



Trabajo Fin de Grado

¿Puede el cambio climático afectar a la población
de piquituertos en Leyre?

Autor

Gerardo Soriano Sanz

Director

Luis Alberto Longares Aladrén

Facultad de Filosofía y Letras
2014/2015

Resumen:

El piquituerto común (*Loxia curvirostra curvirostra*) es un ave altamente dependiente de la producción de piñas producidas por las coníferas, en especial del Pino silvestre o royo (*Pinus sylvestris*). En ocasiones, la escasez de recursos o un incremento en el número de individuos en un área, han fomentado el movimiento dispersivo en busca de zonas con menor competencia por la alimentación.

Los escenarios de cambio climático, proyectan una disminución de la superficie ocupada por el Pino silvestre en España (Banco de datos, MAGRAMA), siendo esta una de las principales comunidades forestales habitadas por *Loxia curvirostra curvirostra*, por lo que estos posibles cambios en cuanto a la distribución de su hábitat constituyen una de las principales amenazas a la que está expuesta esta especie.

La posibilidad de contar con información sobre abundancia y producción de piquituertos y la producción de piñas por parte del Pino silvestre, generada por miembros de la Sociedad de Ciencias Aranzadi, nos llevó a plantearnos el estudio de la relación entre el crecimiento del Pino silvestre, analizando a través de la dendrocronología, su relación con la variable climática más influyente en su crecimiento, la precipitación, y en qué medida todo ello influía en la productividad reproductora de la población de piquituertos de la zona de estudio.

Hasta ahora se ha demostrado la relación entre las precipitaciones producidas y el crecimiento del Pino silvestre pero queda por demostrar, debido a la poca presencia de datos, si un aumento en la producción de las piñas implicaría un aumento en el número de piquituertos.

PALABRAS CLAVE: Piquituerto común (*Loxia curvirostra curvirostra*), Pino silvestre (*Pinus sylvestris*), dendrocronología, cambio climático, precipitaciones,

Abstract:

The common crossbill (*Loxia curvirostra curvirostra*) is a highly dependent bird of the production of pineapples produced by conifers, especially those of the red or Scots pine (*Pinus sylvestris*). Sometimes, scarce resources or an increase in the number of individuals in one area have encouraged the dispersive movement for areas with less competition for food.

Climate change scenarios project a decrease in those areas occupied by the Scots pine in Spain (Banco de datos, MAGRAMA), being these one of the main forest communities inhabited by the red crossbill, so these potential changes regarding the distribution of its habitat is one of the main threats to this species.

The possibility of having information on abundance and production of crossbills and pineapple production about the Scots pine by members of the Aranzadi Science Society, led us to consider the study of the relationship between the growth of Scots pine, analyzing through dendrochronology, its relationship with the most influential climatic variable with their growth, rainfall, and in which way all this affected the reproductive production of the breeding crossbills population of the study area.

So far, the relationship between rainfall and Scots pine growth has been demonstrated but remains to be proven, due to the low presence of data, whether an increase in the production of pineapples imply an increase of the number of crossbills.

KEY WORDS: Red crossbill (*Loxia curvirostra curvirostra*), Scots pine (*Pinus sylvestris*), dendrochronology, climatic change, rainfall.

Agradecimientos

Este Trabajo de Fin de Grado es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente han participado distintas personas opinando, corrigiendo, teniendo paciencia y dando ánimo. Este trabajo me ha permitido aprovechar la competencia y experiencia de muchas personas que deseo agradecer en este apartado.

En primer lugar, a mi director, Luis Alberto Longares Aladrén, por haberme permitido formar parte de este trabajo, por su paciencia ante mi inconsistencia y valiosa dirección y apoyo para poder concluir este trabajo.

En segundo lugar, a Klemen Novak, por todos sus consejos y recomendaciones dendrocronológicas durante mi estancia, donde he podido tener la oportunidad de aprender y realizar una parte de este estudio.

A Daniel Alonso y Juan Arizaga de la Sociedad de Ciencias Aranzadi por todos los consejos y sabiduría dada durante el trabajo de campo y facilitar toda la información requerida sobre los distintos aspectos a tratar en el trabajo.

A Roberto Serrano por la dedicación de su tiempo para aportarme información disponible sobre una parte del trabajo.

Un especial agradecimiento a Darío, Diego, José María y Amada, por estar siempre a mi lado.

Por último a mi madre, por todo el amparo incondicional y apoyo en todas las decisiones tomadas y aportar una opinión externa en la elaboración de este estudio.

A todos ellos, mi enorme gratitud y reconocimiento

ÍNDICE

1-. Introducción.....	págs. 7-12
1.1-. Área de estudio.....	págs.7-9
Figura1: Mapa de parcelas de trabajo Leire y Lando 1.....	pág. 8
1.2-. Especies objeto de estudio.....	págs. 9-12
Figura 2: Presencia del piquituerto común en España.....	pág.10
Figura 3: Mapa de distribución de Pino silvestre en España....	pág.11
Figura 4: Piña de Pino silvestre.....	pág. 12
2-. Objetivos.....	págs. 12-13
3-. Metodología.....	págs. 13-21
3.1-. Variables analizadas.....	págs.13-19
Figura 5: Mapa de observatorios seleccionados.....	pág.15
Figura 6: Barrena de Pressler y material adicional.....	pág.17
Figura 7: Testigo de madera.....	pág.18
3.2-. Análisis estadístico de los datos.....	págs.20-21
Figura 8: Formula de r y t de Student.....	pág.21
4-. Resultados.....	págs.21-23
5-. Conclusiones.....	págs. 23-24
6-. Bibliografía.....	págs.25-26
7-. Anexos.....	pág. 26

1. Introducción:

El escenario de cambio climático apuntado por numerosos investigadores, el aprovechamiento abusivo de algunos bosques y la aparición de nuevas actividades en torno a las masas forestales de coníferas, se muestra como un factor que está afectando a un gran número de territorios y por tanto a especies asociadas a masas forestales en el mundo.

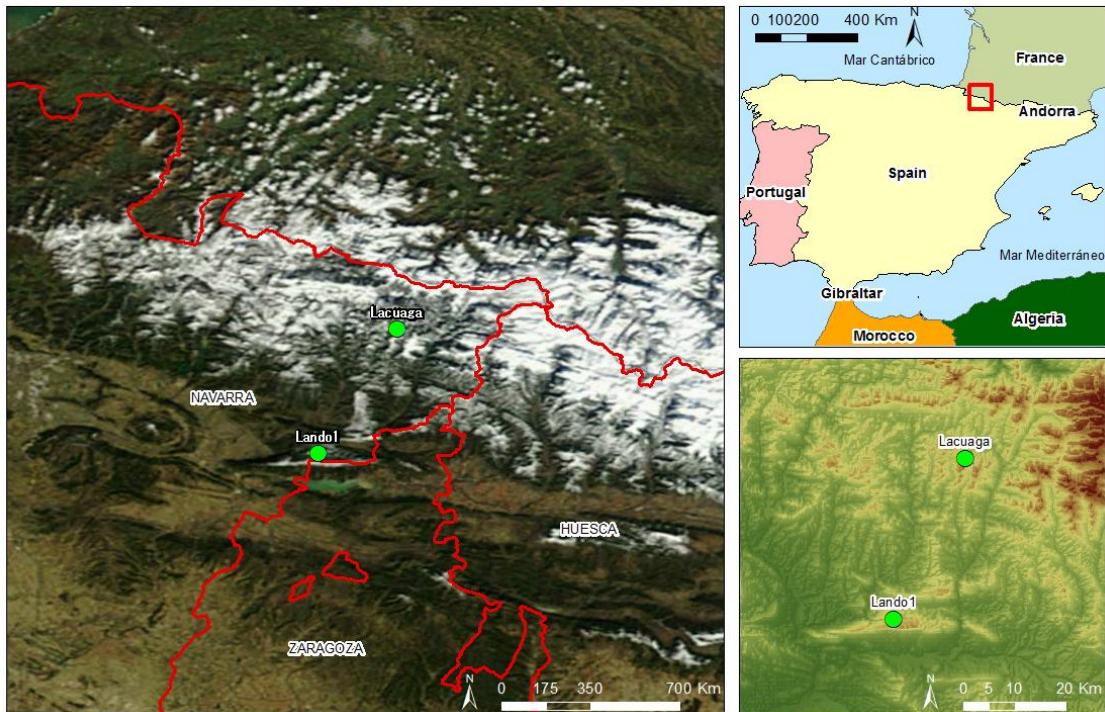
El Piquituerto común *Loxia curvirostra curvirostra* (Anexo 11) es un ave que se alimenta de las piñas producidas por coníferas como el Pino silvestre, hasta tal punto de mostrar una adaptación en la forma de su pico que le permite abrir las piñas y acceder a las semillas aun cuando éstas todavía permanecen cerradas. Por tanto, es lógico pensar que la alta dependencia de la producción de piñas producidas por las coníferas por parte de esta especie para su alimentación suscite la duda de hasta qué punto este factor altera su reproducción y por lo tanto pueda comprometer su presencia en un territorio y patrones de conducta, o si por el contrario hay otros factores a parte que inciden en su comportamiento.

Este estudio pretende ser un punto de partida para el desarrollo de trabajos a mayor escala con la especie y también para otros trabajos similares aplicados a especies con alto grado de dependencia de masas forestales, sentando las bases de la aproximación metodológica multi-proxy, en la que se utilicen técnicas propias de la dendrocronología, el análisis de los datos climáticos y herramientas propias de los Sistemas de Información Geográfica, dentro del ámbito de la disciplina de la Biogeografía.

1.1 Área de estudio:

La zona donde se desarrolla este trabajo está localizada en la Sierra de Leyre. Esta cadena montañosa es la primera sierra prepirenaica de Navarra (España) y se encuentra situada en la zona noreste de la comunidad foral.

Localización parcelas de trabajo



Figural1: Mapa de parcelas de trabajo Leire y Lando 1.

El estudio se ha centrado en dos lugares situados en torno al valle de Isaba, cerca del río Salazar y del núcleo navarro de Castillonuevo y de Leyre. Esta zona es un área donde, debido a la proximidad de la sierra con el Pirineo, hay una influencia pirenaica sobre la misma pero también aparecen rasgos oceánicos e incluso mediterráneos, haciendo de este lugar un espacio limítrofe entre ambos sistemas. El régimen de precipitaciones se sitúa por encima de los 600 mm y éstas se producen tanto en forma líquida como sólida. Además, al estar a una altura superior a los 1000 metros de altitud sobre el nivel del mar, mucha de esta precipitación sólida se conserva en forma de nieve en el suelo hasta primavera. Las temperaturas son suaves en invierno y cálidas en verano (Climate Data).

Las masas forestales existentes están caracterizadas por la numerosa presencia del haya (*Fagus sylvatica* L.), pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.), abeto pirenaico (*Abies alba* Mill.) y roble pubescente (*Quercus humilis* Mill.), creándose una predominancia de coníferas. A su vez, cerca de los ríos y valles que se forman a lo largo y extenso de toda la sierra, abundan bosques de ribera formados por arces (*Arce opalus opalus* Mill.), olmos (*Ulmus glabra* Huds.) y avellanos (*Corylus avellana* L.) son las principales especies predominantes (Peralta *et al.*, 1990).

En cuanto a la fauna predominante, la Sierra de Leyre es un enclave ideal para la fauna, concretamente la avícola. Sus escarpadas paredes, recursos hídricos y abundancia de masas boscosas hacen de este lugar un hábitat ideal para buitres leonados (*Gyps fulvus* Hablizl.), alimoches (*Neophron percnopterus* L.), búhos reales (*Bubo bubo* L.) o, la especie desarrollada en este trabajo, el piquituerto común (*Loxia curvirostra* L.). Muestra de la riqueza faunística de la zona es la reserva natural de la Foz de Lumbier, importante por ser lugar de nidificación de numerosas especies (CIFL).

La zona de trabajo se ajusta al territorio en el que se localizan las estaciones de esfuerzo constante, para el anillamiento de piquituertos en época reproductora, que tiene instaladas, desde el año 2000 la Sociedad de Ciencias Aranzadi y que reciben los nombres de Lando 1 (Anexo 8) y Lacuaga. Esta sociedad nos ha proporcionado dos de las variables de las que el trabajo se nutre, la producción de piñas por parte de los pinos silvestres y los datos de anillamiento de los piquituertos comunes.

Tanto la zona de Lando 1 como la de Lacuaga (Lakuaga), son dos ambientes con predominio de *Pinus sylvestris* como especie forestal dominante y al mismo tiempo constituyen espacios con importante presencia de piquituertos comunes. Ambos están situados a una altura superior a los 1000 metros y con una ligera orientación norte, aunque separados por una distancia de 25 kilómetros en línea recta.

Nombre	Coordenadas	Altitud
Lando1	42°39`36.93``N – 1°08`15.65``O	1104 metros
Lacuaga	42°52`43.36``N – 0°59`51.12``O	1342 metros

1.2 Especies objeto de estudio:

- Piquituerto común:

El piquituerto común *Loxia curvirostra curvirostra*, es un ave holártica que habita en las masas forestales compuestas por coníferas (Newton 1972). De tamaño similar al gorrión (*Passer domesticus* Illiger.), tiene la cabeza más grande y un característico pico el cual le sirve para extraer las semillas producidas por los pinos. Los machos, muestran una coloración rojiza y oscura en las alas mientras que las hembras lucen un plumaje verdoso. En el espacio, está distribuido de forma irregular y discontinua a lo largo de las masas forestales de coníferas ya sean de repoblación o naturales y está presente en un

gran número de lugares. Su localización en España se sitúa en la mitad norte y este de la Península y en las Islas Baleares, siendo predominante en la franja mediterránea, Sistema Ibérico, Central, Cordillera Pirenaica y entorno a las grandes depresiones del Duero o Tajo.



Figura 2: Presencia del Piquituerto común en España

Debido a las fluctuaciones que se producen entre las distintas especies forestales de coníferas, la población de piquituertos varía notablemente tanto en el espacio como en el tiempo (Muntaner *et al.*, 1983). Se sitúan en bosques maduros de Pino silvestre, la principal formación de vegetación en la zona cuyo gradiente altitudinal se sitúa entre los 800 y 1400 metros sobre el nivel del mar (Loidi & Bascones, 1995). El piquituerto común es un gran ejemplo de la especialización producida ya que su alimentación está basada únicamente en las semillas de las piñas que producen los pinos carrascos (*Pinus halepensis* Mill.) o *Pinus sylvestris* (Alonso *et al.*, 2006) aunque también han sido contabilizados individuos de la especie en torno al Pino negro (*Pinus nigra* Arnold) y Pino piñonero (*Pinus pinaster* Mill.). Debido a su morfología y adaptación, este animal ha desarrollado una serie de elementos que hacen de él un ave singular.

- Pino silvestre:

El pino silvestre (*Pinus sylvestris*) o albar es una especie arbórea perteneciente a la familia Pinacea, género *Pinus*. Esta conífera, puede llegar a los 30 o 40 metros de altura y a poseer una circunferencia en torno a los 5 metros. Su tronco, delgado y recto en

hábitats cálidos y curvado y torcido en regímenes fríos, presenta un color rojizo salmón, factor por el cual es conocido también como pino rojo. Su hábitat está comprendido entre los 300 a los 2000 metros sobre el nivel del mar según su localización y régimen de precipitaciones y temperaturas. Está presente en toda la Península Ibérica pero su presencia más abundante se sitúa en torno a la Cordillera pirenaica, Sistema Ibérico, Sistema Central y la unión de las provincias de Burgos, Soria y La Rioja.

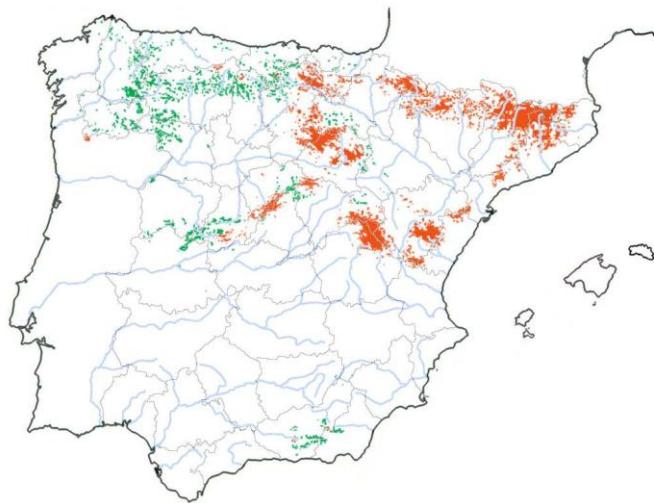


Figura 3: Mapa de distribución del *Pinus sylvestris* en España

Las hojas de Pino silvestre son simples, aciculares, agrupadas de dos en dos y unidas por una vaina. Presentan un tamaño corto, de 3 a 7 centímetros de longitud. Aparecen en mayo y se desprenden en otoño, después de tres, cuatro o, excepcionalmente, cinco años. Este árbol produce semillas a partir de los 25 años en caso de ser poblaciones aisladas, mientras que si presenta un crecimiento acompañado comienza a producir a partir de los 40 años (González, 2006) Posee un marcado carácter vecero, produciendo las fructificaciones más abundantes en períodos de varios años. Aproximadamente de cada siete años, dos suelen ser buenos (con una alternancia de dos a cinco años), otros dos intermedios y los tres restantes malos, siendo raro la pérdida total de semilla (Ruiz de la Torre, 1979).

Florece de mayo a junio y la fecundación tiene lugar en la próxima primavera. Sus flores masculinas poseen un color amarillento y suelen producir una gran cantidad de polen. Las flores femeninas son alargadas, de unos 5-6 mm de largo y 3-4 de grueso (Ruiz de la Torre 1979). El cono puede llegar a crecer hasta los 2 centímetros en el primer año. A partir de la primavera siguiente, momento de su fecundación, su crecimiento aumenta. La forma de las piñas es cónica, péndulas y casi sentadas, de color

verde durante su formación y amarillento-grisáceo una vez desarrollada. Tienen una longitud de 3 a 8 cm y 2 o 3 cm de grosor. Los piñones son pequeños, de 3-5 mm de largo, maduran al año siguiente de la floración y diseminan en otoño hasta mediados de primavera según la climatología del año, especialmente entre diciembre y marzo (Ruiz de la Torre, 1979). Las piñas comienzan a abrirse a finales de otoño y diseminan hasta mediados de primavera. Una vez diseminadas, las piñas vacías suelen estar uno o dos años en el árbol antes de su caída.

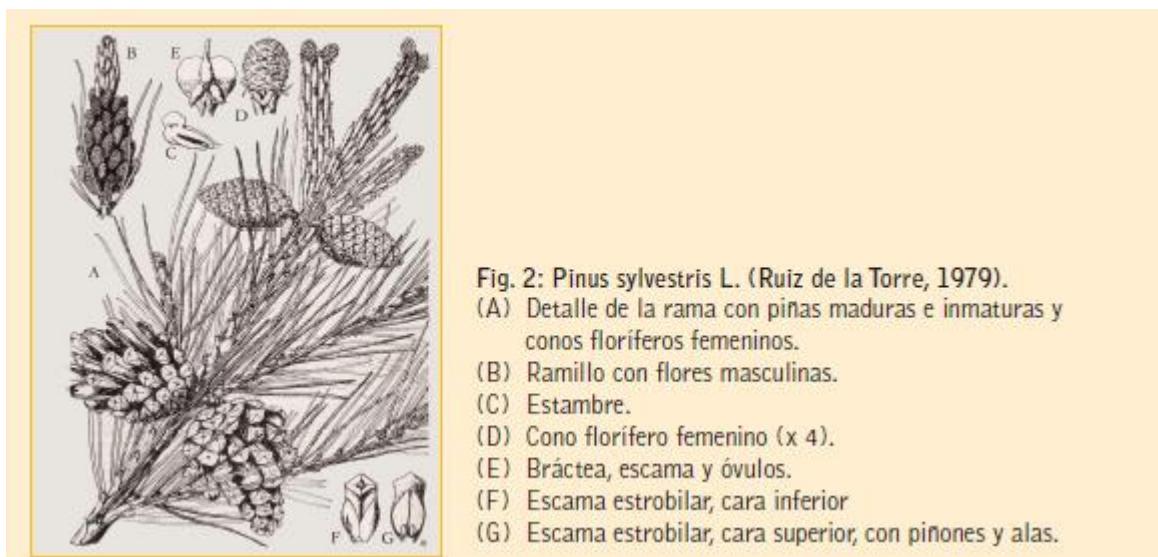


Figura 4: Piña del Pino silvestre (Ruiz de la Torre, 1979)

Al ser una especie longeva, que puede llegar a vivir hasta 500 o 600 años, el diámetro de tronco puede ser mayor a 1 metro en condiciones ecológicas favorables (Martínez, F., 1999). Debido a estas dimensiones, el pino silvestre puede ser de gran utilidad para la dendrocronología ya que puede aportar una gran cantidad de datos climáticos sobre años los cuales no se ha tenido constancia.

2-. Objetivos:

Para la realización de este trabajo, se ha establecido un objetivo general y varios específicos los cuales se abordarán a lo largo del estudio.

El objetivo general es:

Comprobar si existe dependencia entre la presencia y éxito reproductor del *Loxia curvirostra curvirostra* y las masas de *Pinus sylvestris* en la Sierra de Leyre.

De este objetivo general se derivan otros **específicos**:

Introducirnos en las técnicas de muestreo y análisis de dendrocronología y utilizarlas en relación con métodos y líneas de trabajo que necesitan aproximaciones desde diferentes disciplinas.

Profundizar en las técnicas de análisis estadístico para comprobar si existe relación entre las variables analizadas en este trabajo.

3-. Metodología:

Uno de los aspectos a resaltar del trabajo que aquí presentamos, es la aplicación de una metodología de trabajo "multi-proxy", al manejarse información y técnicas de diferentes disciplinas, combinando el trabajo de campo, de laboratorio y por último de gabinete, con la finalidad de llevar a buen fin el objetivo principal del trabajo.

De esta forma, a lo largo del desarrollo del trabajo se ha tratado información climática, se ha generado una serie dendrocronológica de Pino silvestre para la zona de Leyre incluyendo la toma de datos en campo y su preparación en laboratorio, y se ha procedido al análisis de los datos de anillamiento de *Loxia curvirostra curvirostra* y producción de piñas cedidos por Aranzadi y por último el análisis estadístico de todas las variables presentadas.

A excepción de los datos dendrocronológicos, los cuales han sido extraídos personalmente, el resto de datos han sido facilitados por la Sociedad de Ciencias Aranzadi y el grupo de trabajo Clima, Agua, Cambio Global y Sistemas Naturales del Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio de la Universidad de Zaragoza. Pese a ello, se ha requerido de una serie de pasos para poder trabajar con los datos y adecuarlos a los distintos objetivos tratados en el trabajo.

3.1-. Variables analizadas

- Abundancia y éxito reproductor de *Loxia curvirostra curvirostra*:

En el caso de los datos sobre la presencia de piquituertos en la zona, los datos fueron obtenidos por la Sociedad de Ciencias Aranzadi de Navarra. La estación de muestreo de piquituertos lleva funcionando desde el año 2000 hasta la actualidad, y consta de dos localidades situadas en el Noreste de Navarra (Norte de España, Oeste de Pirineos): Biguézal (Sierra de Leire, 42°40'N 01°07'W, 1096 m.s.n.m.), Uztárroz (Sierra de Uztárroz, 42°52'N 01°00'W, 1383 m.s.n.m.); ambas distantes entre sí 25 km en línea recta (Alonso & Arizaga, 2005). (Ver figura 1)

Para obtener los datos en ambos observatorios, los piquituertos fueron capturados y posteriormente puestos en libertad mediante unas redes de niebla una vez cada semana 4 horas antes del amanecer. Las redes utilizadas para su captura fueron situadas cerca de los arboles, en zonas donde los pájaros acuden a ingerir sales para complementar su alimentación (Alonso & Arizaga, 2013). Los datos, fueron recogidos desde el año 2000 hasta la actualidad utilizando siempre un esfuerzo constante de muestreo por jornada en cuanto a número de redes, horario de muestreo y duración de muestreo.

Con los datos obtenidos, se ha procedido al análisis de los mismos a través de un Modelo Lineal Generalizado para el cálculo de los índices de abundancia y de éxito reproductor. La variable dependiente ha sido el número de piquituertos capturados por jornada. Como factores sistemáticos se ha considerado el año y el mes. Hubo meses en los que se llevaron a cabo más de un muestreo y otros por el contrario ninguno. Debido al comportamiento de la variable, se ha utilizado un modelo con función de enlace log-lineal y distribución de errores de Poisson. Los índices son los B-parámetros aportados por los modelos, para los años, en escala exponencial. Eso quiere decir que si el índice de un año es +1.5 ese año hubo un 50% más de capturas que en el año de referencia ($B = 1$), que por defecto es el último año de muestreo. Para la productividad se empleó el cociente entre el número de capturas de jóvenes y número de capturas de adultos, utilizándose los mismos modelos que en el caso anterior.

- Productividad de piñas en *Pinus sylvestris*:

Como se ha apuntado anteriormente, esta variable también ha sido facilitada por la Sociedad de Ciencias Aranzadi. Esta ha consistido en el conteo sistemático de piñas desde el año 2006 hasta la actualidad en un total de 11 y 10 ejemplares respectivamente de *Pinus sylvestris*, ubicados en cada una de las zonas donde se realizan los anillamientos de piquituertos (Lando 1 y Lacuaga).

El método de conteo se basó en escoger y marcar para reconocer en años posteriores, una rama de cada ejemplar de árbol elegido para el seguimiento. En esta rama, se contabilizaban y arrancaban al mismo tiempo las piñas existentes en el año de conteo, para de esta forma poder observar el número de piñas nuevas que aparecían al año siguiente.

- Variable climática (precipitación):

Se ha seleccionado la variable climática de precipitación por ser la que en diferentes estudios muestra una relación más directa con el crecimiento de la especie, evitando de esta forma tener que realizar un trabajo de relleno de series de temperaturas que no aportaría mucho más que la variable seleccionada, de esta forma se ha podido disponer de más tiempo para profundizar la preparación de los datos derivados del trabajo dendrocronológico y también del análisis climático.

Los datos sobre las precipitaciones han sido facilitados por el grupo Clima, Agua, Cambio Global y Sistemas Naturales. Los datos corresponden a un total de 19 observatorios, 18 en la provincia de Navarra y 1 en la provincia de Zaragoza. Los datos están compuestos por una serie de datos diarios desde el 1 de enero de 1940 hasta el 31 de diciembre de 2012. Pese a lo larga y completa que es esta serie, únicamente han sido necesarios los datos diarios desde 1990 hasta 2012. La elección se debe a que el resto de años no han resultado útiles para el trabajo debido a que dos de las tres variables utilizadas no disponen de una serie de datos tan amplia.

Para ajustar estos datos, se ha utilizado el programa estadístico Excel para realizar los cálculos. En primer lugar se han eliminado todos los datos innecesarios y organizado el resto de datos útiles en filas y columnas. En cada fila se ha situado un observatorio distinto y en cada columna se representan los datos diarios.



Figura 5: Mapa de observatorios seleccionados

Los datos correspondientes a los 19 observatorios han sido divididos en dos grupos según su proximidad a la parcelas de Lando 1 y Lacuaga.

- Para la parcela de Lando 1 los observatorios elegidos han sido: Arangoiti, Arangoiti GN, EMA - Yesa, Javier Castillo, Leire Monasterio, Navascués, Navascués Pajares, Navascusos, Salvatierra de Esca, SPC Yesa, Yesa Embalse y Yesa GN.
- Para la parcela de Lacuaga los observatorios tomados han sido: Anduiza-Izalzu, Esca – Isaba, Esparza de Salazar, Isaba, Ochafavia, Urzainqui y Zatoya – Ochagavia (GN).

Divididos los observatorios en dos, se ha procedido a calcular la media mensual de cada mes de los distintos años (desde 1990 hasta 2012). Calculada la media de cada uno de los observatorios, se ha obtenido la media mensual de todos los observatorios para cada una de las zonas (Lacuaga y Lando 1). (Anexo 9 y 10)

- Dendrocronología:

La dendrocronología es una ciencia que estudia los cambios ambientales del pasado analizando los anillos de crecimiento anual de los árboles (Un. Austral de Chile). Su principal fundamento está basado en que las especies forestales tienen un crecimiento radial rítmico y anual según las condiciones ambientales a las que están expuestas. Por ello, cada anillo de crecimiento expresa unas condiciones anuales específicas. El crecimiento de los árboles es un cómputo de factores bióticos como la competencia y físicos como la temperatura o la precipitación. Estos factores, quedan plasmados en la estructura de los anillos, almacenándose en el interior de sus troncos una gran información climática de años pasados.

Esta ciencia por tanto, resulta muy útil para éste y otros muchos trabajos ya que se requiere de información del crecimiento del propio árbol para relacionarla con las precipitaciones que se han producido en la zona y para, como posteriormente se describirá en los objetivos, ver la relación que tiene el crecimiento del árbol con la producción de piñas.

La extracción de datos dendrocronológicos ha sido fundamental para poder calcular el crecimiento de cada árbol de las distintas parcelas. Para la extracción de datos dendrocronológicos se han realizado una serie de pasos. Se ha empleado una fase de diseño experimental para recabar información sobre los pinos silvestres. En ella, se ha analizado cómo se comporta esta especie y que datos puede aportar al trabajo.

Los lugares donde se han extraído las muestras se corresponden con las zonas de anillamiento de piquituerto y con los ejemplares sobre los que se realiza el seguimiento de la productividad de las piñas, incluyendo también algún ejemplar próximo y de características similares a los monitorizados que pudieran aportar mayor información climática para la zona.

Cada árbol muestreado ha sido codificado con un código compuesto por unas siglas que hacen referencia al lugar en el que han sido tomadas la especie vegetal a la que pertenece y el número de muestra que representa. Este código, además de ser utilizado para apuntar en una libreta con el diámetro correspondiente a cada uno, ha sido escrito en cada madera guía para, en el laboratorio, saber a qué árbol pertenecía cada muestra.

De cada ejemplar de *Pinus sylvestris* se han extraído dos muestras de madera para asegurar datos correctos y evitar tener que volver al campo en caso de que en el laboratorio alguna muestra presentase defectos. Asimismo, no siempre ha sido necesario perforar dos veces un único árbol, sino que si se logra atravesar su tronco con la barrena de Pressler, se habrán extraído dos muestras directamente, una primera desde la corteza hasta el centro, y una segunda desde el centro hasta la corteza opuesta. (Anexo 3)

La extracción de los datos de los pinos silvestres elegidos se ha realizado a la altura del pecho. Es importante que la zona donde se introduce la barrena no tenga nudos la madera o ramas debido a que es posible que posteriormente la muestra presente anomalías que impidan su análisis. Una vez los árboles fueron medidos se procedió a la selección de la zona ideal para ser perforada con una barrena de Pressler de 30 o 50 centímetros



Figura 6: Barrenas de Pressler y material adicional. Fuente: Klemen Novak

La barrena se ha de introducir con la ayuda de un empujador situado entre el final de la barrena y el pecho de la persona que extrae la muestra para ejercer una presión constante e introducir la barrena de una forma suave, evitando que el testigo de la madera se fragmente en varios trozos. Una vez perforado el árbol e introducida la

barrena, se introduce una espada para poder extraer la muestra del árbol. Esta espada es una varilla dotada de unos pequeños dientes en su parte delantera para poder agarrar la muestra y sacarla del interior de la barrena. Extraída la muestra, también denominada testigo de madera, se fija a una madera de aproximadamente 40 centímetros de longitud que presenta una ligera mueca en su parte central de unos 3mm de profundidad. Esta mueca sirve para que el testigo de madera extraído no se curve o tome mala posición. Asimismo, una vez fijada la muestra del árbol a la madera, se procede a envolverla en papel de aluminio para que no se humedezca ni se mueva hasta una vez depositada en el laboratorio.



Figura 7: Testigo de madera. Fuente: Klemen Novak

Una vez las muestras han sido depositadas en el laboratorio y transcurrido un tiempo, se procede a su preparación para analizarlas posteriormente. En primer lugar se comprueba que todos los códigos hayan sido bien apuntados y posteriormente se procede a pegar los testigos de madera a las maderitas con las muescas. Los testigos de madera han de ser pegados con una orientación vertical de las fibras. Conviene recalcar la importancia de pegar la corteza del testigo de madera porque representa el último año o año 0. Para pegar los testigos de madera a la madera con la muesca, se ha utilizado cola blanca de fijación rápida para parquet, debido a que fija fuertemente la madera y no altera la muestra. Asimismo, en ocasiones la muestra se ha ido curvando o cogiendo mala posición desde el momento de su extracción hasta su pegado por lo que ha sido necesario también cinta de pintor para fijarlas bien a la madera guía y evitar que se despegue.

Una vez las muestras han sido pegadas, se dejan secar las muestras durante 24 horas y transcurrido el tiempo, se despega la cinta y recortan las maderitas en caso de que varios testigos de madera hayan sido pegados en única tablilla.

Seguidamente, se procede a lijar las muestras ya que éstas tienen una forma circular y es necesario de una forma plana para poder observar los anillos con una mejor precisión. Este proceso se puede realizar de dos formas distintas. La primera es mediante una lija de carpintería, en la cual se realizan hasta cuatro procesos de lijado según el tipo de madera y papel de lijado empleado. La segunda forma es mediante un objeto denominado Core-microtome (Anexo 4), en el cual se fija la madera al instrumento, se humidifica por completo con un pincel y posteriormente se procede a cortar el diámetro de la muestra poco a poco hasta el nivel deseado con unas cuchillas de cutter o similares. En ambas formas, el diámetro necesario cortado debe ser de $\frac{1}{4}$ de diámetro. Los dos procesos son comúnmente utilizados en dendrocronología pero el segundo tiene como ventaja que los microporos de la madera no se llenan de serrín producido por su lijado, dejando estos microporos vacíos y asemejándose más a su estado natural. (Anexo 6)

Pegados, cortados y lijados los testigos de madera, éstos ya están preparados para su análisis en el ordenador (Anexo 7). Para su análisis, se requiere de un escáner especial de alta resolución y en este caso del programa Photoshop para recortar las imágenes escaneadas y organizarlas en carpetas para su posterior estudio. Los testigos de madera una vez escaneados han sido ordenados y guardados en bolsas o recipientes según su código del sitio/cronología.

Posterior a todo el trabajo manual de toma y preparación de los testigos de madera, se comienza el tratamiento digital de los mismos. En primer lugar, se crea una tabla con todos los datos de las muestras y sus variables y se procede a la datación de los anillos de cada muestra. Puesto que no siempre es fácil datar los anillos de forma visual, se ha utilizado una mesa de medición LINTAB (Anexo 5) y el programa TSAP. Con este programa, se ha podido datar todos los testigos de madera y realizar gráficos y cronologías brutas de los mismos desde su año de origen hasta su año final.

Por último, la interpretación de los resultados se ha realizado con los programas ARSTAN, DendroClim 2002, Microsoft Excel y otros programas estadísticos.

En la interpretación de los resultados, se podría haber tomado los índices de crecimiento temprano y crecimiento tardío para averiguar en qué estación ha crecido el

árbol, pero en este caso se ha decidido trabajar únicamente con el índice de crecimiento anual.

3.2-. Análisis estadístico de los datos:

Una vez extraídos y adecuados todos los datos sobre la producción y abundancia de piquituertos, producción de piñas, precipitaciones, y crecimiento del árbol ha sido necesaria su recopilación y puesta en común. Para ello se han pasado todos los datos a un fichero Excel, donde se ha procedido a su análisis.

En primer lugar se ha decidido trabajar con la variable de precipitaciones. Se ha calculado la precipitación total desde el periodo 1990 hasta el periodo 2012 para cada mes así como la precipitación media total de cada mes para cada año. Con ello, al final se ha calculado la precipitación media anual producida en el periodo de los 22 años.

Con respecto a la productividad de piñas se han despreciado un total de 5 árboles debido a un número de datos insignificantes para el cálculo final. Seguidamente se realizó un promedio de la productividad de cada zona, Lando1 y Lacuaga, de todos los arboles para tener un resultado global y poder compararlo posteriormente.

Una vez obtenidos todos los parámetros de las variables se ha realizado un análisis de correlación-regresión para indicar la correspondencia o la relación reciproca entre las distintas variables. Para calcular la correlación, se ha utilizado el comando en Excel de PEARSON. Este índice permite medir el grado de relación de dos variables siempre y cuando ambas sean cuantitativas y tengan una distribución normal.

Se ha procedido a calcular la correlación entre las siguientes variables:

- Precipitación total mensual – Índice dendrocronológico.
- Precipitación total mensual – Promedio de producción de piñas.
- Precipitación total mensual – Índice de abundancia de piquituertos.
- Precipitación total mensual – Índice de productividad de piquituertos.
- Índice dendrocronológico – Promedio de producción de piñas.
- Índice dendrocronológico – Índice de abundancia de piquituertos.
- Índice dendrocronológico – Índice de productividad de piquituertos.
- Promedio de producción de piñas – Índice de abundancia de piquituertos.
- Promedio de producción de piñas – Índice de productividad de piquituertos.
- Índice de abundancia de piquituertos – Índice de productividad de piquituertos.

Una vez calculado el coeficiente de correlación, se procesó la significación estadística del coeficiente de correlación mediante el índice de la t de Student para afirmar con determinación si el coeficiente de correlación se puede utilizar o por el contrario no se pueden tener en cuenta los resultados.

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

$$t = \frac{r_{xy} - 0}{\sqrt{\frac{1 - r_{xy}^2}{N - 2}}}$$

Figura 8: Fórmula de r y t de Student. Fuente: Martín de Luis

El análisis estadístico, se ha tenido que adecuar a la ecología del *Pinus sylvestris*, en relación con la producción de piñas. En este sentido, y debido a que las piñas maduran al año o dos años siguientes de aparecer, la disponibilidad de alimento de los piquituertos dependerá del año o años anteriores al momento de criar. Por ello, se ha realizado un análisis de correlación con retardo de la productividad de piñas con un, dos y tres años. Asimismo, se ha realizado el mismo análisis de correlación con retardo con la productividad de piquituertos y con el crecimiento de los árboles.

Por último se ha calculado la producción de piñas para cada año tanto en Lando 1 como en Lacuaga, mediante el cálculo del porcentaje sobre el dato total de producción de piñas dado en el total de la serie de 8 años. Se ha eliminado el primer año, debido a que, el conteo se realizó sin saber que piñas pertenecían al año anterior y cuantas habían aparecido ese año.

4-. Resultados

Para los resultados del trabajo se ha decidido establecer dos parámetros para escoger los datos de la correlación. En la significación estadística del coeficiente de correlación (p), se ha asignado un umbral de confianza de 0.09 para poder afirmar con al menos un 91 por ciento que el coeficiente de correlación es válido. Para el coeficiente de correlación (r) se ha asignado un valor situado entre (1 – 0.5) ó (-0.5 - -1) que indique una alta relación entre las dos variables.

Crecimiento de *Pinus sylvestris* y precipitaciones

El análisis de correlación empleado en el año natural otorgó un alto índice de significación entre la precipitación y el índice dendrocronológico que explica el

crecimiento de los árboles. En Lando1, se puede afirmar con un 98 % de seguridad que el crecimiento de pinos silvestres a principio de primavera e inicios de verano está altamente condicionado por las precipitaciones caídas. En cambio, se observa como en Lacuaga, situado más al norte, únicamente aparece una alta significación, del 98% a inicios de verano. La comparación de la relación entre ambas variables, se ha realizado también en la ventana de correlación de uno, dos y tres años y ha ofrecido resultados no correlacionados en su mayoría y en algún caso donde existía correlación, ésta carecía de significación, por lo que se afirma aun más la hipótesis de que el crecimiento del pino silvestre parece depender de las precipitaciones del mismo año, aunque con diferencias entre las dos zonas de muestreo.

Crecimiento de *Pinus sylvestris* y productividad de piñas

En este caso se aplico la metodología de correlación con retardo y los resultados mostraron que la ventana de correlación aplicada al primer año, presenta una alta correlación entre el índice de crecimiento del árbol y el incremento en la producción de piñas al año siguiente. En Lando 1, la significación es de 0.08 por lo que hay una probabilidad de un 92 % de que un mayor crecimiento de los pinos en el año natural influya en la mayor producción de piñas al año siguiente. En Lacuaga, esta correlación es aun mayor con un índice de Pearson de 0.71 y una significación de 0.003.

Aplicada la ventana de correlación al segundo año, los datos observados son aun más esclarecedores. En primer lugar, se observa una alta reciprocidad entre la precipitación y la producción de piñas transcurridos dos años en la zona de Lando 1. Tanto a finales de primavera como a mediados de verano, tanto la correlación como los índices de significación son elevados, pudiéndose afirmar al 99 % la correspondencia entre ambas variables. A su vez, el crecimiento de los árboles con la producción de piñas en la parcela de Lando 1 transcurridos dos años también posee un alto coeficiente de significación, del 92%. Además, realizado el análisis, se observa una alta correlación entre las precipitaciones acaecidas y la presencia de piquituertos comunes en Lando 1 dos años después; este dato no es anómalo, sino que está íntimamente correlacionado con el incremento de piñas en Lando 1. Por último, se observa como en la parcela de Leyre hay un alto índice de correlación en la ventana de dos años entre la abundancia de piquituertos con la productividad de piquituertos.

Productividad de piñas y abundancia y éxito reproductor del Piquituerto común.

La relación entre la producción de piñas y el aumento de abundancia y productividad de piquituertos únicamente se puede apreciar en la correlación realizada en la ventana del segundo año en el caso de Lando 1, afirmándose con un 89% de significación que un aumento de piñas implica un aumento en la productividad de piquituertos.

Para calcular las posibles diferencias en torno a las precipitaciones dadas en cada observatorio, se ha realizado un gráfico en el cual se aprecia que, pese a ser dos lugares cercanos entre sí, ambos presentan unas diferencias notables en la distribución de las mismas.

5-. Conclusiones

Los dos observatorios empleados en este trabajo son dos buenos lugares para observar si la presencia del piquituerto común se da únicamente por la presencia de las piñas producidas por el pino silvestre o si por el contrario hay otros factores que le afectan.

Ambos observatorios están a una distancia relativamente cerca pero este factor no es indicativo de que se comporten de manera similar. Las diferencias entre las precipitaciones mensuales y totales, el índice de crecimiento entre los árboles y la producción total de piñas son más que notables. Estas diferencias entre ambos lugares, generará que la presencia de piquituertos en ambas zonas sea diferentes. El observatorio de Lacuaga, situado más al norte, presenta una mayor presencia oceánica y de montaña debido a su emplazamiento en las sierras interiores pirenaicas mientras que más al sur, el observatorio de Lando 1 tiene una mayor influencia mediterránea y por tanto mayor déficit hídrico y temperaturas más cálidas.

Ambos observatorios dependen de las precipitaciones a inicios de verano para su crecimiento por lo que si hay un déficit hídrico durante este periodo, los pinos silvestres verán condicionado su crecimiento notablemente. Además, en el caso de Lando 1, al tener un menor régimen de precipitaciones, su crecimiento no únicamente estará condicionado a inicios de verano, sino a su vez en primavera.

El mayor crecimiento del árbol a partir del aumento de las precipitaciones, tiene una influencia directa en cuanto a la producción de las piñas, tanto en el observatorio de Lacuaga como en el de Lando 1. Si las precipitaciones aumentan, el Pino silvestre

aumenta su crecimiento y esto le permite generar un mayor número de piñas no únicamente en el primer año, sino que el aumento de piñas se verá aumentado a partir del primer año en el caso de Uztarroz y Leire pero también a partir del segundo año en Leire. Si por tanto, un año es lluvioso, esto implicará que la producción de piñas aumentará durante los dos años siguientes. Mientras que en Lando 1 la producción de piñas será abundante durante dos de cada tres años si las precipitaciones son abundantes, en el caso de Lacuaga la producción de piñas será abundante una vez cada dos años en las mismas condiciones. Al haber un incremento en la producción de piñas debido a las precipitaciones producidas dos años antes en el caso de Leire, la productividad de los piquituertos en la zona aumenta.

Los resultados obtenidos sobre las variables de abundancia y reproducción de piquituertos y producción de piñas no han sido significativos y no se han podido obtener resultados directos en este aspecto, aunque de forma indirecta hemos podido observar como crecimiento y producción de piñas sí que se muestran fuertemente correlacionados. Para poder hallar unos resultados directos y robustos estadísticamente, sería necesario un mayor número de datos sobre la producción de las piñas, aumentando la serie de datos actual (compuesta por 8 años), al menos que alcance un periodo de 15 años, para observar al menos dos ciclos de creación de piñas, o de 20 años para poder tener unas series de las mismas duraciones.

A su vez, es necesario una mejora metodológica en cuanto al anillamiento de los piquituertos en ambas zonas debido a que, pese a ser utilizados los mismos métodos cada vez que se realizaba el proceso de conteo, éste no se ha realizado un mismo número de veces al mes, habiendo meses donde se han realizado varios conteo y otros que, por el contrario, no se han realizado ninguno.

Una reconstrucción de la variable climática de temperaturas medias sería de gran importancia para el trabajo para establecer si no únicamente hay una relación entre los piquituertos y la producción de piñas, sino además una correlación entre piñas y temperaturas producidas.

Demostrada la relación entre el crecimiento del Pino silvestre, la productividad de piñas y la reproducción de piquituertos, se aprecia como en un escenario de futuro las masas de Pino silvestre en España van a sufrir un retroceso, lo que conllevaría un problema en las poblaciones de piquituertos, concretamente en el periodo de 2071-2100.(Anexo 1)

Como complemento a este trabajo sería necesario realizar un estudio de otras poblaciones de piquituertos en distintas masas forestales de coníferas como de *Pinus halepensis*, mas dispersas y marginales, aunque al presentar áreas de distribución más variadas para el piquituerto común no se sabe qué resultados podrían ser hallados.

6-. Bibliografía

- ALONSO, D, ARIZAGA, J., 2005 Efecto de la edad, el sexo y el tiempo en la biometría del Piquituerto común (*Loxia curvirostra curvirostra*) en Navarra. *Munibe* 56: 133-144.
- ALONSO, D., ARIZAGA, J., 2011 Seasonal patterns of breeding, moulting, and body mass variation in Pyrenean Common Crossbills *Loxia curvirostra curvirostra* , *Ringing & Migration*, 26:1, 64-70.
- CLOUET, M. (2000) The breeding biology of the Common Crossbill *Loxia curvirostra* in the Central Pyrenees. *Bird Study* 47, 186–194.
- CRAMP, S. & PERRINS, C.M. (eds) (1994) *Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa. Volume VIII: Crows to Finches*. Oxford University Press, Oxford.
- GONZALEZ MARTINEZ, S.C., F. BRAVO (2001) Density and population structure of the natural regeneration of Scots pine (*Pinus sylvestris L.*) in the High Ebro basin (northern Spain) *Annals of Forest Sciences* (en prensa)
- GONZALEZ, J.M. 2006. Manual de gestión de los hábitats de pino silvestre en Castilla y León. Junta de Castilla y León. Consejería de medio ambiente
- LOIDI, J. & BASCONES, J. C. 1995. Memoria del mapa de series de vegetación de Navarra. Gobierno de Navarra. Pamplona.
- NOVAK, K, DE LUIS, M., RAVENTÓS, J., CUFAR, K. 2013. Climatic signals in tree-ring widths and Wood structure of *Pinus halepensis* in contrasted environmental conditions.
- MARTINEZ, F, 1999. Los bosques de *Pinus sylvestris* del Sistema Central español. Distribución, historia, composición florística y tipología. INIA. Madrid.
- NEWTON, I. 1972. Finches. Collins. London
- NEWTON, I. 2006. Movement patterns of Common Crossbills *Loxia curvirostra* in Europe. *Ibis* 148, 782–788.
- PERALTA, J., BASCONES, J.C., IÑIGUEZ, J. 1990. Bosques de la Sierra de Leyre (Navarra-Zaragoza, NE de España)

PODULKA, S.R., ROHRBAUGH, W. & BONNEY, R. (2004) Handbook of bird biology. Cornell Laboratory of Ornithology, New Jersey.

RUIZ DE LA TORRE J., 1979. Árboles y arbustos de la España peninsular. Sección de Publicaciones de la E.T.S.I.de Montes, Madrid: 512 pp.

SEMAR J.C., BORRÁS A. CABRERA T. & CABRERA J. 1993. Testing for the relationship between coniferous crop stability and common crossbill residence. J. Field Ornithol. 64: 464–469.

- Páginas Web utilizadas:

BANCO DE DATOS DE LA NATURALEZA. MAGRAMA:

<http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/>

DENDROCRONOLOGIA: <http://www.dendrocronologia.cl/cronosecuencias.html>

CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:

<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/busadorCatalogo.do>

CIFL: CENTRO DE INTERPRETACION DE LAS FOCES DE LUMBIER

<http://www.turismo.navarra.es/esp/organice-viaje/recurso.aspx?o=3048>

CLIMATE DATA: <http://es.climate-data.org/search/?q=isaba>

SEO BIRDLIFE :<http://www.seo.org/ave/piquituerto-comun/>

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE: <http://www.dendrocronologia.cl/>

- Organismos:

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA DE LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

SOCIEDAD DE CIENCIAS ARANZADI

7-. Anexos:

Ver documento adjunto