (2012). Seguimiento de la presencia de *Graellsia isabellae* en la Red Natura 2000 de Navarra. Informe inédito. Gestión Ambiental de Navarra.
- Chefaoui, R. M. y Lobo, J. M. (2007). Assessing the Conservation Status of an Iberian Moth Using Pseudo-Absences. *The Journal of Wildlife Management*, 71(8):2507–2516.
- Cinzano, P., Falchi, F., y Elvidge, C. (2001). The first World Atlas of the artificial night sky brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 328(3):689–707.
- Davies, T. W. y Smyth, T. (2018). Why artificial light at night should be a focus for global change research in the 21st century. *Global Change Biology*, 24(3):872–882.
- Donners, M., Grunsven, R. H. A. v., Groenendijk, D., Langevelde, F. v., Bikker, J. W., Longcore, T., y Veenendaal, E. (2018). Colors of attraction: Modeling insect flight to light behavior. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*, 329(8-9):434–440.
- Frank, K. D. (1988). Impact of outdoor lighting on Moths: An assessment. *Journal of the Lepidopterists' Society*, 42(2):63–93.
- Gaston, K. J., Duffy, J. P., y Bennie, J. (2015). Quantifying the erosion of natural darkness in the global protected area system. *Conservation Biology*, 29(4):1132–1141.
- Gobierno de Navarra (2017). Base de datos georreferenciada para el registro de la monitorización de las especies de fauna amenazada y de interés para Navarra. Gobierno de Navarra. Dirección General de Medio Ambiente.

- Guetté, A., Godet, L., Juigner, M., y Robin, M. (2018). Worldwide increase in Artificial Light At Night around protected areas and within biodiversity hotspots. *Biological Conservation*, 223:97–103.
- Kyba, C. C. M. y Hölker, F. (2013). Do artificially illuminated skies affect biodiversity in nocturnal landscapes? *Landscape Ecology*, 28(9):1637–1640.
- Macgregor, C. J. y Scott-Brown, A. S. (2020). Nocturnal pollination: an overlooked ecosystem service vulnerable to environmental change. *Emerging Topics in Life Sciences*, 4(1):19–32.
- Malón, S. (2021). Caracterización lumínica de las lámparas urbanas en los lugares Natura 2000 de Navarra con presencia de *Graellsia isabellae* y elaboración de un plan de renovación del alumbrado urbano compatible con la conservación de la biodiversidad. Informe inédito. Lumínica Ambiental.
- Marí-Mena, N., Lopez-Vaamonde, C., Naveira, H., Auger-Rozenberg, M.-A., y Vila, M. (2016). Phylogeography of the Spanish Moon Moth *Graellsia isabellae* (Lepidoptera, Saturniidae). *BMC Evolutionary Biology*, 16(1):139.
- Monasterio, Y. y Escobés, R. (2017). Conservación y divulgación. En Monasterio León (Coord), García Carrilo, A., Vicente Arranz, J., Marí-Mena, N., Murria Beltrán, E., Arce Crespo, J.I y Escobés Jiménez. La “graellsia”, *Actias isabellae* (Graells, 1849) historia, genética, ecología, distribución y conservación de un emblema de nuestra fauna. pp 43-48. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- Romo, H., García-Barros, E., Martín, J., Ylla, J., y López, M. (2012). *Graellsia isabellae*. En VV.AA.. Bases ecológicas preliminares para la conservación de las especies de interés comunitario en España: Invertebrados. 54 pp. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- van Grunsven, R. H. A., Deijk, J. R. v., Donners, M., Berendse, F., Visser, M. E., Veenendaal, E., y Spoelstra, K. (2020). Experimental light at night has a negative long-term impact on macro-moth populations. *Current Biology*, 30(12):R694–R695.
- van Langevelde, F., Ettema, J. A., Donners, M., WallisDeVries, M. F., y Groenendijk, D. (2011). Effect of spectral composition of artificial light on the attraction of moths. *Biological Conservation*, 144(9):2274–2281.

Vicente, A., Donézar, M., Del Barrio, F., y San Roque, M. (2004). Mapa de cultivos y aprovechamientos de navarra.