

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA AGRONÓMICA Y  
BIOCIENCIAS

NEKAZAL INGENIARITZAKO ETA  
BIOZIENTZIETAKO GOI MAILAKO  
ESKOLA TEKNIKOA



**BÚSQUEDA DE ALTERNATIVAS AL ALMACENAMIENTO TRADICIONAL  
DE AGUA DE ABREVADA EN LA SIERRA DE ARALAR**

Autor / Egilea:

Asier Gamboa Areta

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA  
UNIBERTSITATE MASTERRA NEKAZAL INGENIARITZAN**

Directora / Zuzendaria:

Rosa M<sup>a</sup> Canals Tresserras

Septiembre de 2023 / 2023ko Iraila



## AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a todas las personas que de una forma u otra me han apoyado en la realización de este TFM:

A mi tutora Rosa María Canals por apoyar la idea desde un principio y ayudarme a estructurarala;

A todas las personas implicadas en la Junta de Aralar que desde el principio me han dado todas las facilidades y el apoyo para llevar a cabo mi trabajo;

Arruazuko artzaiei, lehen eskutik mendia eta haren egoera erakusteagatik, baita nire galdera nekaezin guztiak erantzuteagatik;

Y por último, a toda la familia, amigos y amigas que me han apoyado y aguantado en un largo año de subidas y bajadas.

Mila esker guztioi.

Muchas gracias a todas.



## RESUMEN

En el año 2022 se vivió una situación de sequía prolongada acompañada de temperaturas excepcionalmente elevadas, que, en la Sierra de Aralar, provocó una situación de escasez de agua de abrevada de ganado. Según se ha podido calcular, esta situación provocó las mayores tasas de evaporación registradas desde el año 2013, con una evaporación potencial anual de 1.135,5 l/m<sup>2</sup>. Esta situación generó la necesidad de plantear nuevas infraestructuras de almacenamiento de agua de abrevada que sean capaces de mejorar la eficiencia en el almacenamiento, además de garantizar la calidad del agua de abrevada y proteger los hábitats acuáticos y sus poblaciones.

En el presente trabajo se plantean tres alternativas al almacenamiento tradicional de agua: captación en *txabolas* (diseñado específicamente para este TFM), aljibe, y balsa seca. Estos sistemas tienen las siguientes características comunes, que complementan las debilidades del sistema tradicional: 1) están basados en depósitos estancos que evitan la evaporación y la contaminación del agua almacenada, 2) aprovechan la captación de aguas pluviales (menos contaminadas), 3) disocian el agua de abrevada del resto de recursos hídricos, evitando contaminación de hábitats por parte del ganado y contaminación de agua de abrevada por parte de fauna salvaje. Además, el uso combinado de estos sistemas ofrece la posibilidad de generar una red de puntos de agua con una mejor distribución espacial que permita un aprovechamiento más homogéneo de los recursos pascícolas del monte.

**Palabras clave:** agua, captación, almacenamiento, evaporación, Aralar, balsa.

## ABSTRACT

In the year 2022, there was a prolonged drought accompanied by exceptionally high temperatures, which in the Aralar mountain range led to a shortage of livestock drinking water. As estimated, this situation resulted in the highest rates of evaporation recorded since 2013, with an annual potential evaporation of 1,135.5 l/m<sup>2</sup>. This situation prompted the need to propose new livestock drinking water storage infrastructures that can enhance storage efficiency, ensure water quality, and protect aquatic habitats and their populations.

This study presents three alternatives to traditional water storage methods: water collection in *txabolas* (specifically designed for this Master's thesis), *aljibe*, and dry ponds. These systems share the following common characteristics, which address the weaknesses of the traditional system: 1) They are based on watertight tanks that prevent evaporation and contamination of stored water, 2) They utilize the collection of rainwater (which is less contaminated), 3) They separate livestock drinking water from other water resources, preventing contamination of habitats by livestock and contamination of drinking water by wildlife. Furthermore, the combined use of these systems offers the possibility of creating a network of water points with a better spatial distribution, allowing for a more even utilization of grazing resources in the forest.

**Key words:** water, collection, storage, evaporation, Aralar, pond.

## LABURPENA

2022. urtean jasandako lehorte luzeak, temperatura bereziki altuen eskutik, Aralar mendilerroan abereek edateko ur eskasia eragin zuen. Kalkulatu ahal izan denez, egoera horrek 2013tik erregistratutako lurruntze-tasarik handienak eragin zituen, urtean 1.135,5 l/m<sup>2</sup>-ko lurruntze potentzialarekin. Egoera horrek ura biltzeko azpiegitura berriak proposatzeko beharra eragin zuen, uraren biltegitratzearen efizientzia hobetzeaz gain, bere kalitatea bermatzeko eta uretako habitatak eta haietan bizi diren populazioak babesteko gai direnak.

Lan honetan, uraren biltegitratze tradizionalaren hiru aukera proposatzen dira: txaboletako bilketa (TFM honetarako berariaz diseinatua), *aljibea* eta paltsa lehorra. Sistema horiek honako ezaugarri komunak dituzte, sistema tradizionalaren ahuleziak osatzen dituztenak: 1) biltegi itxietan oinarritzen dira, biltegitratutako ura lurruntzea eta kutsatzea saihesten dutenak; 2) euri-uren (kutsadura gutxiagokoak) biltegitratzea probesten dute; 3) abereendako ura gainerako ur-baliabideetatik bereizten dute, ganaduak uretako habitatak kutsa ez ditzan eta, aldi berean, animalia basatiek abereen edateko ura kutsa ez dezaten. Gainera, hiru sistema horien erabilera konbinatuak Aralarren ur-puntuen sare bat sortzeko aukera ematen du, mendian zehar hobeki banatutakoa, haren larre-baliabideen erabilera homogeneoagoa ahalbidetzen duena.

**Gako-hitzak:** ura, ur-bilketa, biltegitratzea, ebanporazioa, Aralar, paltsa.

## TABLA DE CONTENIDO

1	Antecedentes.....	3
2	Introducción.....	4
2.1	Sierra de Aralar. Características principales.....	4
2.1.1	Localización.....	4
2.1.2	Caracterización climática.....	4
2.1.3	Geología y Geomorfología.....	8
2.1.4	Hidrogeología.....	8
2.1.5	Fauna y hábitats protegidos.....	9
2.1.6	Ganadería.....	10
2.2	Disponibilidad actual de recursos hídricos en la Sierra Aralar.....	13
2.3	Calidad del agua.....	16
2.3.1	Estándares generales de calidad.....	16
2.3.2	Calidad del agua en la Sierra de Aralar.....	18
3	Objetivos.....	20
4	Material y métodos.....	20
5	Resultados y discusión.....	21
5.1	Sistema tradicional. Balsa superficial.....	22
5.2	Alternativa 1. Depósito anexo a <i>txabola</i> .....	24
5.3	Alternativa 2. Aljibe.....	26
5.4	Alternativa 3. Balsa seca y depósito.....	28
5.5	Sistemas para mejorar la calidad del agua.....	30
5.6	Discusión general.....	32
6	Conclusiones.....	33
7	Referencias.....	34

PLANOS

ANEXO 1

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores normales de temperaturas de la estación meteorológica de Aralar GN. (Gobierno de Navarra, 2023) .....	5
Tabla 2. Valores normales de precipitación y humedad de la estación meteorológica de Aralar GN. (Gobierno de Navarra, 2023) .....	6
Tabla 3. Valores meteorológicos registrados en 2022 en la estación de Aralar GN. En rojo, los valores comparativamente más desfavorables con respecto a los valores normales de la estación.....	7
Tabla 4. Cabaña ganadera entre los años 2017 y 2020. Datos obtenidos del Proyecto de Ordenación del Monte Aralar (POMA) (Basarteá, 2021). .....	11
Tabla 5. Cabañas ganaderas por especie en UGM. ....	11
Tabla 6. Requerimientos energéticos estimados en Unidades Forrajeras (UF) diarias y totales para cada tipo de ganado en Aralar (Basarteá, 2021). ....	12
Tabla 7. Consumo de agua por animal y día para cada tipo de ganado. ....	12
Tabla 8. Consumo de agua diario por tipo de ganado y total. ....	12

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zonificación de los tipos de climas encontrados en Navarra según la clasificación de Köpper. En rojo, la Sierra de Aralar. (Gobierno de Navarra, 2023) .....	5
Figura 2. Diagrama ombrotérmico de la estación meteorológica de Aralar GN. ....	6
Figura 3. Estado de la regata de Urlangoerreka en agosto de 2023. ....	13
Figura 4. Sumidero de la regata de Domingonecosare en septiembre de 2023. ....	14
Figura 5. Regata de Usula en septiembre de 2023. ....	14
Figura 6. Estado de la balsa de Unakoputzu en agosto de 2023. ....	15
Figura 7. Vista exterior de la balsa de Beloki, totalmente naturalizada, obtenida en agosto de 2023. ....	15
Figura 8. Estado de abrevadero existente en los rasos de Aralar, en agosto de 2023. ....	16
Figura 9. Cargas microbiológicas en el agua almacenada en balsas cercadas y sin cercar en primavera y verano. Fuente: (Canals et al., 2011) .....	19
Figura 10. Croquis de pozo de decantación (Purifica, 2015). ....	30
Figura 11. Croquis de filtro de arena (Purifica, 2015). ....	31



## 1 Antecedentes

La Sierra de Aralar, situada en la frontera entre Navarra y la provincia de Gipuzkoa, es una cadena montañosa que, debido a la gran extensión de pastos de la que dispone, está ligada a una larga tradición de pastoreo de ganado. Dada su proximidad al mar Cantábrico, se encuentra en una zona de clima templado y de elevadas precipitaciones que generan las condiciones propicias para la generación de un pasto de calidad.

En el año 2022 la sierra sufrió una sequía generalizada, registrándose elevadas temperaturas y muy bajas precipitaciones durante todo el periodo estival. Estas condiciones generaron una escasez en la disponibilidad de agua para consumo ganadero que, junto con la escasa productividad vegetal y la baja disponibilidad de alimento, provocó una coyuntura de riesgos sobre el bienestar animal y de disminución de la producción del ganado (bajo estado de carnes, abortos, baja fertilidad...).

Para poder hacer frente a dicha situación, se recurrió a suministrar agua al ganado de Aralar mediante cisternas y, finalmente, muchos ganaderos optaron por bajar sus rebaños a los pesebres de fondo de valle para poder garantizar su bienestar.

Cabe destacar que esta situación se enmarca en un contexto de cambio climático que, a pesar de que se desconozca su alcance real, cabe esperar que episodios como el vivido en 2022 sean cada vez más recurrentes, generando afecciones no sólo sobre los sistemas ganaderos, sino también sobre los diferentes hábitats naturales existentes.

Por lo tanto, el presente trabajo nace con la motivación de estudiar las diferentes posibilidades existentes para que, en una futura situación de sequía, se disponga de recursos hídricos suficientes para poder evitar la escasez de agua para consumo ganadero. Para ello, se estudiarán las características de la Sierra de Aralar, así como las diferentes opciones de captación y almacenamiento de agua existentes, considerando a su vez criterios como la calidad del agua o la compatibilidad con especies de fauna protegidas.

## 2 Introducción

### 2.1 Sierra de Aralar. Características principales

A continuación, se procede a la caracterización de la Sierra de Aralar, atendiendo a sus características climáticas, geológicas e hidrológicas, faunísticas, y a la ganadería existente:

#### 2.1.1 Localización

La Sierra de Aralar es un macizo rocoso situado en la zona limítrofe entre Navarra y Gipuzkoa que, dada su ubicación, ejerce de divisoria hidrográfica entre las cuencas vertientes al mar Cantábrico y las vertientes al Mediterráneo. En ella, se encuentra el Realengo de Aralar, es decir, el monte de utilidad pública, gestionado por la Unión de Aralar, constituida por representantes de cada una de las 19 entidades locales que la componen.

La sierra alcanza su máxima elevación en los picos de las Malloas, siendo el más alto de ellos el de Hirumugarrieta, con una altitud de 1.430 m. Bajo estos picos se encuentran los rasos de Aralar, a una altitud aproximada de 1.200 m y finalmente, a una altitud cercana a los 1.000 m se encuentran los rasos de Albi y la Casa Forestal de Guardetxe. Como coordenadas de referencia pueden tomarse las siguientes, correspondientes con la Casa Forestal de Guardetxe:

CRS: EPSG:25830                      x: 581.448                      y: 4.756.566

Existen dos accesos principales: desde Uharte Arakil, subiendo el puerto que da acceso al santuario de San Miguel de Aralar, y desde la localidad de Baraibar en el municipio de Larraun, tomando la carretera NA-7510, tal y como se muestra en el plano de situación citado.

En el *Plano nº 1* del presente documento se muestra la situación de la Sierra de Aralar, así como la delimitación del terreno perteneciente al Realengo de Aralar.

#### 2.1.2 Caracterización climática

##### Clasificación de Köppen:

La clasificación de Köppen, creada inicialmente en 1884 por Wladimir Köppen y posteriormente revisada por sí mismo en colaboración con Rudolf Geiger, es un sistema de clasificación climática utilizado para describir los diferentes tipos de climas de forma general y sencilla. De este modo, permite obtener una noción básica de las principales características climáticas (esencialmente temperatura y precipitación), que cabe esperar de una zona concreta.

La *Figura 1* muestra la zonificación de los tipos de clima encontrados en Navarra según la clasificación de Köpper, en la cual el marcador rojo señala la localización concreta de la Sierra de Aralar (Gobierno de Navarra, 2023). Cabe mencionar que, debido a la escasa altitud de las zonas montañosas que dividen la zona atlántica de la zona continental, en Navarra la transición entre el clima oceánico puro y el mediterráneo se produce de forma gradual, por lo que aparecen varios tipos climáticos de transición.



Figura 1. Zonificación de los tipos de climas encontrados en Navarra según la clasificación de Köpper. En rojo, la Sierra de Aralar. (Gobierno de Navarra, 2023)

Como puede observarse en la *Figura 1*, en la Sierra de Aralar, así como en la mayor parte de la región norte de Navarra, el tipo de clima encontrado, según la clasificación de Köpper, es el Clima Templado Marítimo de Costa Occidental (Oceánico). Se caracteriza por ser un clima templado de veranos frescos, con precipitaciones abundantes y bien repartidas durante todo el año y, aunque en Navarra las precipitaciones son mínimas en verano, no hay ningún mes seco. (Gobierno de Navarra, 2023):

Valores climáticos normales

A continuación, se muestran los valores normales esperables para los principales parámetros climáticos según la Ficha Climática de la estación meteorológica de Aralar (Latitud: 4756064; Longitud: 584480; Altitud: 1344 m; serie de datos: 1991-2022).

Comenzando por las temperaturas, la *Tabla 1* muestra los valores normales mensuales de los siguientes parámetros: Temperatura máxima absoluta, temperatura media de máximas, temperatura media, temperatura media de mínimas y temperatura mínima absoluta.

Se observa que, durante los meses estivales (junio, julio y agosto) pueden llegar a alcanzarse temperaturas extremas de algo más de 30 °C. No obstante, la media de las temperaturas máximas que pueden darse durante dichos meses no llega a los 20 °C. Por el contrario, aunque en los meses de enero y febrero se alcanzan temperaturas promedio por debajo de los 0 °C, todos los meses a excepción de julio y agosto, pueden registrar temperaturas extremas por debajo de los 0 °C, descendiendo hasta los -15 °C en los meses invernales de diciembre y febrero.

Tabla 1. Valores normales de temperaturas de la estación meteorológica de Aralar GN. (Gobierno de Navarra, 2023)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
<b>T max. Absoluta (°C)</b>	17.1	17.2	18.4	22.6	26.2	31.3	31.7	31.5	28.0	21.8	18.9	17.0	31.7
<b>T media de max. (°C)</b>	3.3	3.5	6.0	8.0	11.8	16.2	18.5	19.0	15.2	11.3	6.1	4.5	10.3
<b>T media (°C)</b>	0.9	1.0	3.0	4.7	8.2	12.2	14.2	14.8	11.7	8.5	3.9	2.2	7.1
<b>T media de min. (°C)</b>	-1.2	-1.3	0.4	1.8	5.0	8.5	10.4	11.1	8.8	6.1	1.8	0.1	4.3
<b>T min. Absoluta (°C)</b>	-12.3	-15.0	-14.5	-7.5	-4.5	-0.9	2.7	4.0	-0.2	-7.2	-9.5	-14.5	-15.0

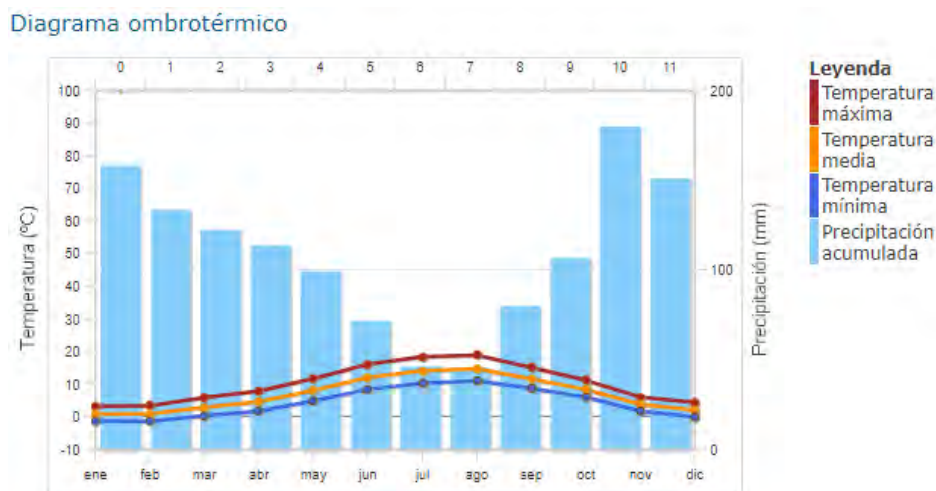
En cuanto a la precipitación, tal y como se ha mencionado previamente se trata de un clima de abundantes precipitaciones distribuidas a lo largo de todo el año. Como se observa en la *Tabla 2*, la precipitación media anual de la Sierra de Aralar es de 1.310,8 mm, destacando el mes de noviembre como el mes más lluvioso (180,3 mm de media). Cabe mencionar que, desde el mes de octubre hasta el mes de abril, ambos incluidos, la precipitación media mensual supera los 100 mm. En cuanto a los meses de verano, coinciden con la época de menor precipitación, descendiendo la precipitación media hasta los 46,4 mm y 45,9 mm en los meses de julio y agosto.

En cuanto a la humedad relativa (HR), cabe destacar que durante todo el año alcanza un valor máximo muy cercano al punto de rocío (100%), por lo que puede observarse como la HR media máxima se mantiene prácticamente estable a lo largo del año. Esto supone que, al descender las temperaturas durante la noche, el aire llega a saturarse de humedad, condensándose sobre la vegetación de pasto y cubriéndola de rocío. Por el contrario, se observan mayores variaciones en la HR media mínima, la cual adquiere niveles más bajos durante los meses estivales, debido a que con el aumento de las temperaturas la saturación del aire disminuye.

*Tabla 2. Valores normales de precipitación y humedad de la estación meteorológica de Aralar GN. (Gobierno de Navarra, 2023)*

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
<b>P media (mm)</b>	158.8	133.6	122.2	113.9	99.0	71.6	46.4	45.9	80.4	107.1	180.3	151.5	1310.8
<b>HR media máx. (%)</b>	96.0	95.5	94.4	95.1	93.8	94.2	95.5	93.9	95.3	95.3	96.8	95.1	95.1
<b>HR media (%)</b>	87.8	86.9	84.2	83.9	81.4	79.9	80.8	79.1	82.1	85.2	89.6	86.7	84.0
<b>HR media mín. (%)</b>	73.7	73.4	68.2	66.3	63.4	59.7	58.4	57.2	62.1	68.4	76.8	72.8	66.7

Si se analizan combinadamente los valores normales de temperatura y de precipitación, se obtiene el diagrama ombrotérmico que se muestra en la *Figura 2*. A grandes rasgos, dicho diagrama muestra como los meses de mayor temperatura coinciden con los meses en los que menor es la precipitación media acumulada. Además, tal y como se ha mencionado previamente, dichos meses coinciden con un descenso en la saturación del aire a lo largo del día, lo cual permite a su vez que la tasa de evapotranspiración aumente, generándose unas mayores pérdidas de agua.



*Figura 2. Diagrama ombrotérmico de la estación meteorológica de Aralar GN.*

### Valores registrados en 2022

Comentados los valores climáticos promedio, se procede a describir brevemente los valores registrados durante el año 2022, a la par que se comparan dichos valores con los normales obtenidos de la ficha climática.

Cabe destacar que, dada la naturaleza del estudio que se pretende realizar, se centrará la comparación en los meses de primavera y verano, siendo estos en los que se produce el pastoreo de ganado, y en los que se da el principal crecimiento de los pastos que lo alimentan.

En la *Tabla 3* se muestran los valores registrados en 2022, mostrándose en rojo los valores comparativamente más desfavorables (más elevados en el caso de Tª y menores en el caso de P y HR).

*Tabla 3. Valores meteorológicos registrados en 2022 en la estación de Aralar GN. En rojo, los valores comparativamente más desfavorables con respecto a los valores normales de la estación.*

Parámetro	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual
T media (°C)	2,4	3,5	3,2	4,5	11,7	15,4	17,1	17,7	12,7	13,2	6,0	4,0	9,3
T med. Máx. (°C)	5,3	6,7	5,6	7,3	15,4	20,1	21,4	22,2	16,4	16,1	8,7	5,9	12,6
T med. Mín. (°C)	-0,2	0,3	1,0	2,2	8,2	11,3	13,2	13,7	9,6	10,7	3,5	2,3	6,3
HR med. (%)	69,1	82,9	88,8	89,7	76,5	73,9	72,8	74,2	78,4	74,2	86,0	93,3	80,0
HR máx. (%)	85,5	97,8	97,8	98,6	90,2	95,2	86,7	92,6	95,9	88,3	98,3	99,6	93,9
HR mín. (%)	48,9	63,4	73,4	73,6	63,0	47,7	50,2	50,8	58,1	55,6	66,8	77,6	60,8
P acumulada (mm)	171,3	41,1	130,2	134,1	21,7	34,1	22,5	26	82,3	25,3	186,4	62,7	937,7

Comenzando por la precipitación, en un primer vistazo puede observarse como la precipitación anual fue considerablemente menor a la media de los históricos de la estación, registrándose una disminución de más de 350 mm anuales. En este sentido, si bien los meses invernales presentaron valores cercanos o superiores a la media (a excepción de febrero), durante los meses de primavera (principalmente en mayo) y a lo largo del verano, se registraron valores muy inferiores a los normales.

En cuanto a las temperaturas registradas, puede observarse como prácticamente a lo largo de todo el año se registraron temperaturas superiores a las normales, subida que se acentuó nuevamente a partir del mes de mayo y que se mantuvo hasta finales de año, dando lugar a una primavera, verano y otoño especialmente cálidos.

Finalmente, analizando los valores de humedad relativa registrados, puede verse como a grandes rasgos, se registraron valores de HR menores a los normales a partir del mes de mayo (a excepción de las HR máximas de junio y septiembre). Esta disminución pudo deberse a que, por un lado, la disminución de las precipitaciones conllevó una disminución general de la humedad del suelo, y por otro lado el incremento de temperaturas aumentó el punto de saturación del aire, de manera que ambos factores pudieron generar una disminución de la humedad relativa.

En resumen, comparando los valores climáticos registrados en el año 2022 con los valores normales históricos de la estación meteorológica de Aralar GN, se observa una disminución de la precipitación anual acumulada (especialmente a partir del mes de mayo) unida a un aumento generalizado de las temperaturas. Ambos factores combinados, generan, por un lado, una disminución en la producción del pasto, además de un aumento en la tasa de evapotranspiración que acelera el agostamiento del pasto existente, dando lugar a un contexto de escasez de agua y de falta de alimento para consumo ganadero.

### 2.1.3 Geología y Geomorfología

Se trata de una formación de doble anticlinal con cabalgamiento producida por la orogénesis pirenaica (Elóstegui et al., 1980).

Litológicamente hablando, está compuesta por una sucesión de rocas de edad Mesozóica, entre las cuales pueden encontrarse margas, arenas y areniscas, arcillas y principalmente, diferentes tipos de calizas (margocalizas, calizas arenosas, calizas arrecifales...). Esta composición predominantemente caliza, juega un importante papel en la formación geomorfológica de la Sierra de Aralar, dado que, al entrar en contacto con el agua de lluvia, el carbonato cálcico existente en la caliza se disuelve, generándose una erosión progresiva que da lugar a la formación de una serie de cavidades, tales como galerías, simas o cuevas, que finalmente forman la conocida como formación Kárstica o Karst (Geolodia, 2012).

En un paisaje kárstico pueden encontrarse diferentes tipos de formaciones dependiendo del área en el que se han desarrollado, las cuales pueden dividirse en formaciones endokársticas, aquellas que se desarrollan en el interior del karst, y formaciones exokársticas, las cuales se corresponden con formaciones más superficiales o cutáneas. Entre las principales formaciones exokársticas, pueden destacarse el lapiaz (morfologías de pequeñas dimensiones sobre roca desnuda) o dolinas (depresiones superficiales en forma circular o elíptica de hasta 1 km de diámetro). Por el contrario, el endokarst está formado por cuevas o cavidades kársticas, las cuales pueden definirse como “conductos formados por disolución, de un tamaño mayor a 5-15 mm de diámetro o sección, que se extiende, de forma continua, desde los puntos de entrada de agua subterránea a los puntos de salida” (Andreu et al., 2016).

En el caso de la Sierra de Aralar, las abundantes formaciones exokársticas y endokársticas, asociadas a la elevada pluviometría de la zona, ocasionan una amplia actividad de capturas hipógeas de aguas pluviales, que hacen que la propia formación kárstica actúe como zona endorreica en la divisoria de las cuencas Cantábrico-Ebro (Ugarte, 2006). Es decir, debido a las formaciones exokársticas existentes, las aguas pluviales son absorbidas por infiltración siendo posteriormente almacenadas en cavidades endokársticas, dando lugar a amplios acuíferos subterráneos.

### 2.1.4 Hidrogeología

Atendiendo a la hidrogeología de Aralar, se estima que los acuíferos existentes en el sistema kárstico almacenan una cantidad superior a los 500 hm<sup>3</sup> de agua, la cual se recarga mediante infiltración directa de aguas pluviales (principalmente en invierno y primavera) y descarga mediante una serie de manantiales. En este sentido, los principales acuíferos de la parte navarra del sistema hidrogeológico de Aralar son los siguientes (Gestión Ambiental de Navarra, 2015):

- Acuífero de Iribas, con una superficie de cuenca de 68 km<sup>2</sup> (incluye al acuífero de Aitzarrateta);
- Acuífero de Irañeta, con una superficie de cuenca de 23 km<sup>2</sup>;
- Otros acuíferos de menor importancia, con superficie total de 59 km<sup>2</sup> y que drenan por la zona de Lizarrusti, Intza, etc.

Estos acuíferos descargan sus aguas por medio de una serie de manantiales, entre los cuales pueden destacarse el de Urruntzure en Irañeta y el de Ertzilla y Larraun en Iribas, que en su mayoría drenan al río Arakil y al Río Larraun en la cuenca del Ebro, y a las afluentes de Oria en la cuenca Norte.

Sin embargo, son pocos los elementos hidrográficos superficiales naturales que pueden encontrarse en la Sierra de Aralar. Esto se debe a que las aguas pluviales, a pesar de la elevada pluviometría, en la mayoría de los casos son infiltradas en el sistema kárstico, discuriendo subterráneamente sin generar cauces de escorrentía ni balsas de almacenamiento superficial. Por lo tanto, los casos en los que el agua discurre superficialmente son muy concretos y se deben a

afloramientos de materiales de tipo margas. Ejemplo de ellos son las regatas de Usula y Unaga en el Monte Aralar, así como la balsa natural de Unakoputzua (Gestión Ambiental de Navarra, 2015).

Más allá de los elementos hidrográficos naturales, pueden encontrarse varias infraestructuras de almacenamiento y suministro de agua artificiales empleadas para el consumo ganadero, las cuales se comentarán en el apartado 2.3. Cabe destacar que, debido a la antigüedad de dichas infraestructuras, varias han sido naturalizadas y albergan una serie de hábitats de interés para especies de anfibios, tal y como se analizará más adelante.

### 2.1.5 Fauna y hábitats protegidos

La Sierra de Aralar constituye en sí misma una de las Zonas de Especial Conservación incluidas en la Red Natura 2000, por la cual se establecen una serie de zonas de conservación a las cuales se les aplica un régimen especial con un Plan de Gestión específico en el que se recogen las medidas de conservación necesarias para el “mantenimiento o el restablecimiento, en un estado de conservación favorable, de los hábitats naturales y de las poblaciones de las especies”, tal y como se recoge en la memoria justificativa de la declaración de la Sierra de Aralar como ZEC.

Una de las principales razones para la declaración de dicha zona como ZEC es la gran biodiversidad faunística que se puede encontrar en ella, la cual cuenta con un gran valor ambiental y en ocasiones, se encuentra amenazada por la alteración de los entornos que habitan. Entre los diferentes tipos de especies protegidas, se encuentran varias especies de invertebrados, diferentes especies de peces (principalmente ligadas a los cauces derivados de los diferentes manantiales en las cotas más bajas de la Sierra), varias especies de aves ligadas a hábitats forestales y de roquedos, una cantidad significativa de especies de reptiles y anfibios, y varias especies de murciélagos asociadas a la gran cantidad de cuevas existentes en la zona.

#### Anfibios y reptiles:

Entre todas ellas, cabe destacar la presencia de especies y hábitats protegidos de anfibios, por ser los que mayor relación presentan con respecto a los recursos hidrográficos estudiados en el presente documento.

Así pues, la ZEC Sierra de Aralar constituye un espacio de gran importancia para la conservación de reptiles y anfibios, pudiendo encontrarse en ella el 60% de las especies de reptiles y el 73 % de las especies de anfibios presentes en Navarra (Gestión Ambiental de Navarra, 2015). Entre dichas especies, en esta área se encuentran las siguientes especies incluidas en las categorías de amenazas de especies de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza):

- **Especies En Peligro:** Rana ágil (*Rana dalmatina*)
- **Especies Vulnerables:** Tritón alpino (*Tritus alpestris*) y Rana patilarga (*Rana ibérica*)
- **Especies Casi Amenazadas:** Lagartija de turbera (*Lacerta vivípara*)
- **Especies Endémicas:** se encuentran 4 especies más endémicas de la península Ibérica.

Estas especies habitan los humedales y las diferentes zonas de almacenamiento de agua, ya sean naturales o artificiales, que se encuentran en la Sierra de Aralar. Entre los diferentes hábitats encontrados, destacan las balsas y humedales encontradas en el entorno de Unakoputzua y Beloki, así como las regatas de Unaga y Usula, mencionadas previamente.

Tal y como se ha mencionado previamente, los recursos hidrológicos superficiales de la Sierra de Aralar son reducidos y muy aislados. Por lo tanto, el estado de conservación de los hábitats en los que se encuentran las citadas especies de anfibios resulta altamente dependiente del estado en el que se encuentran dichos recursos. En este sentido, factores como la contaminación de las aguas superficiales o la sequía, la cual disminuye el volumen de agua aumentando la concentración de contaminantes, pueden generar afecciones importantes a las poblaciones de anfibios que las habitan.

No obstante, cabe mencionar que, según se recoge en la 6ª revisión del Proyecto de Ordenación del Monte Aralar (POMA), en 2018 la Sociedad de Ciencias Aranzadi realizó un estudio de la situación del Tritón alpino en toda la ZEC comparándola con los datos observados en un estudio similar en el año 2004, en el cual se recoge que no existen diferencias significativas con respecto a los muestreos realizados en 2004, por lo que puede considerarse que dicha población se encuentra estabilizada (Basarteá, 2021).

#### Fauna salvaje:

Más allá de las especies protegidas que se incluyen en el régimen de conservación del Plan de Gestión de la ZEC, existen distintas especies de fauna salvaje que, de diferentes formas, tienen interacción con los recursos hídricos disponibles en la Sierra de Aralar.

El jabalí (*Sus scrofa*) y el corzo (*Capreolus capreolus*) son los mamíferos que presentan una mayor interacción con los recursos hídricos y el ganado. Si bien su presencia es conocida en la zona, no existen estudios que permitan una cuantificación de las poblaciones de dichas especies en el Monte Aralar (Basarteá, 2021). Además, pueden encontrarse otras especies de mamíferos de menor tamaño, tales como la marta (*Martes martes*), el zorro (*Vulpes vulpes*) o diferentes especies de roedores. No obstante, los humedales y diferentes infraestructuras hídricas existentes en la zona sirven a menudo de zona de abrevada para dichas especies, lo cual puede entrar en conflicto, por un lado, con la conservación de los hábitats de anfibios debido a la posible contaminación de los humedales y, por otro lado, con la calidad del agua de consumo ganadero, por la posible transmisión de enfermedades (se tratará más adelante).

Por otro lado, existe una gran variedad de aves autóctonas (p.e. becada o chotacabras europeo) o migratorias (p.e. paloma), que al igual que las especies citadas anteriormente, hacen uso de los humedales existentes como zonas de descanso o de abrevada. Existen también diferentes especies de aves rapaces, tanto relacionadas a zonas boscosas como a roquedos, que habitan el monte Aralar, tales como milanos (*Milvus migrans* y *M. milvus*), el águila calzada (*Hieraaetus pennatus*), el águila culebrera (*Circaetus gallicus*), el quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*) o aves carroñeras como el buitre leonado (*Gyps fulvus*), entre otros.

### 2.1.6 Ganadería

En el Monte de Aralar existe una larga tradición ganadera que ha estado históricamente ligada al modelado y gestión de su paisaje. Hoy en día, existen aproximadamente 1.033,1 has pascícolas en el Realengo de Aralar (Monte de Utilidad Pública), las cuales son aprovechadas por los diferentes tipos de ganado. En este sentido, el aprovechamiento y el manejo del ganado varía dependiendo de la especie, existiendo los siguientes tipos de ganado y gestión del mismo (Basarteá, 2021):

- **Ganado Equino:** se trata del tipo de ganado que más tiempo permanece en los pastos montanos de Aralar, comenzando su subida a pastos a principios de mayo (dependiendo de las fechas de partos) y pudiendo permanecer en ellos hasta la primera nevada a finales del otoño.
- **Ganado Bovino:** al igual que en el caso del equino, comienzan a subir a los pastos de montaña a partir de mayo, permaneciendo en ellos hasta finales de agosto o principios de septiembre, época en la que se bajan a los pastos comunales de fondo de valle.
- **Ganado Ovino:** en el caso del ovino existen dos tipos de manejos: el primero de ellos consiste en subir las ovejas a finales de abril o principios de mayo, subiendo inicialmente las ovejas secas y corderas, y posteriormente las ovejas en ordeño tras finalizar la campaña. El segundo consiste en alargar el ordeño hasta mediados o finales de junio, momento en el que las ovejas accederán a los pastos de montaña. En ambos tipos de manejo, los rebaños permanecerán en los pastos hasta mediados de octubre aproximadamente, momento en el que son llevadas al fondo del valle.



Por lo tanto, tal y como se ha observado, el pastoreo en el Monte Aralar se realiza de manera estacional, comenzando a principios del mes de mayo y prolongándose como máximo hasta las primeras nevadas a finales de otoño.

Censos ganaderos:

En la *Tabla 4* se muestran los censos de la cabaña ganadera existente en Aralar entre los años 2017 y 2020, tanto en número de animales como en número de explotaciones.

*Tabla 4. Cabaña ganadera entre los años 2017 y 2020. Datos obtenidos del Proyecto de Ordenación del Monte Aralar (POMA) (Basarteá, 2021).*

Año	Equino	Nº exp. Equino	Vacuno	Nº exp. Vacuno	Ovino	Nº exp. Ovino
2017	660	43	260	6	6471	20
2018	612	41	277	9	6177	21
2019	704	44	255	8	5510	20
2020	720	46	283	7	6011	22

Atendiendo al número de explotaciones, puede observarse como el tipo de ganado mayoritario es el ganado equino, el cual muestra una clara tendencia ascendente en cuanto a número de ganaderos se refiere. Las explotaciones de ganado ovino serían las segundas más relevantes en cantidad, con un número de explotaciones relativamente estabilizado, siendo finalmente las explotaciones de ganado vacuno las que se encuentran en menor medida, las cuales muestran una tendencia de censos y explotaciones variable a lo largo de estos cuatro años.

En cuanto al número de animales de cada tipo de ganado, resulta conveniente realizar la conversión a Unidades de Ganado Mayor (UGM) para poder comparar la relevancia de las cabañas ganaderas por especie. Para ello, se ha tomado como referencia el Decreto Foral 26/2022, de 30 de marzo, en el cual se establecen unas unidades equivalentes de 0,8 UGM por animal adulto reproductor equino, 0,8 UGM por vaca adulta de carne y 0,1 UGM por ovino reproductor adulto. En la *Tabla 5* se muestran las cabañas ganaderas por especie en UGM.

*Tabla 5. Cabañas ganaderas por especie en UGM.*

Año	Equino (UGM)	Vacuno (UGM)	Ovino (UGM)
2017	528	208	647
2018	489	221	617
2019	563	204	551
2020	576	226	601

Por lo tanto, analizando la cabaña ganadera de cada una de las especies, se observa que, a diferencia de lo observado en el número de explotaciones, es la especie ovina la que presenta una mayor relevancia, seguida de la especie equina, la cual, tal y como se ha comentado previamente, presenta una tendencia ascendente. Esta relevancia se ve reflejada en la demanda de pasto estimada para cada especie en el propio POMA, en el cual se recogen las unidades forrajeras (UF) demandadas por animal y especie a lo largo del periodo de pastoreo (*Tabla 6*).

Tabla 6. Requerimientos energéticos estimados en Unidades Forrajeras (UF) diarias y totales para cada tipo de ganado en Aralar (Basartea, 2021).

Tipo ganado	Nº cabezas	UF/día	Nº días	Tota
Equino	720	5,4	150	583.200
Vacuno	283	6,4	130	235.456
Ovino	6.011	1	150	901.650
<b>TOTAL</b>				<b>1.720.306</b>

Demanda de agua:

La ingesta de agua que puede demandar un animal en régimen de pastoreo depende de una gran cantidad de variables tales como la edad, tamaño y raza del animal, variables meteorológicas, disponibilidad de sombra, disponibilidad y tipo de pasto o alimento, etc.. Esto dificulta el cálculo de la demanda de agua que puede requerir una determinada cabaña ganadera (Sun et al., 2014).

No obstante, a continuación se realiza una estimación del consumo de agua del ganado que pastorea en Aralar, teniendo en cuenta, 1) el consumo de agua por kg de materia seca (MS) ingerida de cada tipo de ganado (García, 2020), 2) los requerimientos energéticos en UF para cada especie animal (Basartea, 2021) y 3) los valores estimados de MS y UF de los pastos permanentes (INRA, 2010). Los resultados de los consumos de agua estimados se muestran en la *Tabla 7* (consumo por animal) y en la *Tabla 8* (consumo total por tipo de ganado).

Cabe mencionar que, en el caso del ganado equino, debido a la falta de datos se le presupone un consumo de agua por dieta similar al del ganado vacuno.

Tabla 7. Consumo de agua por animal y día para cada tipo de ganado.

Tipo ganado	UF/día	UF/kg MS	kg MS/día	l/kg MS	l/día
Equino	5,4	0,96	5,63	4,5	<b>25,3 l</b>
Vacuno	6,4	0,96	6,67	4,5	<b>30,0 l</b>
Ovino	1	0,96	1,04	2,5	<b>2,6 l</b>

Tabla 8. Consumo de agua diario por tipo de ganado y total.

Tipo ganado	Nº cabezas	l/animal·día	total l/día	Total l
Equino	720	25,3	18.225 l	2.733.750 l
Vacuno	283	30,0	8.490 l	1.103.700 l
Ovino	6011	2,6	15.654 l	2.348.047 l
<b>TOTAL</b>			<b>42.369 l</b>	<b>6.185.497 l</b>

Por lo tanto, el consumo de agua diario en el momento de máxima demanda (considerando que todo el ganado se encuentra en los pastos al mismo tiempo), es aproximadamente de 42.369 litros. En cuanto a las necesidades de agua estimadas para el total de la temporada de pastoreo, se estima una cantidad total de 6.185 m<sup>3</sup> de agua, siendo el ganado equino el que mayor cantidad demanda. Es importante destacar que este último dato es una estimación sobredimensionada, debido a que no todo el ganado permanece en el monte durante toda la temporada, además de que parte de las necesidades hídricas de los animales se satisfacen por medio de la materia fresca que consumen, así como por el rocío que se forma por las mañanas.

### Infraestructuras ganaderas existentes:

Las infraestructuras ganaderas más reseñables son las *txabolas* pastoriles, el baño antiparasitario y los abrevaderos existentes. Las *txabolas* pastoriles son pequeñas viviendas ubicadas en el monte empleadas por los ganaderos durante la temporada en la que el ganado pasta los rasos de Aralar. Estas *txabolas* a menudo disponen de cercos para recoger al ganado, ya sea por las noches o en momentos puntuales y toman el agua bien de una surgencia o fuente cercana o bien del propio tejado. En total, existen 34 *txabolas* en la Sierra de Aralar, de las cuales 22 se encuentran en uso actualmente (Basarteá, 2021).

Por otro lado, los rasos de Aralar cuentan con una zona destinada a la desparasitación del ganado. Se trata de un pequeño cerco con una manga de manejo y una pequeña infraestructura para realizar el baño antiparasitario. Esta desparasitación se realiza habitualmente a mediados del mes de julio y tiene como objetivo prevenir enfermedades como la sarna ovina, causada por el ácaro *Psoroptes ovis*.

En cuanto a las infraestructuras de abrevada, en la Sierra de Aralar existen una serie de abrevaderos y balsas que se comentarán detalladamente en el siguiente apartado.

En el 'Plano nº2. Infraestructuras ganaderas' del presente documento se muestra la ubicación de las infraestructuras en la Sierra de Aralar.

## 2.2 Disponibilidad actual de recursos hídricos en la Sierra Aralar

A la hora de clasificar los recursos hídricos actualmente disponibles en la Sierra de Aralar, se pueden dividir entre recursos naturales y recursos artificiales (infraestructuras ganaderas). Comenzando por los recursos naturales, en la Sierra de Aralar se encuentran las siguientes regatas y humedales:

- **Regata de Urlangoerreka:** se trata de una regata de cauce permanente cuyo origen parte de dos fuentes existentes en los montes Beloki y Txorrotxeta, para posteriormente sumirse bajo tierra al encontrarse con una dolina unos 500 m más abajo. Es habitual que el ganado menor acuda a esta regata para abrevar, sin embargo, en años de sequía en los que los abrevaderos cercanos llegan a secarse, el ganado mayor también acude a esta regata en busca de agua. El pisoteo de un mayor número de animales genera un gran impacto y ocasiona el embarramiento de la regata. Cabe destacar que se trata de una regata que alberga poblaciones de anfibios.



Figura 3. Estado de la regata de Urlangoerreka en agosto de 2023.

- **Regata de Domingonekosare:** se trata de una regata de cauce permanente. Puede constituir una zona de abrevada para ganado menor, no obstante, actualmente las zonas colindantes se

encuentran cubiertas por vegetación arbustiva y extensos helechales que dificultan el acceso del ganado.



Figura 4. Sumidero de la regata de Domingonecosare en septiembre de 2023.

- **Frantseserreka:** se trata de un cauce superficial permanente existente en la zona más oriental de la Sierra de Aralar. Al igual que las anteriores, constituye una zona de abrevada para el ganado menor, siendo menos habitual su uso por parte del ganado mayor, el cual tiende a emplear abrevaderos artificiales.
- **Regatas de Unaga y Usula:** se trata de dos cauces permanentes existentes en los rasos de Aralar, cuyas aguas se sumen bajo tierra al toparse con zonas de lapiáz. Ambas pueden constituir zonas de abrevada, especialmente en periodos en los que los abrevaderos cercanos carecen de agua.



Figura 5. Regata de Usula en septiembre de 2023.

- **Unagako putzua (Unakoputzu):** se trata de una balsa permanente ubicada en los rasos del monte Aralar. Dicha balsa es recargada por la regata de Usula, y es un sumidero por el cual el agua es filtrada a los acuíferos subterráneos de Aralar. En los alrededores de la balsa existen dos humedales más, no obstante, ambos llegan a secarse durante el periodo estival. La balsa de Unaga tiene una superficie aproximada de 957 m<sup>2</sup> y actualmente se encuentra cercada para evitar el acceso del ganado a la misma, previniendo así la contaminación de fecales y la degradación de la balsa.

Además, la balsa alberga varias especies, tanto vegetales como animales, de interés que actualmente se encuentran protegidas, tales como diferentes especies de anfibios y de plantas hidrófitas.



Figura 6. Estado de la balsa de Unakoputzu en agosto de 2023.

En cuanto a las infraestructuras hídricas ganaderas disponibles, se encuentran las siguientes:

- **Balsa de Beloki:** se trata de una balsa artificial construida bajo la ladera norte del monte Beloki. Su vaso está impermeabilizado mediante lámina de EPDM, y tiene aproximadamente 500 m<sup>2</sup> de superficie, de manera que cuenta con una capacidad cercana a los 1000 m<sup>3</sup>. En la actualidad se encuentra rodeada de vegetación en todo su perímetro, además de servir de hábitat para diferentes poblaciones de anfibios como de vegetación hidrófita, por lo que se encuentra totalmente naturalizada. Actualmente existen dos abrevaderos vinculados a esta balsa.



Figura 7. Vista exterior de la balsa de Beloki, totalmente naturalizada, obtenida en agosto de 2023.

- **Depósito enterrado:** cercano al baño antiparasitario, existe un depósito enterrado con capacidad para aproximadamente 20 m<sup>3</sup> cuya función principal es la de abastecer las necesidades de agua para realizar el baño antiparasitario del ganado. No obstante, en años de sequía ha llegado a emplearse como depósito auxiliar para abrevada de ganado.
- **Abrevaderos:** en la Sierra de Aralar existen actualmente un total de 10 abrevaderos construidos para el abastecimiento del ganado. Se trata de construcciones de hormigón, de aproximadamente

5-6 m de largo y 1 m de ancho, vinculadas a depósitos enterrados que son recargados mediante fuentes de aguas subterráneas, a excepción de los dos abrevaderos vinculados a la balsa de Beloki. Estos abrevaderos son mayormente utilizados por el ganado mayor, dado que el ganado menor a menudo tiende a abrevar en pequeños cauces superficiales.



Figura 8. Estado de abrevadero existente en los rasos de Aralar, en agosto de 2023.

En el 'Plano nº 3. Recursos hídricos' del presente documento se muestra la localización de los diferentes recursos hídricos existentes en la Sierra de Aralar.

## 2.3 Calidad del agua

A la hora de considerar la disponibilidad de agua de abrevada para el ganado, no solo debe considerarse en un sentido cuantitativo, sino que es crucial conocer los aspectos cualitativos del agua disponible.

### 2.3.1 Estándares generales de calidad

El consumo de un agua que no cumpla con los estándares de calidad adecuados puede ser el origen de una serie de problemas de bienestar animal, o incluso de bioseguridad y seguridad alimentaria. Por lo tanto, de cara a valorar la calidad del agua, se diferencian dos aspectos principales: la calidad fisicoquímica y la microbiológica. Generalmente, los riesgos asociados a parámetros microbiológicos presentan efectos patógenos más graves que los asociados a parámetros fisicoquímicos (ELIKA, 2012).

#### 2.3.1.1 Parámetros microbiológicos

La contaminación microbiana del agua tiene su origen en fuentes de materia orgánica existentes en la misma, pudiendo diferenciarse, por un lado, las fuentes de origen animal (principalmente contaminación fecal) y por otro lado, las de origen vegetal (principalmente algas).

La presencia de contaminaciones fecales se da principalmente en aguas estancadas o en entornos en los que existen sistemas extensivos de pastoreo de ganado en convivencia con animales salvajes. En este sentido, los principales microorganismos que pueden encontrarse son los siguientes, según la Fundación Vasca para la Seguridad Alimentaria (ELIKA, 2012):

- Bacterias coliformes (p.e. *Escherichia coli*): su presencia en agua de bebida se asocia a contaminaciones fecales y está considerada inadmisibles, ya que puede dar lugar a la aparición de gérmenes como la *Salmonella* o la *Shingella*.

- Enterococos: se trata de bacterias anaerobias que, al igual que las coliformes, su presencia se asocia a las excreciones fecales de animales de sangre caliente, siendo su presencia en el agua de abrevada inadmisibles.
- Clostridium perfringens: se trata de bacterias anaerobias su presencia en aquellos casos en los que se encuentre junto a bacterias coliformes o enterococos sirve para confirmar la presencia de contaminaciones fecales. En aguas tratadas, debido a la formación de esporas, puede aparecer sin suponer un riesgo para la salud.

En cuanto a la presencia de algas en los almacenamientos de agua, pueden ser síntoma de un exceso de N o P en el agua, así como de zonas de estancamiento previas al almacenamiento, provocando diferentes tipos de problemas, desde el taponamiento de conducciones de agua y de filtros, hasta alteración de las características organolépticas del agua (variaciones en el olor, color, sabor o turbidez) que la hagan menos apetecible para el ganado. Además, pueden generar liberaciones de toxinas, conocidas como cianotoxinas, cuya presencia resulta difícil de eliminar debido a su resistencia a los tratamientos de agua.

Por último, existen otras bacterias patógenas que deben tenerse en cuenta, tales como la *Legionella*, *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio*, *Yersinia* y algunos virus como el Adenovirus, Enterovirus o Rotavirus.

Cabe mencionar que, a pesar de que no existe legislación específica para las condiciones de calidad de agua para consumo animal, deberían asumirse estándares similares a los exigidos para el consumo humano.

#### 2.3.1.2 Parámetros fisicoquímicos

Los principales parámetros fisicoquímicos a considerar, según ELIKA, son los siguientes (ELIKA, 2012):

- Turbidez: Se produce por partículas en suspensión en el agua, como arcillas, tierra... La turbidez no tiene efectos nocivos directos para el organismo animal, pero reduce la eficiencia de los tratamientos, ya que las partículas causantes de la turbidez protegen a los microorganismos.
- Color: Puede estar relacionada con la turbidez o no. Si el agua tiene un color pardo será causado por sustancias húmicas, hojas...; si el color es verde, por fitoplancton y/o clorofíceas; si es rojizo o pardo, por sales de hierro; y si es amarillento, por macizos no calcáreos.
- pH: En general el nivel de acidez del agua no tiene una incidencia directa en la salud de los animales, pero sí en la eficacia de tratamientos administrados en el agua de bebida o en las superficies de contacto, como las tuberías. Se considera que los valores adecuados de pH se encuentran en un rango de entre un 6,5 y un 8,5.
- Amonio: El amonio se origina por la reducción de sustancias orgánicas o inorgánicas nitrogenadas, como el nitrógeno atmosférico, proteínas animales o vegetales, por putrefacción o por la reducción de nitritos y nitratos.
- Cobre: Se encuentra con frecuencia de forma natural en aguas superficiales, pero en concentraciones menores a 1mg/l, en las que no tiene efectos nocivos para la salud de los animales.
- Hierro: El hierro puede afectar al sabor del agua y también puede formar depósitos en las redes de distribución y causar obstrucciones, así como alteraciones en la turbidez y el color del agua. Para eliminarlo, pueden emplearse tratamientos como la oxidación, la precipitación y la filtración.
- Nitratos y nitritos: Generalmente en las aguas predominan los nitratos frente a los nitritos, ya que se encuentran en cantidades apreciables en condiciones de baja oxigenación. El uso excesivo de

fertilizantes nitrogenados (amonio, nitratos, urea...) y la contaminación fecal humana o animal pueden contribuir a elevar la concentración de nitratos en el agua. Tanto los nitritos como los nitratos pueden causar toxicidad, mayor en el caso de los nitritos. Los nitritos no se encuentran generalmente concentraciones mayores a 1 mg/l y su oxidación con el cloro disuelto en el agua los convierte en nitratos. Respecto a los nitratos, en entornos de carga ganadera elevada (por ejemplo, junto a los puntos de aguas superficiales) pueden darse en altas concentraciones. Estos nitratos pueden suponer un problema especialmente en animales rumiantes, cuya flora microbiana ruminal los transforma en nitritos. En este caso, una intoxicación por nitritos puede mermar la capacidad transportadora del oxígeno en la sangre, generando problemas de anemia o anorexia, u otro tipo de problemas o alteraciones reproductivas (abortos), digestivas (diarreas), respiratorias, musculares e interferencias en el crecimiento (García, 2004).

- Oxidabilidad: Los niveles bajos o la ausencia de oxígeno pueden ser indicativos de una contaminación elevada del agua o de una actividad bacteriana elevada; por ello, la oxidabilidad puede considerarse como un indicador de contaminación.
- Dureza: La dureza es un parámetro que mide la presencia de calcio y de magnesio en el agua. Los principales problemas que presentan las aguas duras se deben a la formación de precipitados y de incrustaciones calcáreas.

### 2.3.2 Calidad del agua en la Sierra de Aralar

Si bien se desconoce la calidad del agua que consume el ganado en la Sierra de Aralar debido a la falta de controles y análisis de la misma, existen dos precedentes mediante los cuales se puede estimar el estado de la misma:

1. Por un lado, existe un artículo publicado en 1947 en un periódico local, en el cual se hace referencia a que, debido a la sequía padecida, la balsa natural de Unakoputzu llegó a secarse, dejando ver el poso de contaminación fecal existente en su fondo, y llegando posteriormente a registrarse turbidez y contaminación en las aguas del manantial de Intza.  
Por lo tanto, es conocida la existencia de contaminación fecal en las balsas existentes en Aralar, si bien es cierto que, a diferencia del momento en el que se registró dicho incidente, hoy en día se encuentran cercadas para limitar el acceso del ganado.
2. Por otro lado, en el año 2010 se realizó un estudio en el vecino parque natural de Urbasa-Andía (Navarra), también kárstico y con una larga tradición ganadera. Dicho estudio evaluó la evolución de la calidad química y microbiológica de los diferentes puntos de almacenamiento de agua superficial a lo largo del año, analizando el papel que los distintos parámetros bióticos y abióticos jugaban en la calidad de dichas aguas, así como en las poblaciones de anfibios que las habitaban (Canals et al., 2011). Las principales conclusiones sacadas en de dicho artículo son las siguientes:
  - Por un lado, se observa que la calidad del agua de las balsas decrece a medida que avanza la temporada de pastoreo, siendo mayor la concentración de contaminantes a finales de verano que en primavera. Esto indica que, además del efecto causado por el descenso del volumen de agua existente en las balsas, la presión generada por la presencia de ganado genera un aumento de la contaminación y degradación de las balsas (ver *Figura 9*).



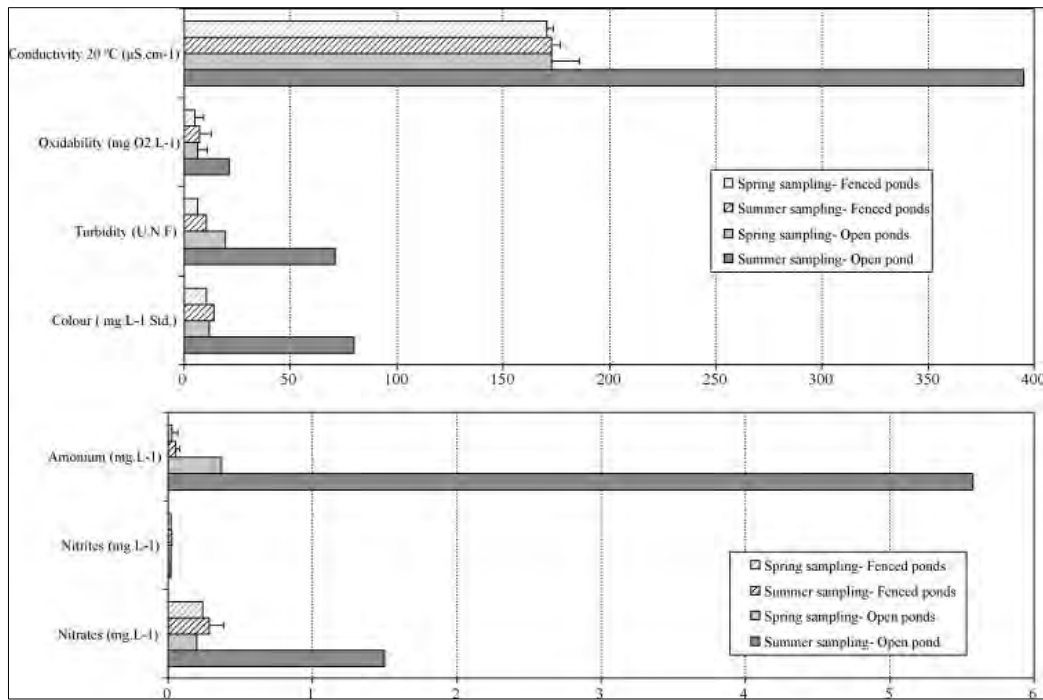


Figura 9. Cargas microbiológicas en el agua almacenada en balsas cercadas y sin cercar en primavera y verano.  
 Fuente: (Canals et al., 2011)

- Por otro lado, si bien es cierto que la contaminación en las balsas sin cercar era mayor, en el estudio se constata la existencia de contaminación fecal en aquellas balsas que se encontraban cercadas para evitar el acceso del ganado a las mismas. Esta presencia de contaminación fecal supone que, más allá de la presencia de ganado, existen otros agentes causantes de dicha contaminación fecal, tales como pequeños mamíferos y aves migratorias, los cuales frecuentan estas balsas como zona de refresco o abrevada.

Así pues, teniendo en cuenta las similitudes existentes entre el parque natural de Urbasa-Andia y la Sierra de Aralar, es razonable asumir la presencia de contaminación fecal en las balsas existentes en Aralar, así como la degradación de los hábitats acuáticos a medida que avanza la temporada de pastoreo.

En cuanto al mantenimiento y limpieza de los puntos de agua existentes en Aralar, se realizan con frecuencia anual, antes de comenzar la temporada de pastoreo. Dichas labores de mantenimiento son realizadas por el guarderío forestal de Aralar y consisten en la limpieza de los abrevaderos y la revisión del estado de las conducciones de agua, procediendo a la sustitución de aquellas que han sido dañadas por el hielo a lo largo del invierno. Más allá de dichas revisiones anuales, se realizan labores puntuales a dependiendo de las necesidades que surjan a lo largo de la campaña (roturas, obturaciones, colapsos...).

### 3 Objetivos

En vista a la problemática plasmada en los anteriores apartados y considerando que las condiciones de falta de agua serán cada vez más comunes en los próximos años, este TFM plantea como objetivo principal realizar un estudio y análisis de alternativas al almacenamiento tradicional en balsas superficiales, atendiendo a la eficiencia en el almacenamiento, la adecuación ambiental de las propuestas y a la calidad del agua almacenada, proponiendo medidas para garantizar la calidad del agua de abrevada.

Además, el presente trabajo plantea como objetivo secundario la concienciación acerca de la pérdida de agua en sistemas abiertos de almacenamiento y, por lo tanto, acerca de la necesidad de emplear métodos de almacenamiento más eficientes, para lo cual se realiza una estimación de las tasas de evaporación existentes en las balsas superficiales de Aralar.

### 4 Material y métodos

La metodología llevada a cabo para realizar el presente trabajo se ha fundamentado en cinco pilares principales: visitas a campo, revisión documental, reuniones de trabajo con personal responsable de la gestión de la Sierra de Aralar, entrevistas y conversaciones con ganaderos y pastores de la zona, y diseño de nuevas propuestas.

- Se han realizado varias visitas a campo, comenzando por la realizada en agosto de 2022, a partir de la cual se observa la escasez de recursos hídricos y surge la idea de realizar el presente trabajo. Posteriormente, se han realizado diferentes visitas a lo largo de los meses de julio, agosto y septiembre de 2023, con el objetivo de completar la cartografía de los recursos hídricos, observar la aplicabilidad de las alternativas propuestas y tomar fotos sobre el terreno determinando a su vez el estado actual de conservación de los puntos de agua y de las infraestructuras existentes (*txabolas principalmente*) que pueden servir de apoyo a las nuevas propuestas realizadas.
- La revisión documental realizada ha consistido en consultas de fuentes tanto materiales como electrónicas, consultándose los siguientes tipos de documentos:
  - libros y artículos científicos y técnicos sobre alimentación animal y gestión de recursos hídricos;
  - Proyectos innovadores de investigación y desarrollo para la adaptación de la ganadería extensiva al cambio climático;
  - medios electrónicos de carácter técnico y comercial sobre sistemas de mejora de calidad del agua.
  - enciclopedias y fuentes electrónicas de divulgación sobre las características de la Sierra de Aralar;
  - fuentes estadísticas de información climática;
- Se realizó una reunión en octubre de 2022 en la que participaron los siguientes agentes:
  - Representantes de la Unión de Aralar;
  - Personal del departamento de Desarrollo Rural y Medio Ambiente del Gobierno de Navarra;
  - Personal técnico responsable de la redacción del Plan de Ordenación del Monte Aralar.
- Se realizaron entrevistas y conversaciones con ganaderos y pastores de la Sierra de Aralar, mediante las cuales se ha tenido acceso a un mayor conocimiento espacial del monte y se ha podido conocer de primera mano las necesidades percibidas con respecto a la disponibilidad de recursos hídricos. Para ello, se ha contado con la colaboración de los pastores de un rebaño de ovejas de la localidad de Arruazu.
- Por último, se realizó el diseño de una nueva propuesta de almacenamiento. Dicha propuesta se llevo a cabo partiendo de las observaciones realizadas en las visitas a campo, empleando el programa de diseño asistido AutoCAD para completar las especificidades de la propuesta.

Con la información obtenida por los distintos medios mencionados, se ha planteado un análisis de alternativas, para la cual se ha realizado una ficha tipo que permita comparar las diferentes alternativas propuestas.

## 5 Resultados y discusión

A continuación, se muestran los resultados del estudio realizado, organizados en los siguientes apartados:

- Estudio de alternativas de recogida y almacenamiento de agua para abrevada. Este apartado se ha diseñado en forma de fichas técnicas que recogen la información de cada una de las alternativas propuestas en este TFM.
- Estudio de alternativas para limpieza y la mejora de la calidad del agua de abrevada.
- Discusión general.

### SISTEMA TRADICIONAL. Balsa Superficial

#### DESCRIPCIÓN GENERAL:

Se trata de balsas superficiales, excavadas sobre el terreno e impermeabilizadas, que abastecen de agua a abrevaderos cercanos.

Con tamaños muy variables, permiten el almacenamiento de grandes cantidades de agua, tanto pluvial como fluvial, además de generar espacios naturalizados que pueden servir de hábitat o zonas de refresco y abrevada a una gran variedad de especies.



#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- Capacidad de almacenamiento: muy variable, puede superar los 1.000 m<sup>3</sup>.
- Captación: recarga fluvial y/o pluvial.
- Control de calidad de agua: no dispone de sistemas de control de calidad de agua.
- Materiales: malla geotextil y lámina EPDM para impermeabilización del vaso.
- Mantenimiento: Comprobar periódicamente el estado del vallado perimetral y de las conducciones a abrevaderos.

#### VENTAJAS:

- Permite el almacenamiento de grandes cantidades de agua.
- En balsas correctamente naturalizadas puede servir de hábitat para especies protegidas de anfibios y vegetación hidrófita.
- Puede servir como recarga para helicópteros de extinción de incendios.

#### LIMITACIONES:

- Baja eficiencia en el almacenamiento por pérdidas mediante evaporación.
- Necesidad de generar accesos para maquinaria pesada.
- Dificultad de excavación del vaso en sistema kárstico como Aralar.
- Impacto ambiental durante la ejecución, generación de ruidos, vibraciones y polvo.
- Gran impacto visual durante la ejecución y hasta su correcta naturalización.
- Vulnerable a contaminaciones fecales de fauna (aves, roedores...).
- Dificultad de emplear sistemas de control de calidad del agua, debido a que podrían entrar en conflicto con la fauna naturalizada.

### **OBSERVACIONES FINALES:**

En un contexto de cambio climático en el que las temperaturas elevadas y periodos prolongados de sequía van a ser cada vez más recurrentes, el almacenamiento tradicional mediante balsas superficiales se va a ver afectado por una disminución en su eficiencia de almacenamiento causada por elevadas tasas de evaporación, tal y como se muestra en los cálculos de evaporación potencial recogidos en el *Anexo 1* del presente documento. Dichos cálculos muestran una tendencia ascendente en las tasas de evaporación de los últimos 10 años, siendo la evaporación potencial anual del 2022 la más elevada registrada desde 2013, con una tasa anual de evaporación de 1.135,5 l/m<sup>2</sup>.

Si bien es cierto que nuevas balsas aportarían nuevos hábitats para la conservación de especies de anfibios, debe tenerse en cuenta que, debido a la naturaleza kárstica del monte Aralar, la acumulación de agua en la superficie no sucedería de forma natural, salvo en zonas muy puntuales en las que el material del suelo esté compuesto por margas.

Por otro lado, existe una serie de problemas asociados a la centralización de los puntos de almacenamiento y consumo de agua debido a la concentración del ganado en dichos puntos, tales como la compactación de suelos, altas concentraciones de nitrógeno en el suelo, abandono y matorralización de zonas de pasto alejadas debido a la falta de abastecimiento de agua cercano, etc.

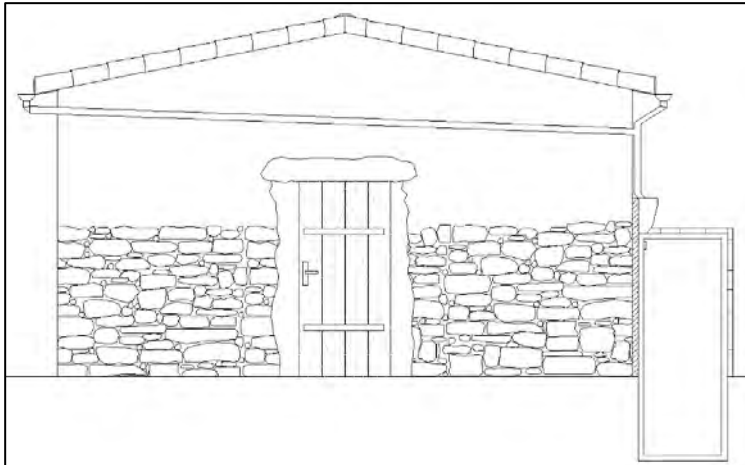
A pesar de estos inconvenientes, en el último Plan de Ordenación del Monte Aralar existe un proyecto de construcción de una nueva balsa superficial.

### ALTERNATIVA 1. DEPÓSITO ANEXO A TXABOLA

#### Descripción General:

Se trata de un depósito estanco, semienterrado y anexo a un lateral de la *txabola*.

Diseñado con una anchura de entre 1-1,5 m y una profundidad de 2-3 m (semienterrados dependiendo del material del suelo), se pueden extender en toda la longitud de la *txabola*, abasteciendo a un abrevadero por altura de cota y presión hidrostática.



#### Características Técnicas:

- Capacidad de almacenamiento: dependiendo de la *txabola*, entre 20 y 80 m<sup>3</sup>.
- Captación: canalización de agua pluvial caída sobre la cubierta de la *txabola*.
- Control de calidad de agua: rejilla en la entrada al canalón y filtro de arena previo a la entrada al depósito.
- Materiales: depósito de hormigón/acero, aislante de humedad en su cara interna y revestimiento de piedra en su cara vista.
- Mantenimiento: revisión y limpieza periódica de filtros.

#### Ventajas:

- Evita la evaporación del agua, aumentando la eficiencia de su almacenamiento.
- Previene la contaminación del agua, garantizando un almacenamiento seguro y una calidad de agua adecuada.
- Impacto ambiental muy reducido.
- No se requiere maquinaria pesada ni la realización de afectaciones en el suelo.
- Impacto visual muy reducido, quedando perfectamente integrado en el las *txabolas* y en el paisaje.
- Diversificación de puntos de agua.
- Posibilidad de disponer de agua potable en las *txabolas*.

#### Limitaciones:

- Las cubiertas de muchas *txabolas* no se encuentran en un estado óptimo para la captación eficiente de agua.
- Se requiere de altura de cota para poder dar salida al agua almacenada.
- No sirve de cobijo para poblaciones protegidas de anfibios.
- Capacidad de almacenamiento limitada por el tamaño de la *txabola* (menor que el potencial de captación).

### TIEMPO DE LLENADO:

La duración del tiempo de llenado dependerá del tamaño de la cubierta de la *txabola* y del depósito proyectado. No obstante, los cálculos se han realizado considerando una *txabola* de 90 m<sup>2</sup> (15 m x 6 m) de cubierta y un depósito de 45 m<sup>3</sup> (15 m x 1,5 m x 2 m). En este caso, considerando la pluviometría acumulada del año 2022 (como referencia de año de sequía), se obtiene que los 934 l/m<sup>2</sup> anuales darían la capacidad a la cubierta de la *txabola* de captar 84 m<sup>3</sup> anuales. Además, la precipitación en forma de nieve y su acumulación sobre las cubiertas produciría una recarga añadida a los depósitos en forma de deshielo.

Así pues, las lluvias producidas desde finales de otoño hasta la llegada del ganado a principios de mayo serían suficientes en cualquiera de los casos para recargar el depósito en su totalidad, produciéndose pequeñas recargas posteriores durante las puntuales lluvias estivales.

### EMPLAZAMIENTO:

En el *Plano nº 4* del presente documento se proponen dos posibles emplazamientos, de *txabolas* que podrían alojar el sistema propuesto. Se trata de *txabolas* que disponen de una cubierta en buen estado de conservación y que disponen de una superficie de cubierta suficiente para proporcionar un potencial de captación de pluviales adecuado.

### OBSERVACIONES FINALES:

El almacenamiento de agua en depósitos anexos a las *txabolas*, más allá de un método de almacenamiento, ofrece la posibilidad de plantear un nuevo enfoque al modelo de gestión de abrevaderos en pastos de montaña. Tradicionalmente, el almacenamiento de agua ha estado centralizado en pocas balsas de gran tamaño, concentrándose el ganado en torno a los abrevaderos que estas balsas abastecen. Por el contrario, este método ofrece la posibilidad de tejer una red de puntos de agua de menor capacidad, pero con una mayor distribución espacial. De este modo, puede lograrse un modelo más resiliente a los posibles problemas que puedan surgir.

Además, el hecho de que los puntos de agua estén más distribuidos espacialmente permite que las zonas de pastoreo de los diferentes rebaños puedan diversificarse a su vez, diluyendo la carga ganadera y evitando problemas de compactación del terreno y presión excesiva sobre pastos y aguas superficiales.

Al mismo tiempo, una red de puntos de agua descentralizada de las principales balsas permitiría reducir la presión en las mismas, reduciendo así la degradación de los hábitats de especies protegidas de anfibios.

Por último, la disponibilidad de agua de calidad en las *txabolas* puede abrir la puerta a una posible producción de queso de montaña con las garantías sanitarias pertinentes.

En el *Plano nº 7* del presente documento se muestra un diseño tipo del sistema propuesto.

## ALTERNATIVA 2. ALJIBE

### DESCRIPCIÓN GENERAL:

Se trata de depósitos de captación de agua de lluvia ubicados en la parte baja de laderas de pequeña pendiente. Disponen de un canal hormigonado longitudinal a la superficie de descarga de la ladera, que vierte el agua recogida en un pozo de decantación previo al depósito interior del aljibe. Cuentan con un abrevadero situado en su parte frontal, alimentado por presión hidrostática.



### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- Capacidad de almacenamiento: variable dependiendo del entorno, hasta 100 m<sup>3</sup>.
- Captación: canal hormigonado para captación de agua pluvial de escorrentía o de cauce fluvial.
- Control de calidad de agua: pozo de decantación.
- Materiales: hormigón y revestimiento de piedra del aljibe.
- Mantenimiento: limpieza de pozo de decantación y del canal de captación.

### VENTAJAS:

- Evita la evaporación del agua, aumentando la eficiencia de su almacenamiento.
- Previene la contaminación del agua, garantizando un almacenamiento seguro y una calidad de agua adecuada.
- No se requiere maquinaria pesada.
- Impacto visual reducido. Su construcción en piedra quedaría integrada con la arquitectura histórica del monte Aralar.
- Diversificación de puntos de agua.

### LIMITACIONES:

- Solo es aplicable en zonas con topografía muy específica.
- Capacidad de almacenamiento limitada.
- Requiere la construcción de nuevas estructuras.
- Requiere mantenimiento periódico particular tras eventos torrenciales que pueden colmatar el cauce.
- No ofrece posibilidad de hospedar poblaciones protegidas de anfibios.



#### TIEMPO DE LLENADO:

El tiempo de llenado del sistema de aljibe dependerá de si se produce por medio de recarga fluvial o pluvial. En el caso de que la recarga sea por medios fluviales, se deberá diseñar de tal modo que el principal llenado del depósito se produzca coincidiendo con las etapas de mayor caudal, es decir, durante los meses de invierno. Posteriormente, se podrán realizar recargas controladas durante la temporada de pastoreo, dependiendo de las necesidades que presente y del caudal de la regata. De igual modo, en el caso de que la recarga sea pluvial, el depósito deberá adaptarse a la capacidad de captación del entorno, contando en todo caso con que pueda comenzar la temporada de pastoreo al 100% de su capacidad de almacenamiento.

#### EMPLAZAMIENTO:

En el *Plano nº 5* del presente documento se propone un posible emplazamiento para la implantación del sistema de aljibe. La zona propuesta se corresponde con la regata de Urlangoerreka la cual en años de sequía llega a degradarse por consecuencia del pisoteo del ganado mayor. La existencia de un abrevadero podría evitar que el ganado mayor abreve en la regata, disminuyendo su compactación y degradación.

#### OBSERVACIONES FINALES:

Al igual que en el caso de los depósitos anexos a *txabolas*, este tipo de aljibes ofrece la posibilidad de crear nuevos puntos de agua descentralizados e independientes de las principales balsas, propiciando el pastoreo de ganado en zonas actualmente menos frecuentadas por la falta de disponibilidad de agua y brindando así la oportunidad de recuperar nuevas zonas de pasto.

Así pues, esta técnica puede considerarse como una complementación del sistema de depósitos en *txabolas*, para aquellas zonas en las que no se disponga de condiciones materiales para llevar a cabo dicho sistema.

Por otro lado, además de reducir la presión sobre los humedales y hábitats de anfibios existentes, los pozos de decantación del sistema de aljibes podrían hospedar temporalmente poblaciones de anfibios, principalmente durante los meses primaverales en los que se desarrolla la etapa larvaria de dichas especies.

### ALTERNATIVA 3. Balsa seca y depósito

#### DESCRIPCIÓN GENERAL:

El sistema consiste en una balsa seca ubicada en la parte inferior de una ladera, cubierta por material poroso, que infiltra el agua pluvial drenada hasta ella alimentando un depósito de agua ubicado en una cota inferior (enterrado o no).

Dicho depósito abastecería un abrevadero situado aguas abajo.



#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- Capacidad de almacenamiento: variable dependiendo del entorno, puede superar los 100 m<sup>3</sup>.
- Captación: balsa seca de infiltración pluvial.
- Control de calidad de agua: depósito estanco que previene su contaminación.
- Materiales: lámina EPDM y grava para balsa seca, hormigón armado para depósito.
- Mantenimiento: limpieza periódica de balsa seca.

#### VENTAJAS:

- Evita la evaporación del agua, aumentando la eficiencia de su almacenamiento.
- Previene la contaminación del agua, garantizando un almacenamiento seguro y una calidad de agua adecuada.
- Capacidad de almacenamiento mayor que el resto de las alternativas.

#### LIMITACIONES:

- Necesidad de generar accesos para maquinaria pesada.
- Dificultad de excavación en sistema kárstico como Aralar.
- Impacto ambiental durante la ejecución, generación de ruidos, vibraciones y polvo.
- Gran impacto visual durante la ejecución y hasta su correcta naturalización.
- No sirve de cobijo para poblaciones protegidas de anfibios.

### TIEMPO DE LLENADO:

Para estimar el tiempo de llenado, debe tenerse en cuenta que el depósito se recarga mediante el agua de lluvia caída directamente sobre la balsa seca, por un lado, y mediante la escorrentía provocada por las laderas colindantes por otro lado, siendo esta más difícilmente estimable. No obstante, tomando como ejemplo una balsa seca de 100 m<sup>2</sup> (10m x 10m), solamente el agua de lluvia directa sería suficiente para almacenar 93,4 m<sup>3</sup> en un año de sequía como el 2022.

De este modo, al igual que en el caso de la alternativa 1, las lluvias de finales de otoño e invernales serían suficientes para el llenado total del depósito, produciéndose pequeñas recargas adicionales durante los días de lluvia estivales.

### EMPLAZAMIENTO:

En el *Plano nº 6* del presente documento se propone un posible emplazamiento para la implantación del sistema de balsa seca con depósito. La zona propuesta se encuentra en los pastos cercanos al monte Hirumugarrieta, en las cuales, según se ha podido constatar con los pastores entrevistados, actualmente no se dispone de abrevaderos, dificultando la presencia de ganado en los pastos colindantes. El emplazamiento propuesto ofrece diferencia de cota suficiente para garantizar la presión hidrostática necesaria.

### OBSERVACIONES FINALES:

Existen casos en Navarra en los que ya se ha implantado este tipo de sistema, como el realizado por el Gobierno de Navarra en Burgui (GAN, 2017) y en Orbaizeta. Se trata de un sistema muy útil a la hora de prevenir la evaporación y contaminación del agua almacenada.

No obstante, presenta una serie de dificultades de ejecución debido a la necesidad de utilizar maquinaria pesada para la excavación del vaso de la balsa. En cuanto al depósito puede ser enterrado o no, generándose así una relación inversa entre el coste de ejecución y el impacto visual que generaría.

En cualquier caso, la balsa seca deberá ser cercada y su superficie, al estar cubierta de grava, quedaría desnaturalizada, de manera que a la hora de proyectar un sistema como este deberá considerarse un emplazamiento en el que su visibilidad pueda verse reducida por la propia orografía del entorno.

## 5.4 Sistemas para mejorar la calidad del agua

Existe una gran variedad de posibilidades para mejorar la calidad del agua antes de ser almacenada. A continuación, se describen brevemente las más comunes, las cuales pueden ser aplicadas en varias de las alternativas propuestas, dependiendo de las especificidades de cada caso.

### Pozos de decantación:

Se trata de pozos situados en la entrada de la recarga de agua de los almacenamientos. Considerando que las recargas de agua, ya sean fluviales o pluviales, pueden llevar una serie de partículas en suspensión, o incluso restos de materia orgánica suspendidos, los pozos de decantación consisten en detener el flujo de la recarga mediante un pequeño pozo de agua previo al almacenamiento principal, de manera que las partículas suspendidas en el agua de recarga se depositan en el fondo por su propio peso (ver *Figura 10*).

Este sistema permite reducir considerablemente las partículas en suspensión existentes en el agua, además de evitar la entrada al almacenamiento de cualquier tipo de resto vegetal (ramas, hojarasca...). De este modo, se aumenta la calidad del agua de entrada al almacenamiento, y se reduce la degradación y pérdida de calidad que pueda producirse en el propio almacenamiento, dado que al retirar los restos vegetales se reduce la actividad biológica que pueda haber en el agua.

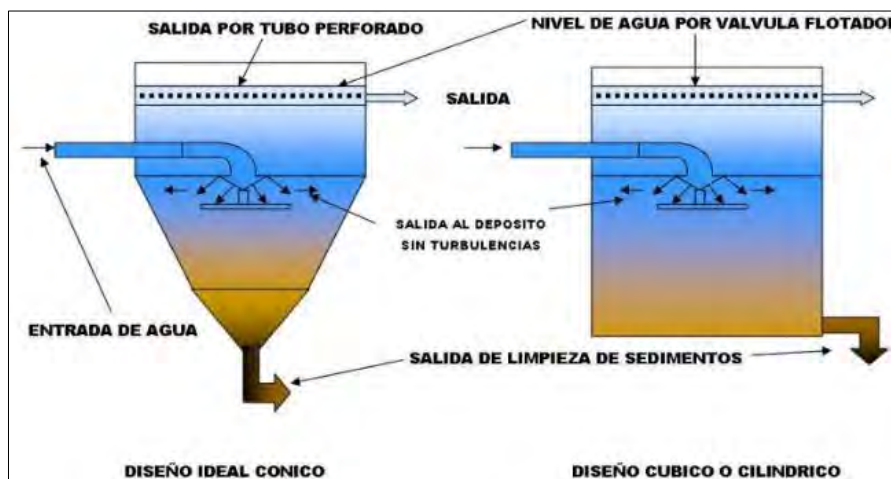


Figura 10. Croquis de pozo de decantación (Purifica, 2015).

### Filtros de arena:

Se colocan a la entrada del agua en los depósitos o en los sistemas de almacenamientos de agua, haciendo que el agua atraviese un volumen de arena por infiltración, de manera que las partículas en suspensión existentes en el agua queden adheridas a la arena (*Figura 11*). Para el correcto funcionamiento de los filtros de arena, es necesario que se haya realizado previamente una retirada de los materiales de mayor tamaño (ramas y hojarasca), ya sea mediante un pozo de decantación o por medio de una parrilla o tamiz colocado aguas arriba del filtro.



Figura 11. Croquis de filtro de arena (Purifica, 2015).

### Desinfección:

Existen varios sistemas para la desinfección del agua, pudiendo destacarse principalmente la desinfección por medio de cloración o por medio de radiación ultravioleta (UV). Ambos sistemas cumplen la función de esterilizar el agua almacenada, evitando cualquier tipo de actividad biológica y de presencia microbiana. La cloración consiste en aportar lejía de uso alimentario al agua almacenada (siempre en dosis recomendadas), mientras que la desinfección por radiación ultravioleta consiste en la colocación de un esterilizador UV a la entrada del depósito, haciendo que el agua de entrada transcurra por el mismo. El sistema de UV tiene el inconveniente de que se requiere de corriente eléctrica para su empleo, pero, por el contrario, se trata de un método más ecológico que la cloración y no altera las características organolépticas del agua (Purifica, 2017).

Cabe mencionar que los sistemas de desinfección están dirigidos principalmente a almacenamientos de agua para consumo humano en los cuales los estándares de calidad son más estrictos y disponen de legislación específica que los regula.

## 5.5 Discusión general

Si bien la construcción de sistemas abiertos de almacenamiento de agua es una práctica muy empleada en zonas de pastoreo de ganado, presenta una serie de debilidades, tales como una baja eficiencia de almacenamiento debida a las pérdidas por evaporación, la dificultad de controlar la calidad del agua o la centralización de los recursos hídricos del monte. Además, tal y como se ha observado en la revisión documental realizada, en la Sierra de Aralar, debido a su naturaleza kárstica, la presencia de puntos de agua superficiales es muy puntual y reducida, de manera que, la creación de nuevas balsas superficiales bajo el pretexto de hospedar poblaciones de especies de anfibios protegidas entraría en conflicto con el desarrollo natural de los hábitats acuáticos de la zona.

En contraposición a los sistemas tradicionales de almacenamiento de agua, se presentan tres sistemas de almacenamiento alternativo que, de un modo u otro, complementan las principales debilidades que presentan los sistemas basados en balsas superficiales. Destaca en estos sistemas el empleo de depósitos estancos como método de almacenamiento, el cual ofrece una doble ventaja con respecto a los sistemas abiertos: evita pérdidas por evaporación y disminuye la exposición del agua almacenada a posibles contaminantes, además de facilitar el empleo de técnicas de mejora de la calidad del agua.

Además, cabe destacar la integración paisajística que ofrecen las alternativas propuestas, especialmente el sistema de captación en *txabolas*, debido al uso y aprovechamiento de infraestructuras históricamente ligadas al paisaje de Aralar. Considerando la importancia de la Sierra de Aralar como Zona de Especial Conservación y zona de gran afluencia de senderistas, el reducido impacto visual y paisajístico que ofrecen los sistemas propuestos contrasta con la repercusión visual y ambiental que supone la construcción de nuevas balsas superficiales.

Por otro lado, el empleo de los sistemas propuestos con el objetivo de diversificar la red de puntos de agua de Aralar y dotarla de una mayor distribución espacial, puede generar algunas ventajas indirectas, además de la oferta de agua de abrevada:

- El hecho de garantizar la disponibilidad de abrevaderos específicos para consumo del ganado permite disociarlo de puntos de abrevada de fauna salvaje, tales como regatas o humedales. De este modo se mejora la prevención de la transmisión de enfermedades que pueda acarrear la fauna salvaje.
- La mayor distribución del ganado en el monte y el hecho de evitar la abrevada en regatas y humedales, conllevaría una disminución de la contaminación de las aguas habitadas por anfibios. De este modo, los nuevos sistemas propuestos contribuyen a la protección de las poblaciones de anfibios mejorando las condiciones de los hábitats existentes, en lugar de generar nuevos hábitats que puedan hospedarlos.

Finalmente, decir que, en caso de que se opte por emplear los sistemas alternativos propuestos, deberá complementarse el presente trabajo con un estudio económico en el que se estimen los costes de construcción y mantenimiento de las alternativas planteadas, teniendo en cuenta su adaptación a las especificidades de su lugar de aplicación.

## 6 Conclusiones

Considerando la revisión bibliográfica realizada y el análisis de alternativas propuesto, se obtienen las siguientes conclusiones:

1. Existe la necesidad de generar nuevos recursos de almacenamiento hídrico en la Sierra de Aralar, para prevenir no solo la escasez de agua, sino también la degradación de hábitats, contaminación de recursos hídricos y concentración del ganado.
2. Los nuevos almacenamientos proyectados deben consistir en depósitos cerrados, los cuales evitan las pérdidas por evaporación y la contaminación del agua.
3. Es necesario disociar el agua de abrevada del resto de recursos hídricos, garantizando para garantizar la disponibilidad de agua de calidad para el ganado y disminuir la degradación de hábitats acuáticos generada por la presión del ganado.
4. La creación de un nuevo modelo de gestión hídrica basado en una red de puntos de agua con una adecuada distribución espacial en el monte permitiría un mayor y más homogéneo aprovechamiento de las zonas de pasto.
5. Se proponen tres sistemas de captación y almacenamiento de agua alternativos a las balsas tradicionales: captación en txabola (específicamente diseñado para este TFM), aljibe (históricamente empleado en ambientes áridos) y balsa seca (sistema de nueva factura ya testado en el pre-Pirineo navarro).
6. La elevada precipitación anual de la zona (incluyendo innivación y precipitación horizontal en forma de niebla) ofrece una oportunidad de obtener agua libre de contaminantes, para lo cual, la existencia de 34 *txabolas* supone un potencial de captación de muy reducido impacto ambiental y visual.

## 7 Referencias

- Andreu, JM et al. (2016). Karst: un concepto muy diverso. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 6-20.
- Basartea (2021). 6ª Revisión del Proyecto de Ordenación del Monte Aralar. *MUP nº8, Patrimonio Forestal de Navarra*.
- Canals, RM et al. (2011). Emerging conflicts for the environmental use of water in high-valuable rangelands. Can livestock water ponds be managed as artificial wetlands for amphibians? *Ecological Engineering*, 37: 1443-1452.
- ELIKA (2012). *El agua en las explotaciones ganaderas*. Obtenido de ELIKA Fundazioa: <https://ganaderia.elika.eus/wp-content/uploads/sites/9/2017/12/ART%C3%8DCULO-AGUA-MAQUETADO-cast.pdf>
- Elóstegui, J et al. (1980). *Navarra. Guía ecológica y paisajística*. Pamplona, Navarra: Caja de Ahorros de Navarra.
- GAN (2017). *PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE PUNTO DE AGUA PARA USO GANADERO Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS EN RASOS DE SASI ZEC SIERRA DE ILLON Y FOZ DE BURGUI*. Burgui: Gobierno de Navarra.
- García, C (2004). El agua en ganadería ecológica (II). *Ganadería*, 29: 24-29. Obtenido de [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf\\_Ganad/Ganad\\_2004\\_29\\_24\\_29.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Ganad/Ganad_2004_29_24_29.pdf)
- García, C (2020). El agua en la alimentación de la ganadería ecológica (I). *AE. Revista Agroecológica de Divulgación*, 41: 30-33. Obtenido de <https://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/revistas-seae/revista-ae/revista-ae41-1-1.pdf>
- Geolodia (2012). *Actividad del agua subterránea en Aralar. El manantial de Aitzarreta y la cueva de Mendukilo*. Obtenido de Geolodia: <https://geolodia.es/geolodia-2012/nafarroa-navarra-2012/>
- Gestión Ambiental de Navarra (Enero de 2015). *Bases técnicas para el plan de gestión de la Zona Especial de Conservación (ZEC)*. Obtenido de Sierra de Aralar - Aralarreko Mendilerroa (ES2200020): <https://espaciosnaturales.navarra.es/documents/57648/134192/SierraAralar+Diagnosis.pdf/b6da2735-c881-19f0-a349-7c8449ea8bea>
- Gobierno de Navarra (2023). *Clasificación de Köpper*. Obtenido de Meteo Navarra: <http://meteo.navarra.es/definiciones/koppen.cfm>
- Gobierno de Navarra (2023). *Fichas climáticas*. Obtenido de Meteo Navarra: <http://meteo.navarra.es/climatologia/selfichaclima.cfm?IDEstacion=22&tipo=AUTO>
- INRA (2010). *Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux - Valeurs des aliments. Tables Inra 2007, mise à jour 2010*. Versailles: Éditions Quæ.
- Purifica (2015). *Filtración del agua con arena, en la potabilización*. Obtenido de Guía purificadores de agua: <https://www.guiapurificadoresdeagua.com/filtracion-de-agua-con-arena/>
- Purifica (2015). *La decantación del agua*. Obtenido de Guía purificadores de agua: <https://www.guiapurificadoresdeagua.com/la-decantacion-del-agua/>
- Purifica (2017). *Potabilizar el agua de depósitos y aljibes*. Obtenido de Guía purificadores de agua: <https://www.guiapurificadoresdeagua.com/potabilizar-agua-depositos-aljibes/>



Sun, LZ et al. (2014). Drinking water intake of grazing steers: The role of environmental factors controlling canopy wetness. *Journal of Animal Science*, 92(1): 282-291. Obtenido de <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6987>

Ugarte, FM (2006). *Geomorfología del karst de la Sierra de Aralar*. (Ingeba, Ed.) Obtenido de Curso Superior de Geografía de Euskalherria (1983-1985): <https://www.ingeba.org/publica/public.html>

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA AGRONÓMICA Y  
BIOCIENCIAS

NEKAZAL INGENIARITZAKO ETA  
BIOZIENTZIETAKO GOI MAILAKO  
ESKOLA TEKNIKOA

upna

Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa



## PLANOS

Autor / Egilea:

Asier Gamboa Areta

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA**

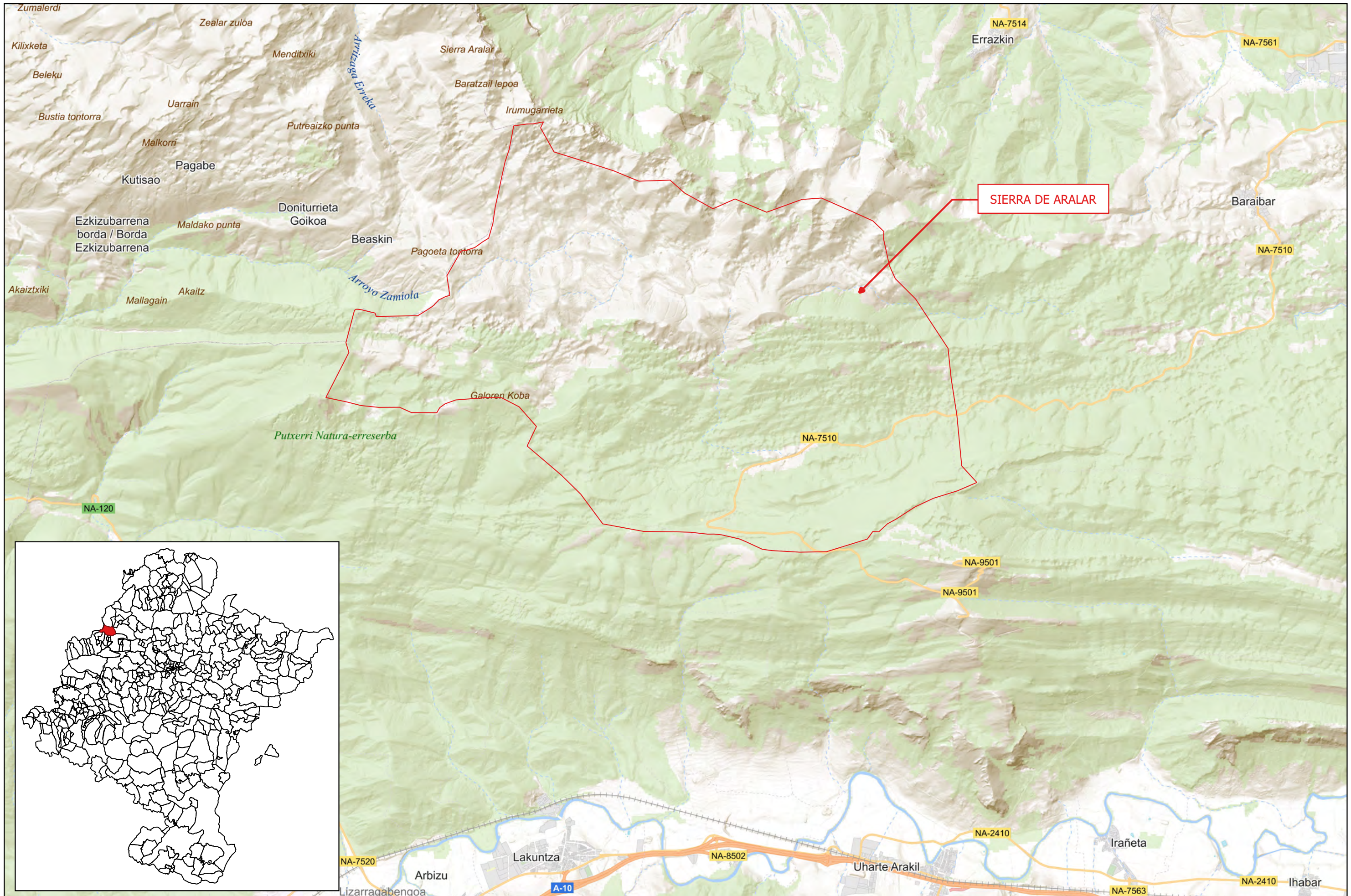
**UNIBERTSITATE MASTERRA NEKAZAL INGENIARITZAN**

Directora / Zuzendaria:

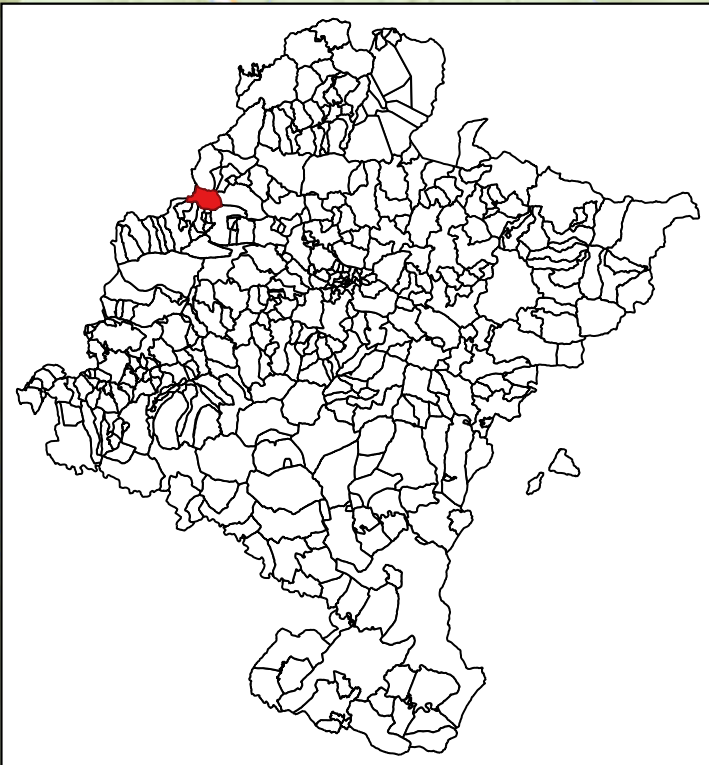
Rosa M<sup>a</sup> Canals Tresserras

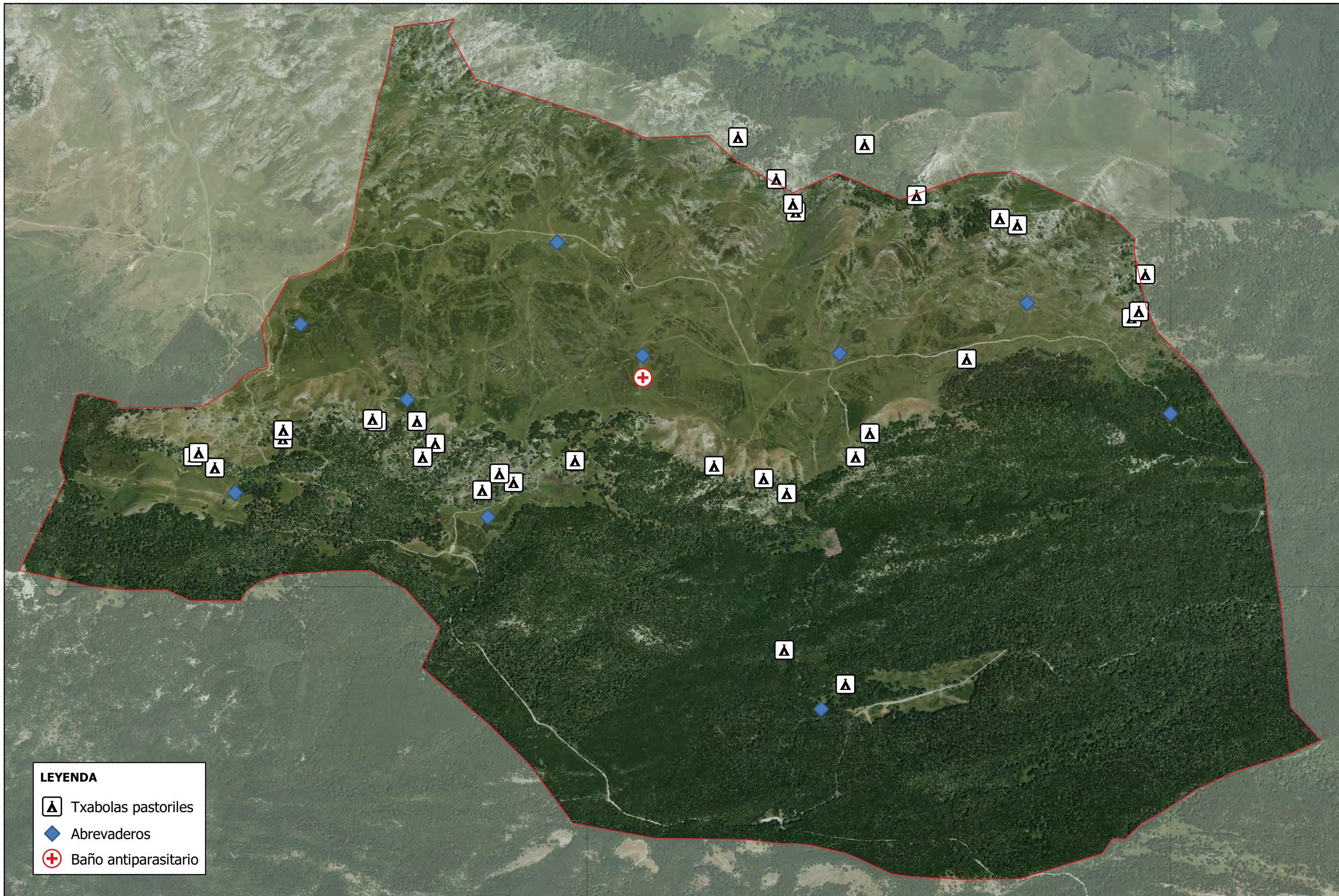
Septiembre de 2023 / 2023ko Iraila








SIERRA DE ARALAR





**LEYENDA**

-  Txabolas pastoriles
-  Abrevaderos
-  Baño antiparasitario



**LEYENDA**

- ◆ Abrevaderos
- ⊙ Deposito antiparasitario

**Balsas**

- Unakoputzu (Natural)
- Beloki (Artificial)



**Errekak**

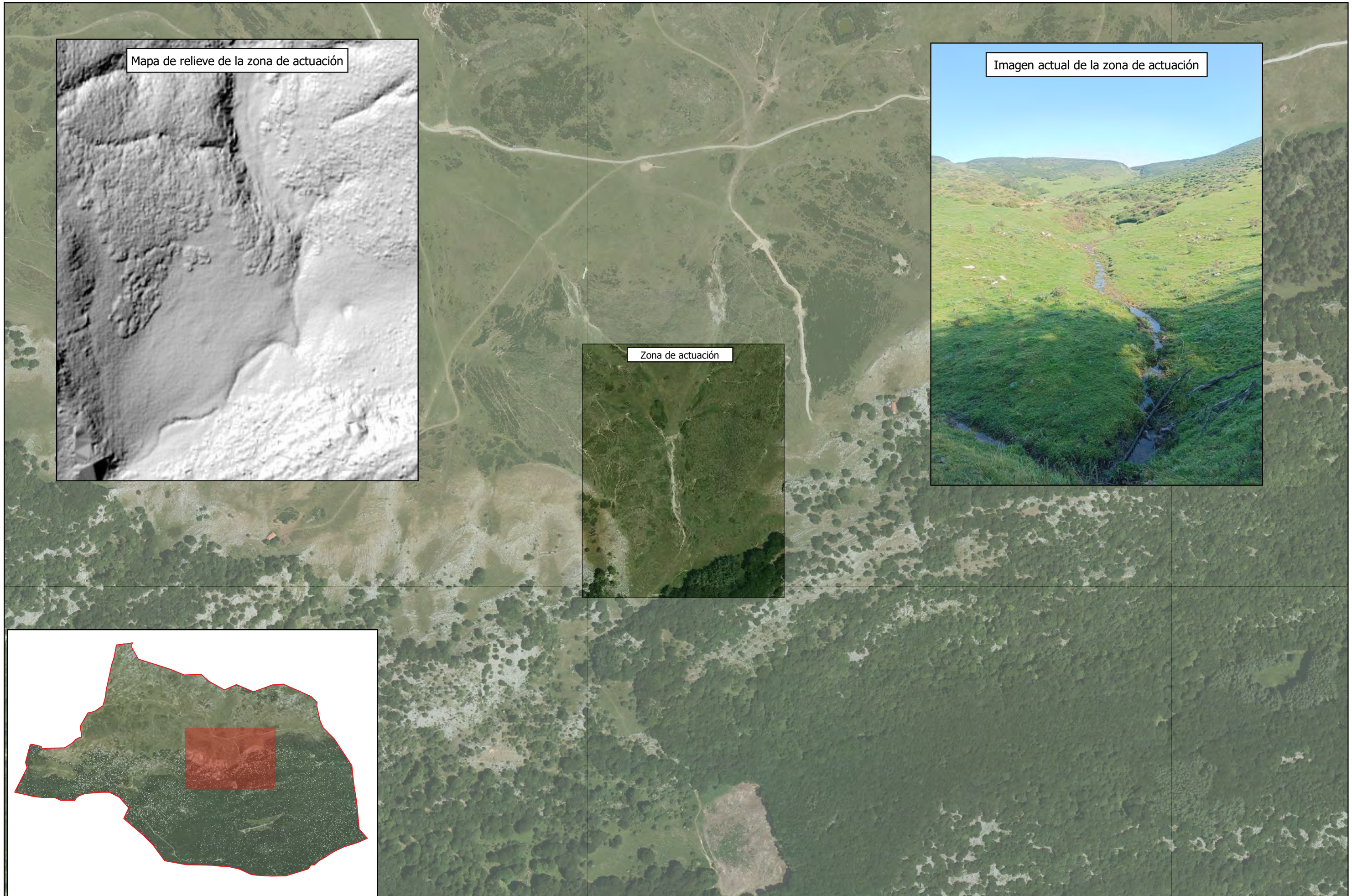
- Frantseserreka
- Regata de Unaga
- Regata de Usula
- Urlangoerreka
- Domingonekosare



**LEYENDA**

**Txabolas**

-  Txabolas Pastoriles
-  Posibles emplazamientos



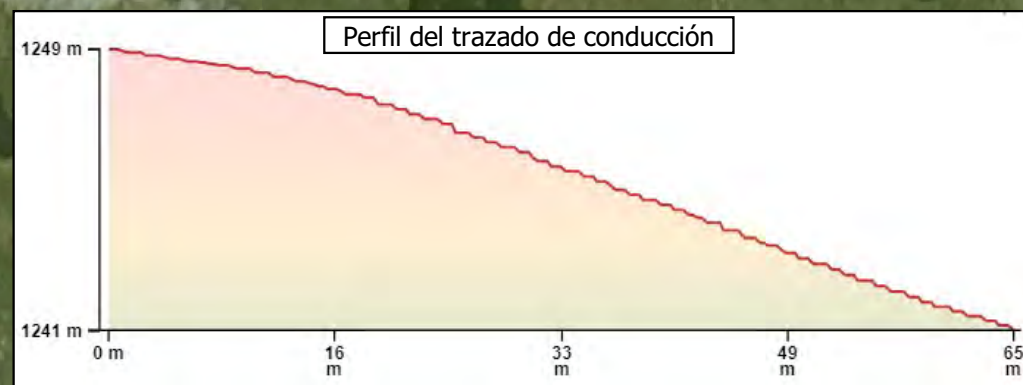
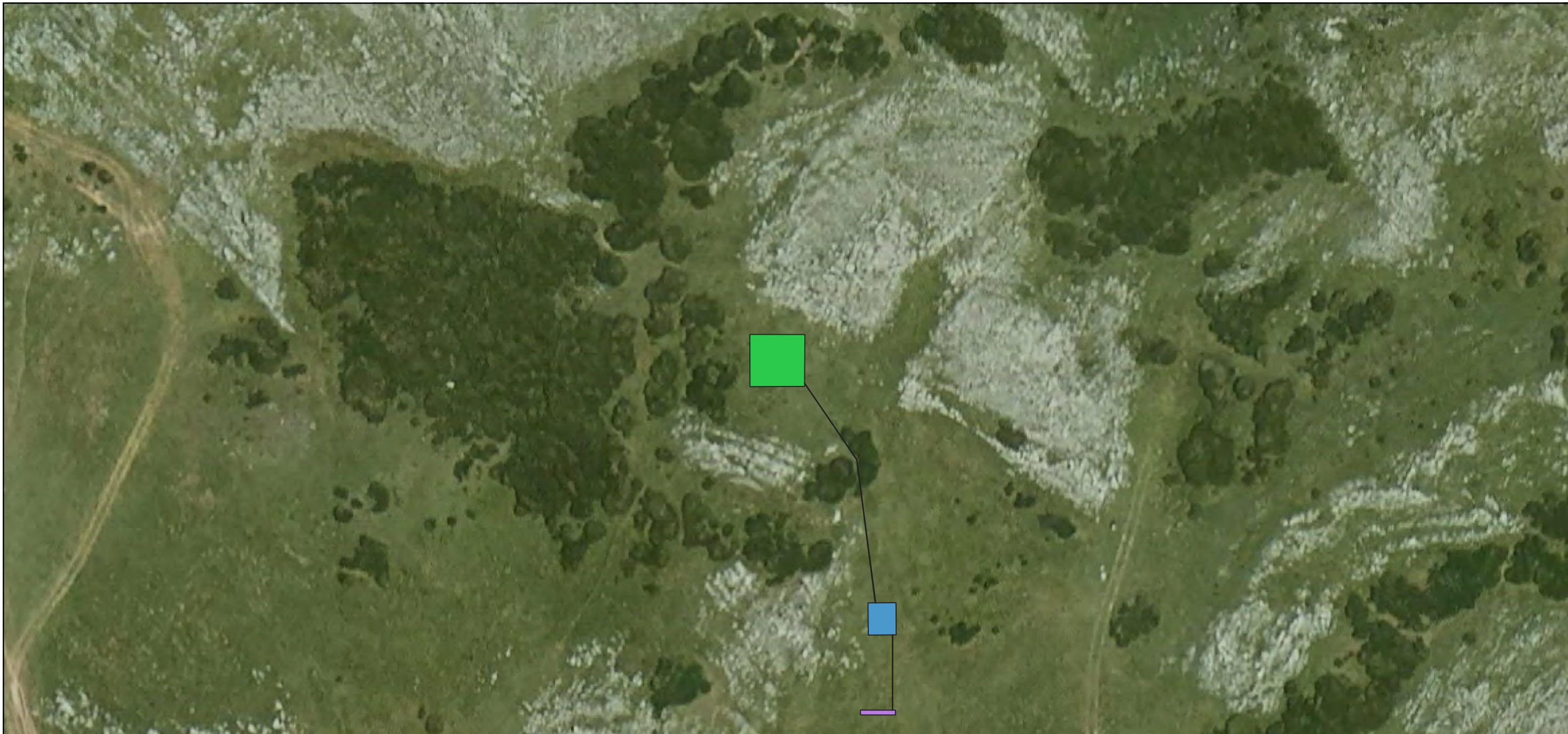
Mapa de relieve de la zona de actuación

Imagen actual de la zona de actuación

Zona de actuación



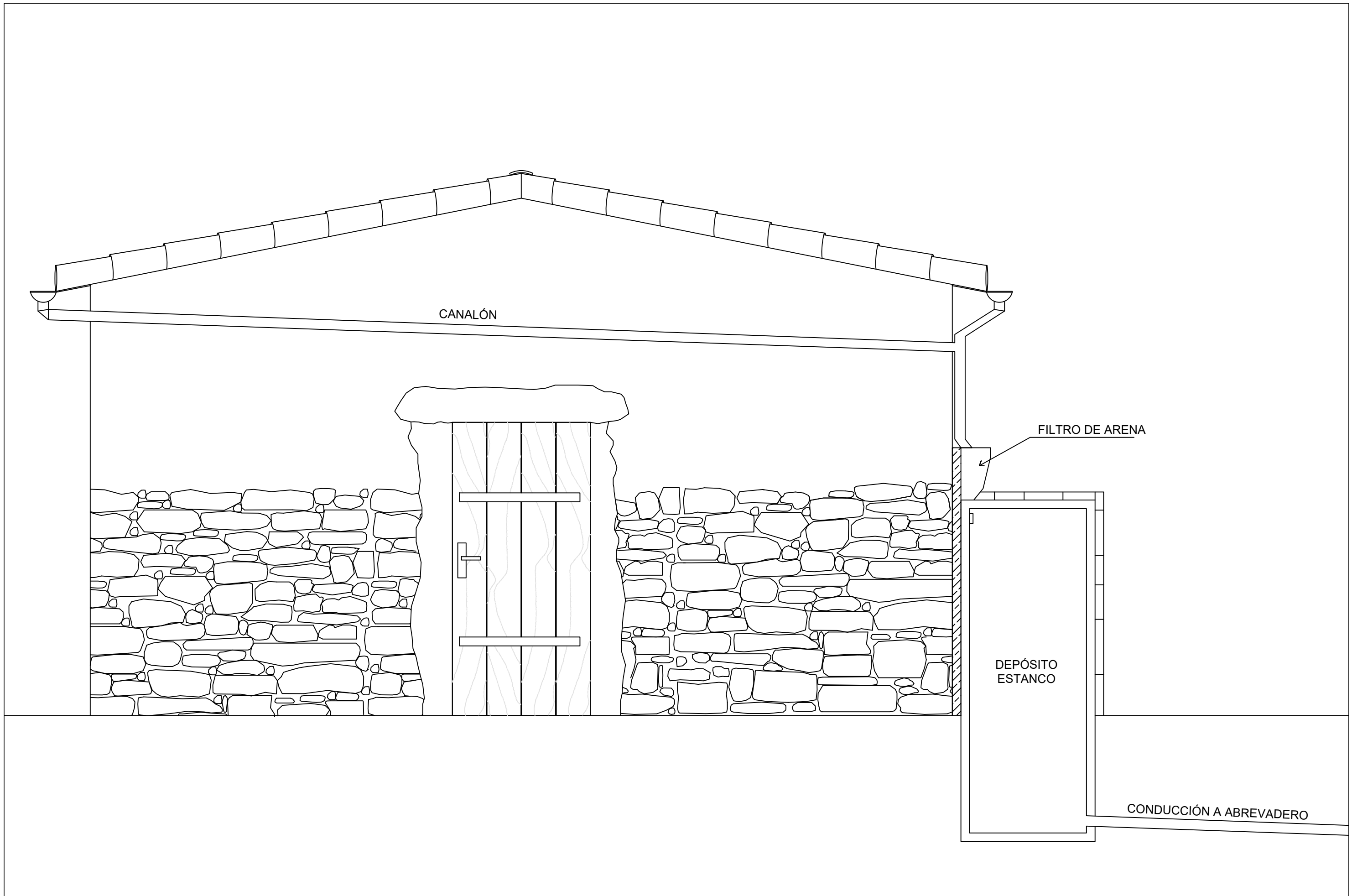




**LEYENDA**

**Alternativa 3 de captación y almacenamiento**

- Balsa seca
- Conducción
- Depósito
- Abrevadero



Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA AGRONÓMICA Y  
BIOCIENCIAS

NEKAZAL INGENIARITZAKO ETA  
BIOZIENTZIETAKO GOI MAILAKO  
ESKOLA TEKNIKOA



## **ANEXO. EVAPORACIÓN POTENCIAL EN LA SIERRA DE ARALAR**

Autor / Egilea:

Asier Ganboa Areta

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**UNIBERTSITATE MASTERRA NEKAZAL INGENIARITZAN**

Directora / Zuzendaria:

Rosa M<sup>a</sup> Canals Tresserras

Junio de 2023 / 2023ko Otsaila



TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción.....	2
2	Objetivo .....	2
3	Material y métodos .....	2
4	Resultados y discusión.....	3
5	Conclusiones.....	5
6	Referencias .....	6

## 1 Introducción

A la hora de determinar la eficiencia de almacenamiento de una balsa de agua, existen dos procesos que deben considerarse como principales causantes de pérdida de agua: la infiltración y la evaporación. Cuando se trata de balsas artificiales de nueva construcción, la primera de las causas queda anulada por la impermeabilización del vaso de la balsa, por lo que la única vía por la que pueden producirse pérdidas de agua es la evaporación.

En el caso de la Sierra de Aralar, dada su ubicación y el clima húmedo que tiene, existe una percepción generalizada de que las pérdidas por evaporación son reducidas y resultan insignificantes a la hora de diseñar los sistemas de almacenamiento de agua.

Sin embargo, tras las condiciones climáticas extraordinariamente áridas vividas en el año 2022 en el que se vivió una situación de escasez de agua para abrevada de ganado, y en una coyuntura de cambio climático en la que dichas condiciones áridas van a ser cada vez más recurrentes, resulta imprescindible cuantificar el efecto real que la evaporación genera sobre las balsas existentes en Aralar, de modo que pueda ser un factor a tener en cuenta a la hora de diseñar futuros sistemas de almacenamiento.

## 2 Objetivo

En el presente anexo, el cual se desarrolla en el marco de un TFM en el que se estudian y proponen alternativas para los almacenamientos de agua de abrevada en la Sierra de Aralar, se pretende cuantificar las pérdidas por evaporación existentes en las balsas de la Sierra de Aralar, con el objetivo de ofrecer datos reales que puedan contribuir a la concienciación de la necesidad de emplear sistemas cerrados que maximicen la eficiencia de los almacenamientos de agua de abrevada.

## 3 Material y métodos

El material empleado para el cálculo de la evaporación han sido los registros de la estación meteorológica de Aralar, de la cual se han obtenido los datos de temperatura, humedad relativa, radiación global y velocidad del viento de los últimos 10 años (2013-2022).

En cuanto al método, se ha empleado la simplificación de la ecuación de Penman propuesta por Edward T Linacre en 1993 (*Ecuación 1*):

*Ecuación 1. Simplificación de la ecuación de Penman (Linacre, 1993).*

$$E_0 = (0.015 + 0.00042T + 10^{-6}z) [0.8R_s - 40 + 2.5Fu(T - T_d)] (\text{mm day}^{-1})$$

Donde:

- $E_0$  = Evaporación potencial en mm ( $l/m^2$ );
- $T$  = temperatura media diaria en  $^{\circ}C$ ;
- $Z$  = altitud sobre el nivel del mar en m;
- $R_s$  = radiación solar en  $W/m^2$ ;
- $F$  = factor de corrección de la altitud, siendo  $F = 1 - 8,7 \times 10^{-5}z$ ;
- $T_d$  = temperatura de punto de rocío en  $^{\circ}C$ , calculada mediante la *Ecuación 2*:

Ecuación 2. Ecuación de temperatura de punto de rocío (Lawrence, 2005).

$$t_d = \frac{B_1 \left[ \ln \left( \frac{RH}{100} \right) + \frac{A_1 t}{B_1 + t} \right]}{A_1 - \ln \left( \frac{RH}{100} \right) - \frac{A_1 t}{B_1 + t}}$$

Donde:

- RH = humedad relativa en %;
- A y B = coeficientes de Magnus, 17,625 y 243,04 °C respectivamente.

#### 4 Resultados y discusión

Para comenzar, se ha calculado la evaporación potencial de las balsas de la Sierra de Aralar en el año 2022. Teniendo en cuenta que la ecuación utilizada es directamente dependiente de la altitud de la zona, cabe destacar que la evaporación potencial ha sido calculada para una altitud de 1194 m, altura a la que se encuentra la balsa artificial de Beloki. En la *Figura 1* se muestra la evaporación potencial mensual estimada para el año 2022, junto a la evaporación potencial mensual promedio de los últimos 10 años (2013-2022).

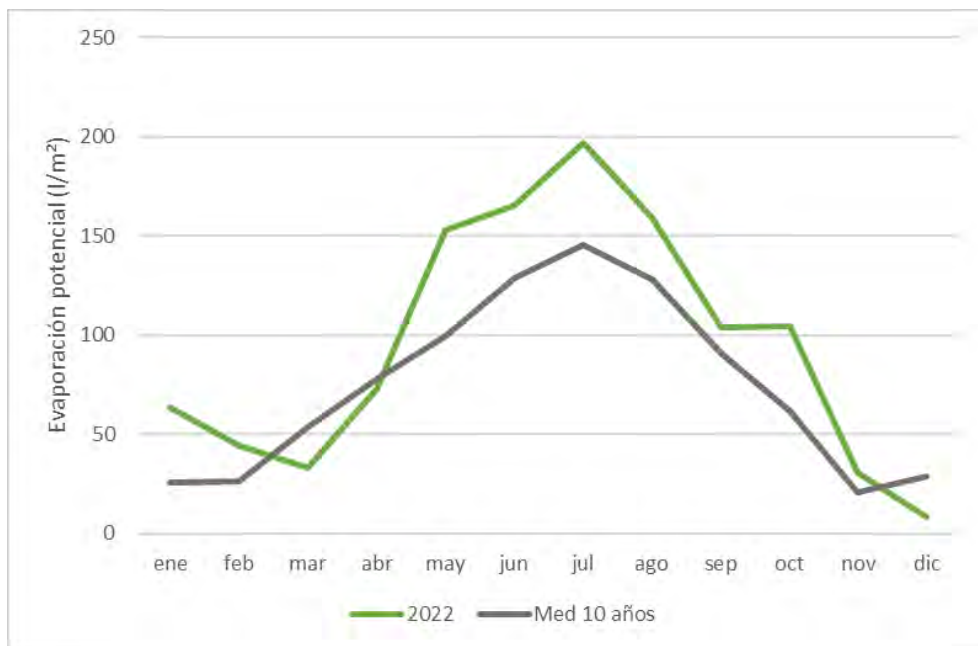


Figura 1. Comparación entre la evaporación mensual de 2022 frente a la media de los últimos 10 años (2013-2022).

El primer aspecto a destacar al observar la *Figura 1* es la subida de la tasa de evaporación potencial sufrida en el mes de mayo, a partir del cual comienza a ser considerablemente superior a la media de los últimos 10 años. Cotejando dicha información con los registros climáticos del año 2022 se observa que el despunte de las tasas de evaporación registrado en el mes de mayo coincide con el comienzo de la sequía prolongada padecida durante los meses estivales, en los cuales se dieron condiciones de mínimas precipitaciones de la mano de temperaturas excepcionalmente elevadas. Cabe subrayar que la temporada de pastoreo comienza precisamente a partir del mes de mayo.

De este modo, el pico de máxima evaporación potencial se dio en el mes de julio, con casi 200 l/m<sup>2</sup> de superficie inundada. Si se tiene en cuenta las potenciales pérdidas por evaporación sufridas durante la temporada de pastoreo del año 2022, es decir, durante los meses de mayo a septiembre (ambos

incluidos), se obtiene que dichas pérdidas fueron de 779,22 l/m<sup>2</sup>, un 68,6 % de las pérdidas anuales (1.135,5 l/m<sup>2</sup>).

Para poder poner en contexto dichas pérdidas anuales, se realiza el gráfico mostrado en la *Figura 2*, en el cual se recogen las evaporaciones potenciales anuales de los últimos 10 años. Analizando dicha figura, puede observarse como la evaporación potencial del año 2022 es la más alta registrada desde el año 2013, estando un 28 % por encima de la media de la media de los últimos 10 años (887 l/m<sup>2</sup>).

Si bien es cierto que las condiciones meteorológicas registradas en el año 2022 son excepcionales, cabe destacar que la actual coyuntura de cambio climático indica a que eventos de sequía prolongada y elevadas temperaturas van a ser cada vez más recurrentes en un futuro cercano. En este sentido, puede observarse como la línea de tendencia de la *Figura 2* es de carácter ascendente, indicando un aumento gradual de la evaporación potencial anual.

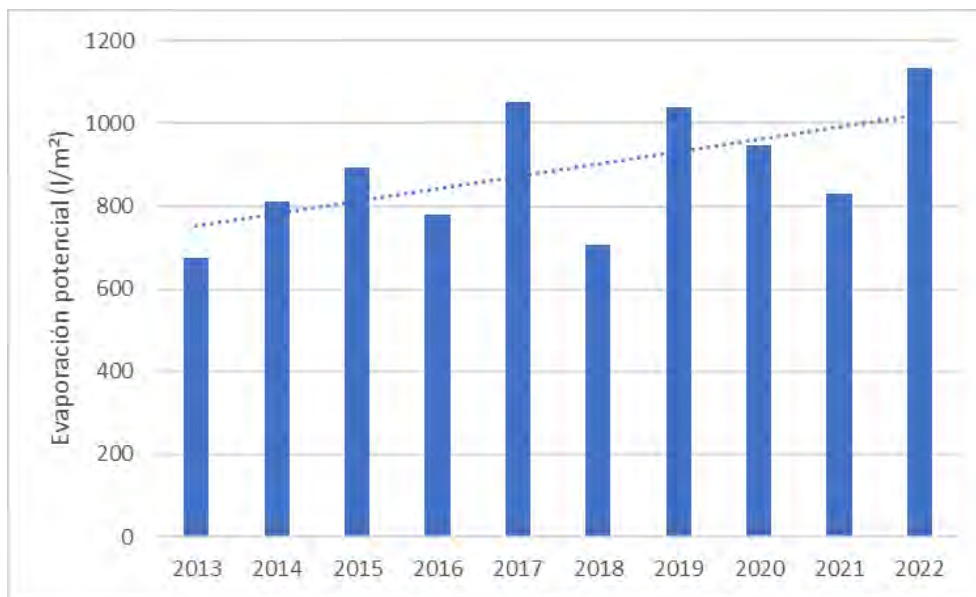


Figura 2. Evaporación potencial anual en la Sierra de Aralar entre 2013 y 2022.

En el año 2008 se publicó un artículo en el que se calcularon las tasas de evaporación en 7 embalses del Pirineo (López, 2008). En dicho artículo, se calcularon, no solo las tasas de evaporación potencial, sino que también se cuantificaron las pérdidas totales por evaporación en base a la superficie de inundación de cada uno de los embalses (*Tabla 1*).

Tabla 1. Valores anuales de evaporación y pérdidas de agua en embalses del Pirineo (López, 2008).

	Yesa	Lanuza	Búbal	Mediano	El Grado	Barasona	Santa Ana
Capacidad de embalsado (hm <sup>3</sup> )	446.9	16.9	64.3	436.4	399.5	92.2	237.0
Máxima superficie inundada (ha)	2148.0	96.0	233.0	1264.0	1109.0	705.0	832.0
Ratio volumen embalsado-superficie inundada	0.2	0.2	0.3	0.4	0.36 (0.23)	0.1	0.3
Aportación al embalse	1327.7	262.1	429.3	1293.1	1446.5	833.4	684.0
Evaporación anual (mm m <sup>2</sup> )	1332.0	1152.0	1310.0	1366.0	1385.0	1413.0	1336.0
Pérdida anual por Evaporación (hm <sup>3</sup> )	22.0	1.0	2.3	17.4	11.4	5.1	7.4
Pérdida anual (%volumen embalsado)	4.9	5.6	3.5	4.0	2.8 (4.4)	5.6	3.1
Pérdida anual (% de la aportación anual que reciben)	1.7	0.4	0.5	1.3	0.8	0.6	1.1
Precipitación directa sobre la lámina de agua	13.1	1.1	2.0	9.6	6.3	3.4	2.3
Balance Precipitación-Evaporación	-8.9	0.1	-0.2	-7.9	-5.1	-1.7	-5.1



Para analizar la *Tabla 1* es importante tener en cuenta que la mayoría de los embalses incluidos en el estudio de López (2008) se encuentran en altitudes considerablemente inferiores a la de las balsas de Aralar, con la única excepción del embalse de Lanuza, el cual se encuentra a 1283 m de altitud. Dicho esto, puede observarse como la evaporación sufrida en las balsas de Aralar en el año 2022, se acerca a valores semejantes a los registrados por López en el embalse de Lanuza, a pesar de encontrarse en una zona de clima más húmedo y templado que el de los Pirineos.

Si bien es cierto que el año 2022 puede considerarse un año anómalo en lo que a condiciones climáticas se refiere, los datos aportados indican que la tendencia ascendente de las tasas de evaporación anuales se acerca gradualmente a tasas de evaporación hasta ahora registradas en climas continentales más secos y calurosos.

En cuanto a la evaporación real sufrida por las balsas de Aralar, resulta difícil de cuantificar por los siguientes motivos:

- No existen registros de recargas y descargas de agua en las balsas de Aralar, así como de la evolución de la superficie inundada a lo largo del año.
- Se trata de balsas naturalizadas, a menudo con vegetación flotante que puede reducir la evaporación real frente a la potencial estimada.

Por lo tanto, a fin de poder cuantificar el volumen real de las pérdidas de agua de las balsas existentes en Aralar, resultaría de gran interés el estudio de la evolución de la superficie inundada (mediante el registro de entradas y salidas), así como el efecto que la vegetación flotante genera sobre la evaporación potencial.

## 5 Conclusiones

1. Las pérdidas por evaporación sufridas en Aralar en el año 2022 fueron las más elevadas de los últimos 10 años, siendo semejante a evaporaciones existentes en el embalse de Lanuza, en el Pirineo de Huesca.
2. De media, la tasa de evaporación potencial en las balsas de Aralar es de 887 l/m<sup>2</sup>.
3. Las tasas de evaporación registradas entre el año 2013 y el 2022 indican una tendencia ascendente.
4. Se requiere de registros de superficie inundada y de estudios que analicen el efecto de la vegetación flotante para poder cuantificar volúmenes de evaporación real de las balsas de Aralar.

## 6 Referencias

- Lawrence, MG (2005). The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air: A Simple Conversion and Applications. *Bulletin of American Meteorological Society*, 86(2): 225-234. Obtenido de [https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/86/2/bams-86-2-225.xml?tab\\_body=abstract-display](https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/86/2/bams-86-2-225.xml?tab_body=abstract-display)
- Linacre, ET (1993). Data-sparse estimation of lake evaporation, using a simplified Penman equation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 64(3-4): 237-256. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/016819239390031C?via%3Dihub>
- Lopez, JI (2008). Estimación de pérdidas de agua por evaporación en embalses del Pirineo. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, (34): 61-81. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2762772.pdf>