

## 8. Anexos

### 8.1. Anexo I. Mapas temáticos y topográficos

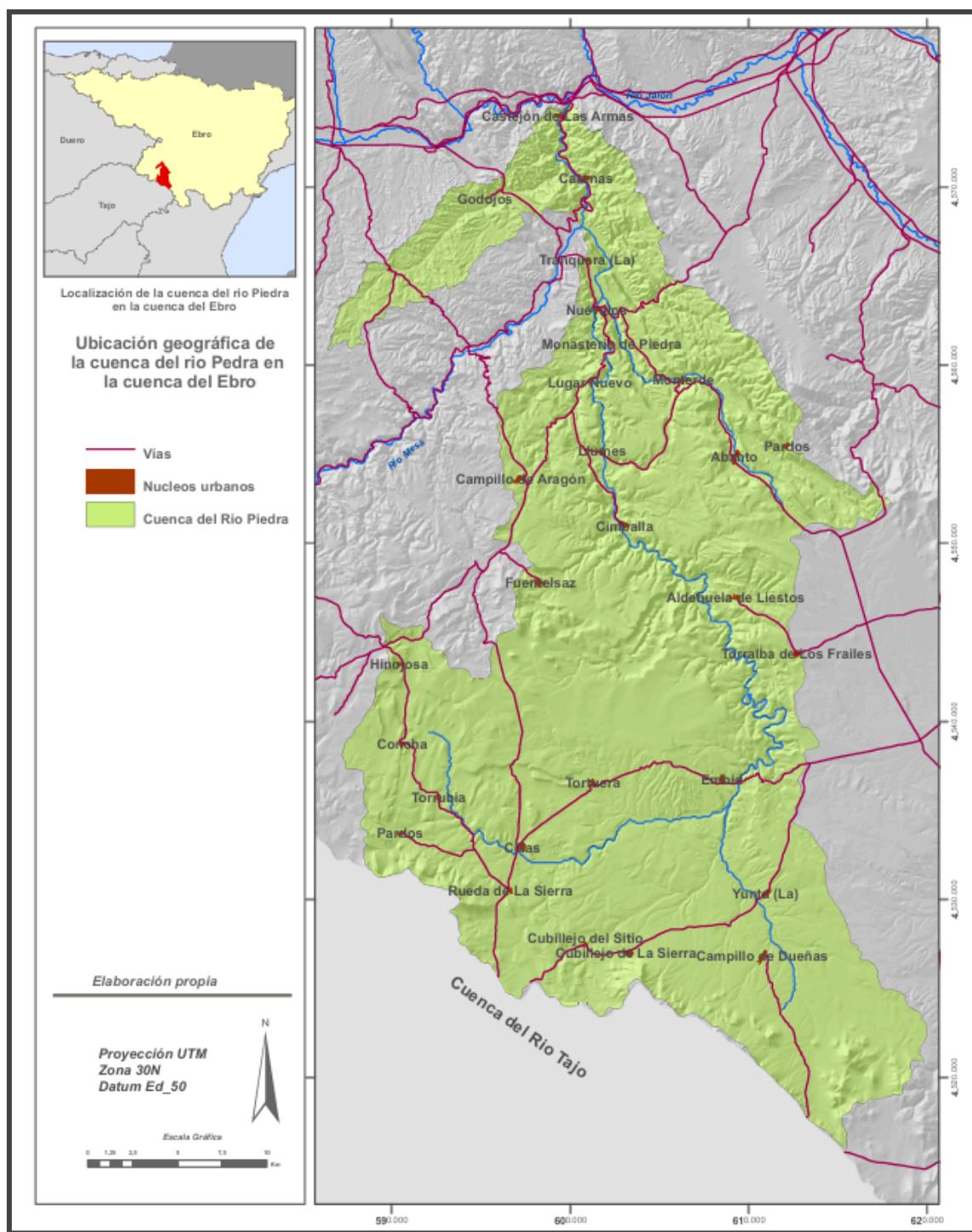


Figura 32. Ubicación geográfica de la cuenca del Río Piedra en la cuenca del Ebro.

Fuente: Adaptado de B. T. Miranda Mojica, 2010.

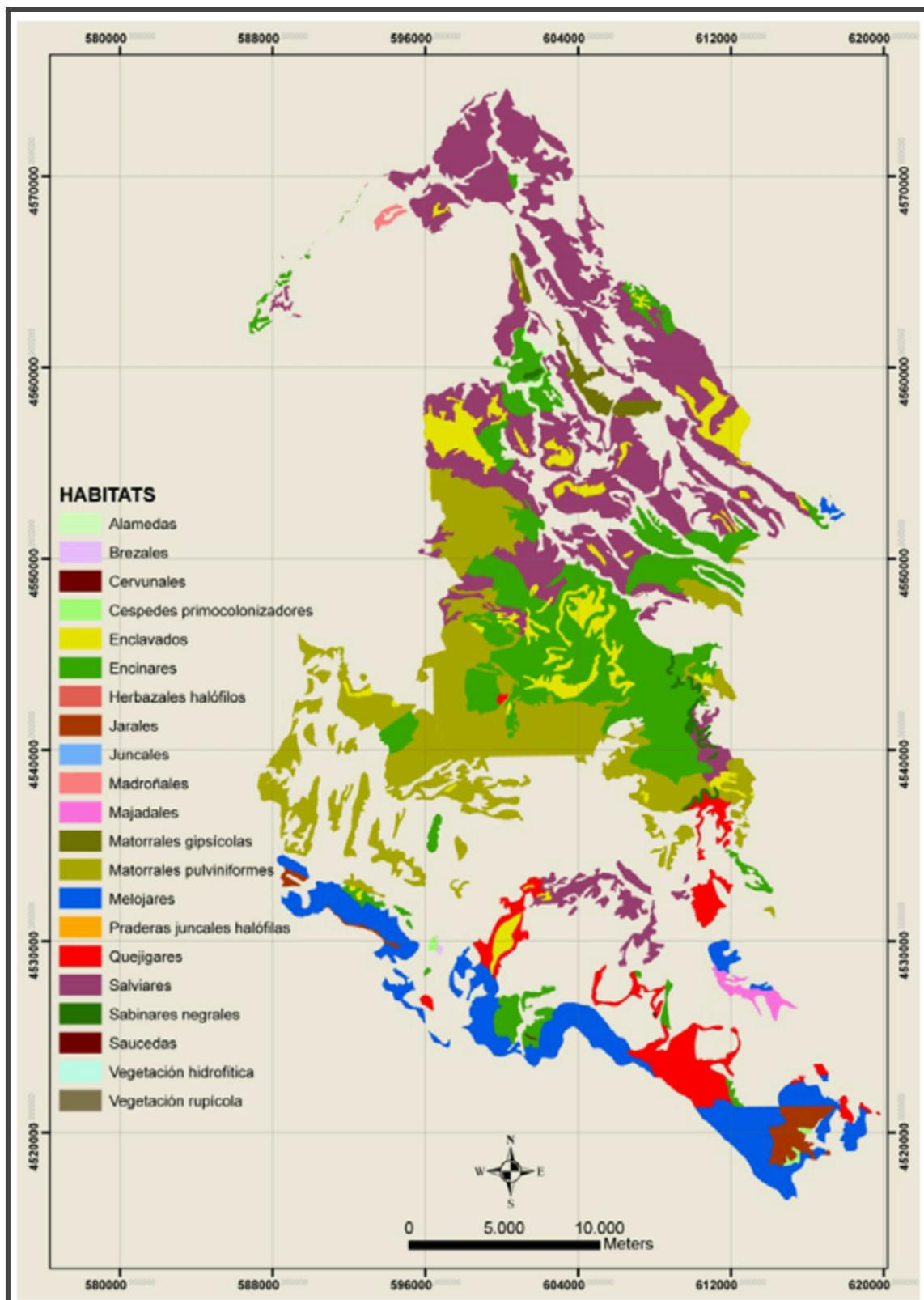


Figura 33. Mapa de distribución de hábitats en la cuenca del río Piedra.

Fuente: Adaptado de B. T. Miranda Mojica, 2010.

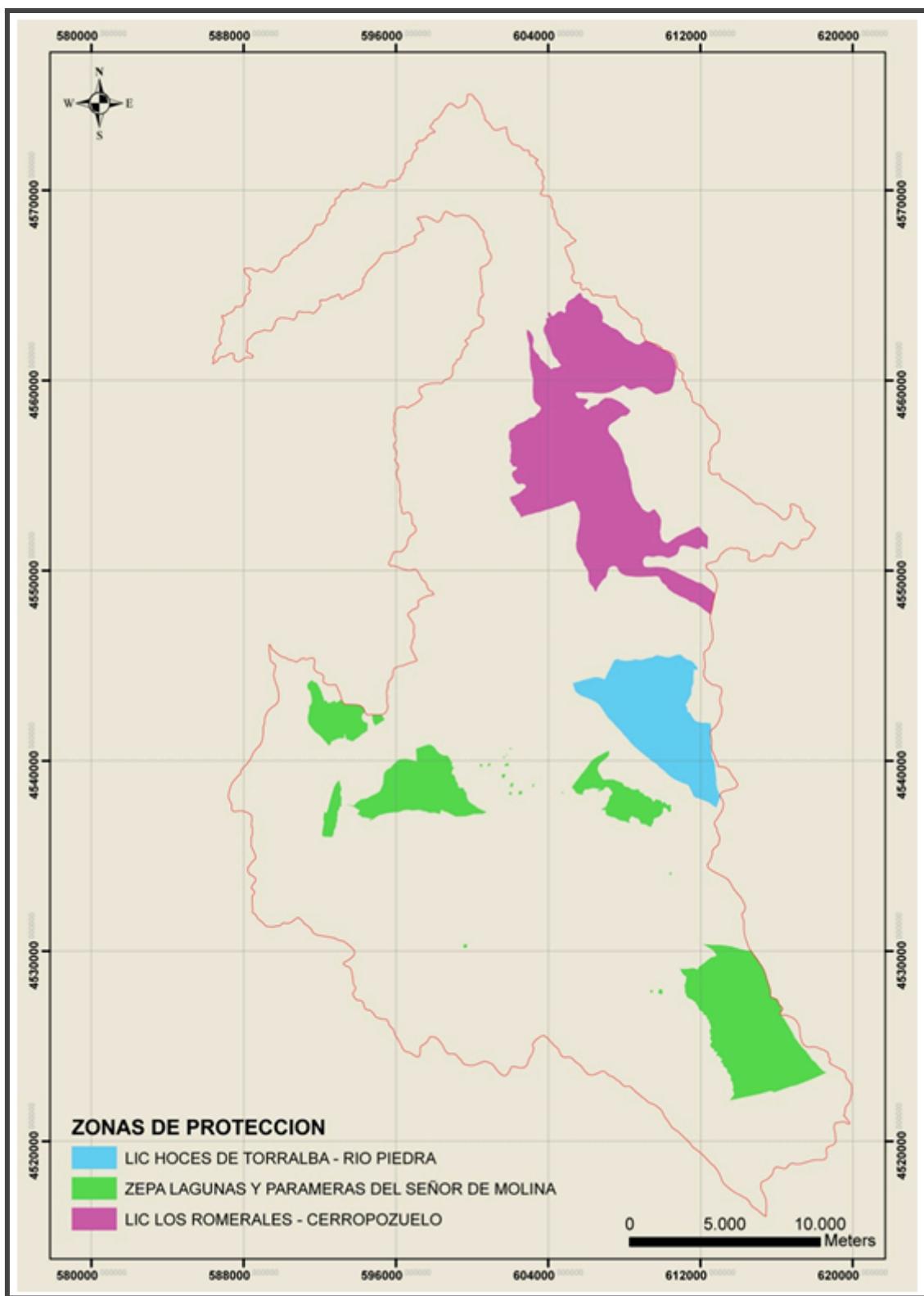


Figura 34. Mapa de delimitación de los espacios naturales protegidos en la cuenca del Piedra.

Fuente: Adaptado de B. T. Miranda Mojica, 2010.

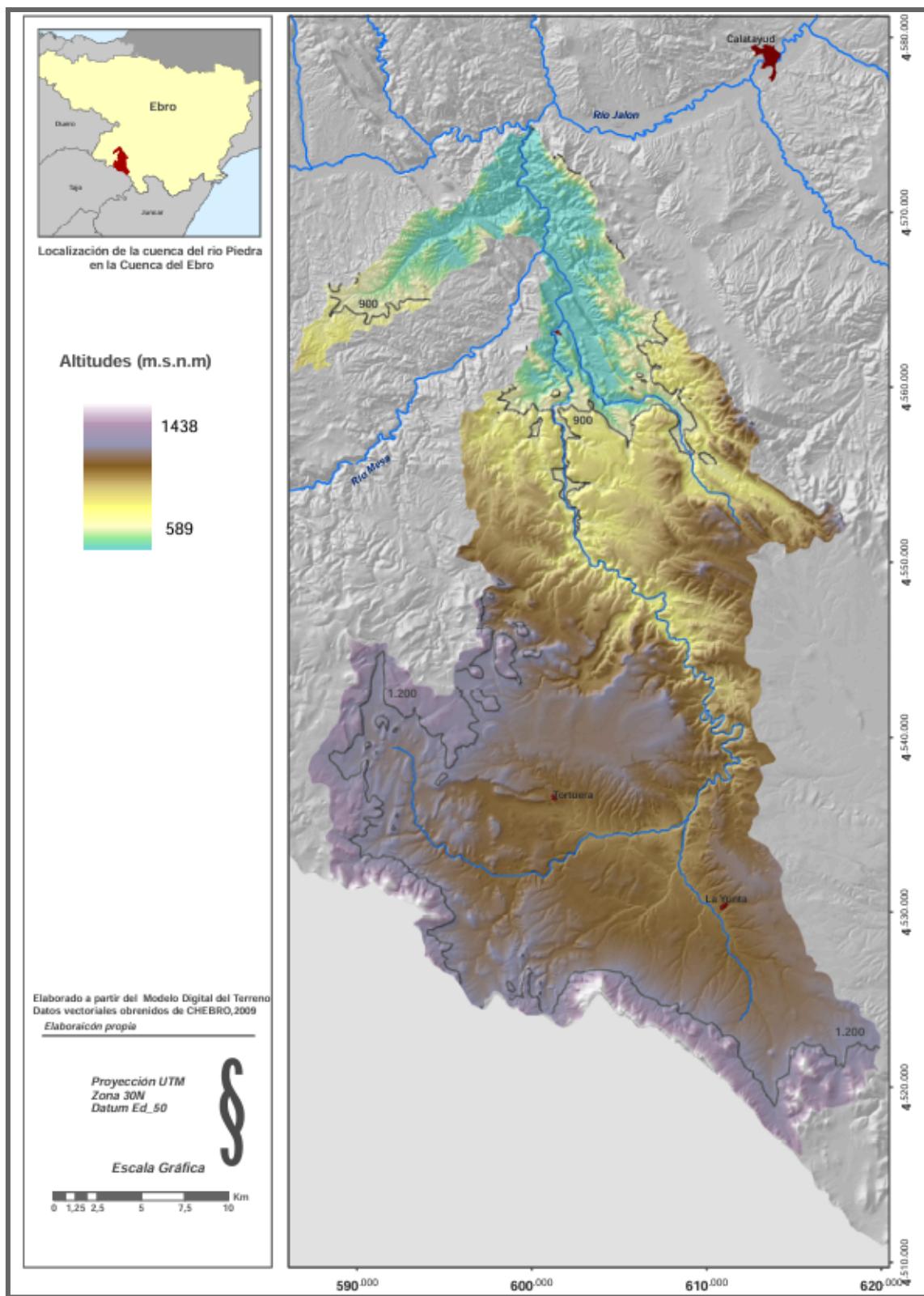


Figura 35. Mapa de altitudes de la cuenca del río Piedra.

Fuente: Adaptado de B. T. Miranda Mojica, 2010.

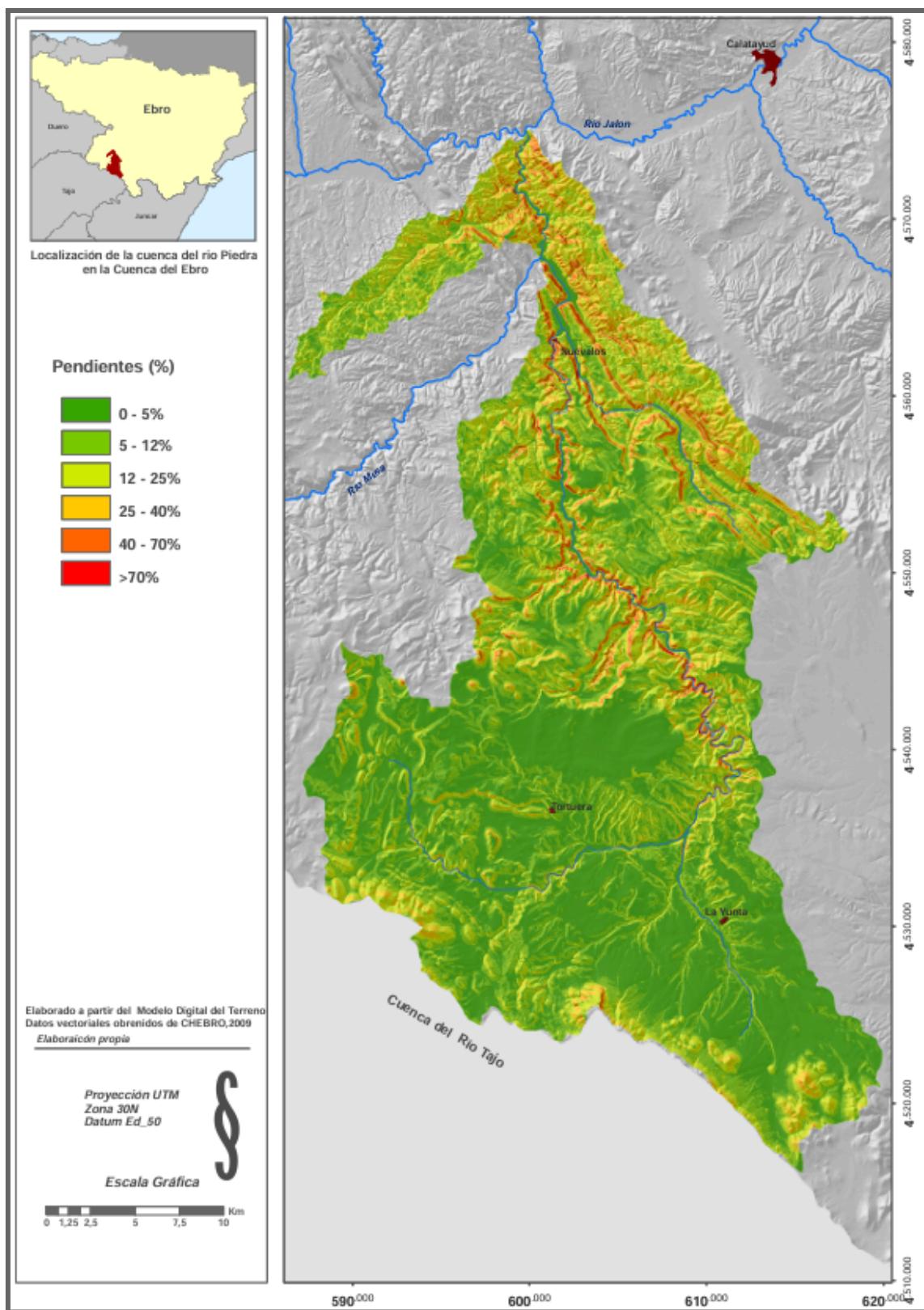


Figura 36. Mapa de pendientes (%) de la cuenca del río Piedra.

Fuente: Adaptado de B. T. Miranda Mojica, 2010.

## 8.2. Anexo II. Análisis complementario de resultados.

### 8.2.1. Evolución temporal del suelo en cada localidad.

### 8.2.2. Textura del suelo.

A lo largo del recorrido del río Piedra, desde sus tramos altos como en Cimballa hasta los más bajos en Nuévalos, se han identificado patrones texturales en el suelo que podrían estar condicionados por la dinámica fluvial. Desde una perspectiva sedimentaria, es esperable que los tramos más altos, como Cimballa, tiendan a acumular partículas más gruesas (como la arena), mientras que los tramos medios y bajos (Llumes y Nuévalos) acumulen materiales más finos, como limo y arcilla, debido a la menor energía del flujo. No obstante, intervenciones como la recreación de zonas inundables en Nuévalos podrían favorecer la sedimentación de partículas más gruesas en esa zona, alterando el patrón esperable. Este contexto permite interpretar las variaciones observadas en la fracción textural del suelo de forma más integrada.

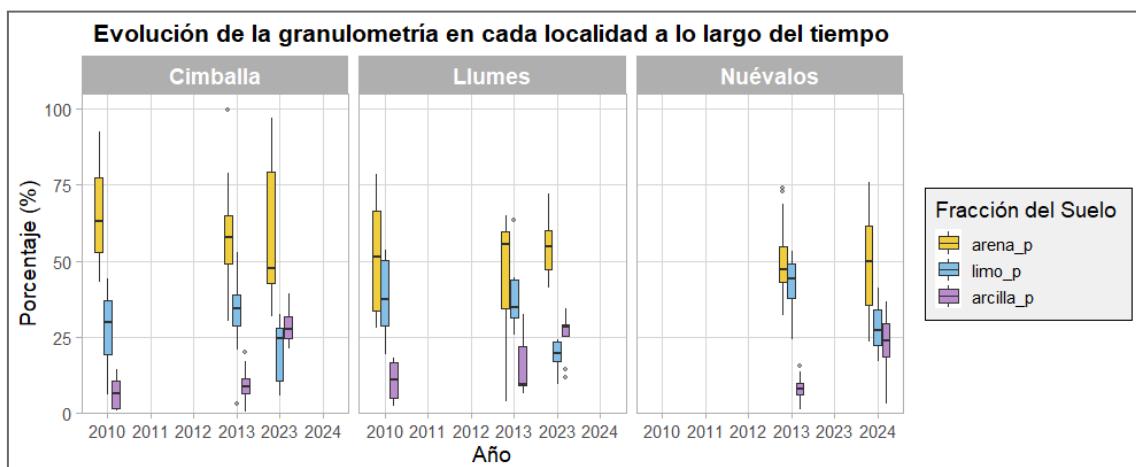


Figura 37. Evolución de la granulometría a lo largo del tiempo según la localidad. Fuente: elaboración propia.

Comenzando por **Cimballa** en el año 2010, el suelo presentaba un claro predominio de arena (63 %), seguido de limo ( $\approx$ 30 %) y un bajo contenido de arcilla ( $\approx$ 7 %), lo que corresponde a una textura franco-arenosa según el triángulo textural (Figura 6). Con el paso del tiempo, especialmente en 2023, se observa una reducción progresiva del contenido de arena ( $\approx$ 48 %) y un aumento significativo de la arcilla ( $\approx$ 26 %), mientras que el limo también desciende ligeramente ( $\approx$ 24 %). Esto indica un cambio hacia una textura más franca, posiblemente favorecido por las actuaciones de recreación de hábitats y eliminación de barreras, que aumentaban la complejidad del cauce y reducían la capacidad de arrastre de sedimentos gruesos.

Tabla 23. Mediana del porcentaje de fracciones texturales (arena, limo y arcilla) en Cimballa en los años muestreados. Fuente: elaboración propia.

Localidad	Año	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
Cimballa	2010	63.098	29.699	6.588
	2013	57.785	34.317	8.159
	2023	47.616	24.539	25.569

En la localidad de **Llumes**, en el año 2010 el suelo presentaba una composición granulométrica más equilibrada que en Cimballa, con aproximadamente un 51 % de arena, 37 % de limo y 11 % de arcilla. Según el triángulo textural (Figura 6), este suelo se clasifica como franco-arenoso, aunque muy próximo a la categoría franca, debido a la proporción relativamente alta de limo y arcilla. En 2013, se observa un ligero aumento en el contenido de arena ( $\approx 56\%$ ), acompañado de una reducción tanto del limo ( $\approx 35\%$ ) como de la arcilla ( $\approx 10\%$ ).

Sin embargo, en 2023 se produce un cambio más acusado en la composición del suelo: el contenido en limo desciende notablemente hasta alcanzar aproximadamente un 20 %, mientras que la arcilla aumenta hasta un 28 %. La fracción arenosa, por su parte, se mantiene prácticamente constante. Esta evolución sugiere una transición hacia una textura más franca, posiblemente influenciada por las actuaciones de reperfilado de orillas y plantación de vegetación riparia, que favorecieron la retención de partículas más finas y la estabilización del sustrato.

Tabla 24. Mediana del porcentaje de fracciones texturales (arena, limo y arcilla) en Llumes en los años muestreados. Fuente: elaboración propia.

Localidad	Año	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
Llumes	2010	51.345	37.395	11.140
	2013	55.670	34.811	9.518
	2023	54.888	19.737	28.281

Aunque solo se dispone de datos para 2013 y 2024, el suelo de **Nuévalos** muestra una evolución clara en su composición textural. En 2013, presentaba una textura franca, con un equilibrio entre fracciones ( $\approx 47\%$  de arena,  $\approx 44\%$  de limo y  $\approx 8\%$  de arcilla), lo que sugiere buenas condiciones de retención hídrica, aireación y drenaje. En 2024, sin embargo, se observa un cambio hacia una textura más franco-arenosa, con un aumento de la arena ( $\approx 50\%$ ) y de la arcilla ( $\approx 24\%$ ), y una notable disminución del limo ( $\approx 27\%$ ).

Este cambio podría estar vinculado con la creación de una zona inundable en el tramo restaurado, una actuación que pudo haber favorecido la deposición de sedimentos más gruesos durante los eventos de crecida, al tiempo que permitía la acumulación progresiva de partículas finas como la arcilla. Esta intervención habría modificado el

patrón clásico de gradiente longitudinal, estabilizando materiales en una zona donde tradicionalmente se esperarían sedimentos más finos.

Los resultados sugieren que las actuaciones de restauración han influido en la redistribución de las fracciones texturales del suelo. En general, se observa un aumento progresivo del contenido en arcilla y una tendencia hacia texturas más francas en todas las localidades, posiblemente favorecido por una menor erosión, mayor cobertura vegetal y cambios en la dinámica fluvial tras la restauración.

Tabla 25. Mediana del porcentaje de fracciones texturales (arena, limo y arcilla) en Nuévalos en los años muestreados. Fuente: elaboración propia.

Localidad	Año	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
Nuévalos	2013	47.310	44.111	7.897
	2024	49.990	27.405	23.789

### 8.2.3. Materia Orgánica.

En **Cimballa**, se observa una evolución oscilante del contenido de materia orgánica (MO) a lo largo del periodo analizado. En 2010, el contenido de materia orgánica (MO) era moderado ( $\approx 5,85\%$ ). A lo largo de los siguientes años se observa una ligera oscilación, con un descenso en 2011 (3,10 %) y una recuperación progresiva en los años posteriores. En 2023, la MO alcanza su valor más alto, con un valor de un 5,96 %, superando incluso los niveles pre-restauración. Este repunte puede estar vinculado a las intervenciones realizadas en esta localidad, como la eliminación de barreras y la recreación de hábitats, que habrían favorecido la acumulación de materia orgánica a través del aumento de la cobertura vegetal, la menor escorrentía y el asentamiento de sedimentos más estables en el cauce.

En **Llumes**, el contenido de MO era inicialmente algo superior al de Cimballa en 2010, con un valor de un 6,08 %, pero mostró una tendencia descendente en los años siguientes, con mínimos en 2011 (4,29 %). No obstante, a partir de 2012 la MO comenzó a recuperarse hasta alcanzar aproximadamente un 6,31 % en 2023. Esta recuperación, similar a la observada en Cimballa, podría estar vinculada a las actuaciones realizadas en ambas localidades, como la eliminación de barreras y recreación de hábitats, que favorecieron una mayor estabilidad del suelo y una mejora en el desarrollo de vegetación, contribuyendo así al incremento de materia orgánica en el suelo.

En **Nuévalos**, los valores de MO fueron considerablemente superiores en la fase inicial respecto a las demás localidades, alcanzando un 10,56 % en 2011 y un pico del 11,58 % en 2013. Este elevado contenido podría explicarse por una mayor deposición de materia vegetal y sedimentos finos, así como por las condiciones favorables de acumulación generadas tras la restauración y la creación de una zona inundable. Sin embargo, en 2024 se detectó un descenso notable (6,83 %), posiblemente relacionado

con la propia dinámica de la zona inundable, donde los pulsos de inundación recurrentes podrían haber favorecido una mayor reciclado de nutrientes, como la materia orgánica y, por tanto, una menor acumulación en el suelo.

Tabla 26. Mediana del porcentaje de la materia orgánica en las distintas localidades en los años muestreados. Fuente: elaboración propia.

Localidad	Año	Materia Orgánica (%)
Cimballa	2010	5.849
	2011	3.101
	2012	4.115
	2013	4.738
	2023	5.956
Llumes	2010	6.082
	2011	4.293
	2012	5.705
	2013	5.896
	2023	6.314
Nuévalos	2011	10.567
	2012	9.352
	2013	11.578
	2024	6.831

## Distribución de mo\_p por año y localidad

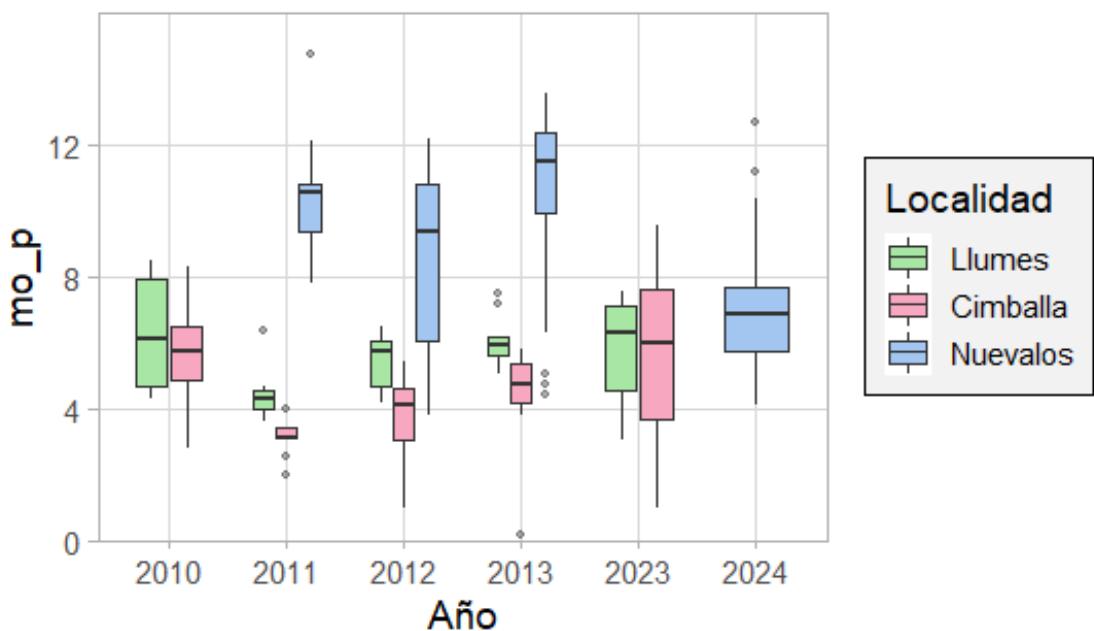


Figura 38. Distribución de la Materia Orgánica a lo largo del tiempo según las localidades.

Fuente: elaboración propia.

### 8.2.4. Humedad relativa.

En **Cimballa**, el porcentaje de humedad relativa en 2010 fue de aproximadamente un 11,66 %. Sin embargo, descendió de forma drástica en 2011 y 2012 alcanzando valores de 2,24% y 3,26%, respectivamente. Este descenso puede estar vinculado a una menor capacidad del suelo para retener agua tras la intervención inicial, o a condiciones hidrológicas puntuales menos favorables. A partir de 2013, la humedad aumentó nuevamente (12,67 %) y en 2023 alcanzó el valor más alto del periodo de estudio, con un valor de 14,21 %, lo que podría reflejar una mejora paulatina en la estructura del suelo y en su capacidad de retención tras años de estabilización post-restauración. Esta recuperación sugiere cierta resiliencia del ecosistema restaurado, capaz de revertir las condiciones iniciales desfavorables con el paso del tiempo.

En **Llumes**, los valores iniciales fueron similares a los de Cimballa, con un 11,59 % en 2010. Además, en 2011 también se registró un descenso marcado (4,62 %), seguido de una recuperación progresiva durante los años siguientes. En 2023, el valor se estabilizó en torno al 10,42 %, lo que podría interpretarse como una señal de recuperación de las propiedades edáficas gracias a la reconfiguración morfológica del cauce y la revegetación. Al igual que en Cimballa, esta evolución sugiere una respuesta positiva del suelo a las actuaciones de restauración, mostrando cierta capacidad de adaptación y mejora estructural a largo plazo.

En **Nuevalos**, la humedad relativa se registró por primera vez en 2011 con un valor del 8,39 %, el más bajo entre las tres localidades en ese momento. En 2012 descendió ligeramente hasta un 4,11 %, pero en 2013 aumentó hasta alcanzar un 12,14 %. El

cambio más llamativo ocurre en 2024, año en el que la humedad relativa asciende hasta un 22,52 %, valor muy superior al registrado en años previos. Este aumento puede estar relacionado con la creación de una zona de inundación en esta localidad, que favorecería una mayor retención hídrica en el suelo debido a la prolongada presencia de agua o a una saturación de agua más frecuente, favoreciendo condiciones de mayor humedad.

Tabla 27. Mediana del porcentaje de la humedad relativa en las distintas localidades en los años muestreados. Fuente: elaboración propia.

Localidad	Año	Humedad Relativa (%)
Cimballa	2010	11.660825
	2011	2.243920
	2012	3.259356
	2013	12.667331
	2023	14.205360
Llumes	2010	11.595000
	2011	4.619679
	2012	8.951702
	2013	10.962974
	2023	10.424324
Nuévalos	2011	8.386935
	2012	4.106179
	2013	12.139626
	2024	22.523039

## Distribución de HR\_p por año y localidad

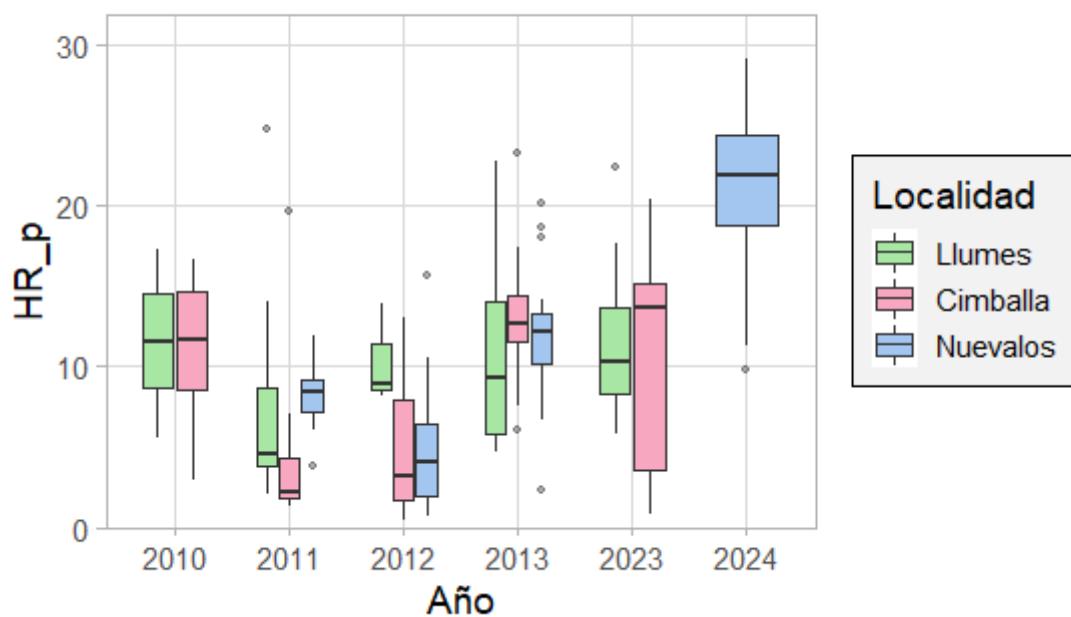


Figura 39. Distribución de la humedad relativa a lo largo del tiempo según las localidades.  
Fuente: elaboración propia.

### 8.2.5. Carbono Total.

En **Cimballa**, el porcentaje de carbono total fue de aproximadamente un 5,7 % en 2010. En 2012 se detectó un ligero descenso (5,2 %), seguido de una estabilización en 2013, sin cambios relevantes. Sin embargo, en 2023 se observa una recuperación, alcanzando un 6,79 %, valor incluso superior al registrado al inicio del periodo. Esta tendencia podría reflejar una mejora progresiva en la capacidad del suelo para acumular carbono, posiblemente relacionada con el desarrollo de la vegetación y la consolidación de las especies implantadas tras la restauración y coherente con el incremento observado previamente en la materia orgánica de la misma localidad.

En **Llumes**, el porcentaje de carbono total en 2010 fue algo superior al de Cimballa, con un valor de 6,89%. A lo largo de los años muestreados, la tendencia general fue de aumento: en 2012 se alcanzó un 8,40 %, seguido de un leve descenso en 2013. En 2023, el valor volvió a incrementarse hasta un 9,04 %. Como en el caso de Cimballa, los valores finales superaron a los iniciales, lo que sugiere una mejora sostenida en la capacidad del suelo para acumular carbono. Esta evolución podría atribuirse a los efectos de las intervenciones de restauración aplicadas en ambas localidades, como la consolidación debida a la revegetación de especies y el incremento de materia orgánica visto en el apartado anterior.

En **Nuévalos**, donde el muestreo comienza en 2012, los niveles de carbono total fueron notablemente más altos que el resto de localidades desde el inicio (9,98 %), con un ligero aumento en 2013 (10,24 %) y otro en 2024, alcanzando un valor de un 10,70 %. Aunque no se dispone de datos para 2023, la tendencia general muestra una evolución estable y ascendente a lo largo del periodo de estudio. A diferencia de las

otras localidades, este patrón no va acompañado de un contenido igualmente elevado de materia orgánica.

Tabla 28. Mediana del porcentaje del carbono total en las distintas localidades en los años muestreados. Fuente: elaboración propia.

Localidad	Año	Carbono Total (%)
Cimballa	2010	5.7385
	2012	5.2300
	2013	5.1990
	2023	6.7900
Llumes	2010	6.8980
	2012	8.4050
	2013	8.2270
	2023	9.0400
Nuévalos	2012	9.9850
	2013	10.2350
	2024	10.7000

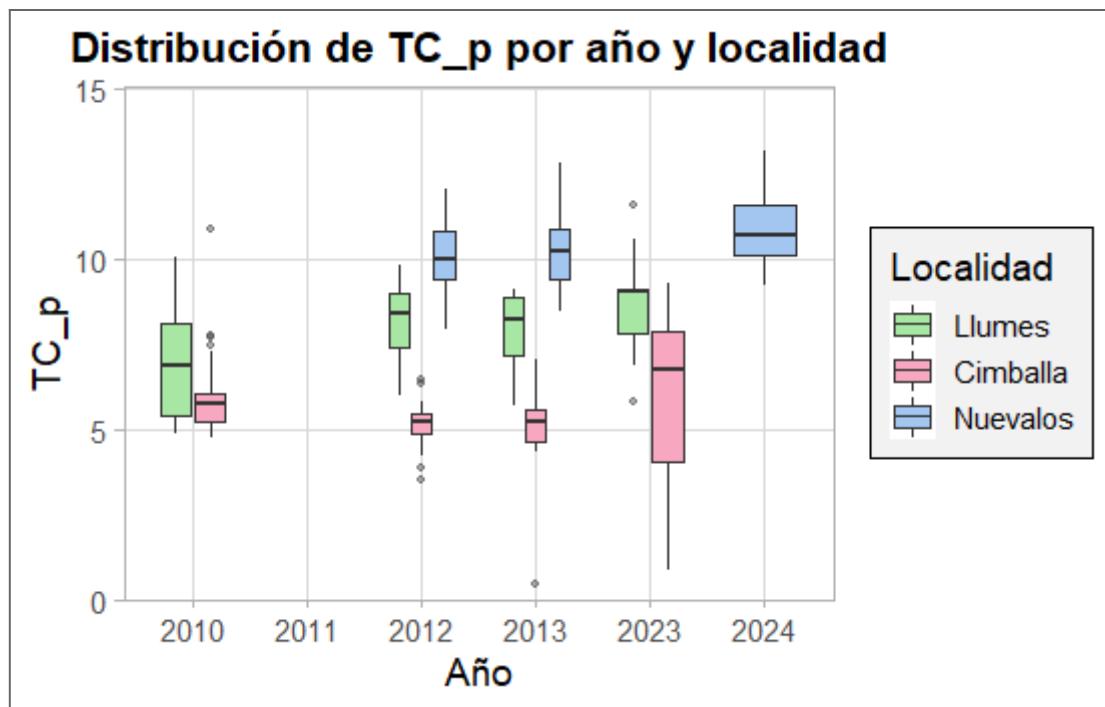


Figura 40. Distribución del Carbono Total a lo largo del tiempo según las localidades. Fuente: elaboración propia.

### 8.2.6. Nitrógeno Total.

**Cimballa** presentó en 2010 un contenido de nitrógeno total de aproximadamente un 0,13 %. Aunque en 2011 no se tomaron datos, en 2012 se detectó un leve incremento (0,15 %), seguido de una ligera disminución en 2013, situándose en valores similares a los iniciales. En 2023 se observó un aumento más acusado hasta alcanzar un 0,20 %. Esta evolución podría estar relacionada con una mejora en el funcionamiento edáfico del sistema, en respuesta a las actuaciones de restauración, como la revegetación y el aumento de la humedad edáfica, que favorecen la retención y el reciclado de nutrientes.

En **Llumes**, el patrón fue similar. En 2010, la mediana fue ligeramente inferior (0,11 %), y tras el aumento registrado en 2012 (0,16 %), se produjo una pequeña bajada en 2013. En 2023, el valor volvió a incrementarse hasta un valor de un 0,20 %, coincidiendo con el observado en Cimballa. Esta convergencia entre ambas localidades a lo largo del tiempo sugiere que las medidas de restauración aplicadas, similares en ambos casos, podrían haber favorecido la acumulación progresiva de nitrógeno en el suelo.

En **Nuévalos**, el muestreo comienza en 2012, un año después de las actuaciones de restauración, por lo que no se dispone de datos previos que permitan valorar el estado original del suelo. Aun así, los niveles de nitrógeno total registrados desde el inicio fueron notablemente más altos que en el resto de localidades, con una mediana del 0,33 %, que aumentó en 2013 (0,39 %) y disminuyó ligeramente en 2024 (0,25 %). A diferencia de la materia orgánica, que puede reducirse por el reciclado rápido asociado a las inundaciones, el nitrógeno podría haberse mantenido elevado gracias a la mayor humedad registrada en el suelo, así como a las condiciones creadas por la

restauración ecológica. La habilitación de una llanura de inundación funcional, junto con la revegetación con especies palustres y la mejora en la estructura del suelo, pudo favorecer la retención de sedimentos finos y potenciar los procesos biogeoquímicos, como la mineralización o la nitrificación, facilitando así la acumulación de nitrógeno en formas más estables.

Tabla 29. Mediana del porcentaje del nitrógeno total en las distintas localidades en los años muestreados. Fuente: elaboración propia.

Localidad	Año	Nitrógeno Total (%)
Cimballa	2010	0.133500
	2012	0.150790
	2013	0.134500
	2023	0.201000
Llumes	2010	0.110000
	2012	0.160035
	2013	0.126000
	2023	0.205000
Nuévalos	2012	0.329550
	2013	0.387500
	2024	0.254000

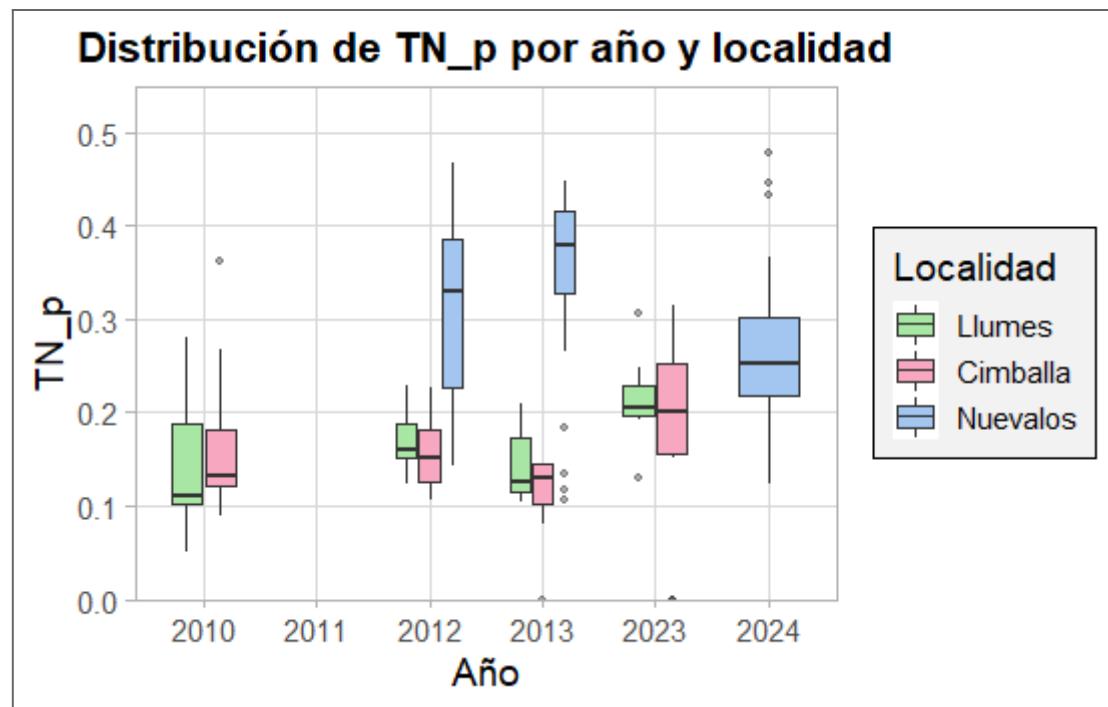


Figura 41. Distribución del Nitrógeno Total a lo largo del tiempo según las localidades. Fuente: elaboración propia.

### 8.2.7. Fósforo.

En **Cimballa**, el contenido de fósforo en 2010 fue relativamente elevado, con una mediana de 5,25 %. Tras las actuaciones de restauración llevadas a cabo, en el año 2011, se produjo un descenso drástico en los niveles de este nutriente, alcanzando un valor de un 0,70 %. En 2012 el valor aumentó nuevamente hasta situarse en torno al 2,07 %. Un año después, en 2012, se observó una cierta recuperación del fósforo total (2,07 %), aunque sin alcanzar los valores iniciales. Finalmente, en 2023, la concentración volvió a reducirse hasta un 0,23 %, lo que podría interpretarse como un signo de estabilización del sistema en niveles bajos de fósforo, posiblemente favorecido por la retirada de la mota y la recreación del lecho fluvial, que devolvieron al río su dinámica natural. En este sentido, estas medidas aumentaron la capacidad de arrastre de sedimentos y nutrientes, favoreciendo de esta manera procesos de purificación asociados al aumento del caudal y la oxigenación, reduciendo así la acumulación de este nutriente.

En **Llumes**, el contenido de fósforo siguió una evolución muy similar a la de Cimballa. Partiendo de una mediana de 1,54 % en 2010, descendió notablemente en 2011 hasta situarse en torno al 0,67 %. En 2012 volvió a incrementarse, alcanzando valores cercanos a los iniciales, pero en 2023 se registró una nueva caída hasta alcanzar un valor de un 0,194 %. Esta tendencia descendente en el último periodo podría deberse a las mismas actuaciones de restauración realizadas en ambas localidades, como la retirada de la mota y la recreación del lecho fluvial, que devolvieron al río su dinámica natural y redujeron la acumulación de nutrientes y sedimentos ricos en fósforo.

En **Nuevalos**, aunque los valores iniciales de fósforo fueron más elevados frente al resto de localidades, en el año 2024 se observó un fuerte descenso alcanzando un

valor de un 0,22%. Esta evolución podría explicarse por la consolidación y la funcionalidad de la llanura de inundación creada en 2011, que habrían favorecido el establecimiento de vegetación palustre y procesos de depuración en el suelo. A diferencia del nitrógeno, que tiende a acumularse por procesos biogeoquímicos, el fósforo suele ser rápidamente absorbido por la vegetación o retenido en formas menos disponibles, lo que podría justificar su reducción progresiva.

Tabla 30. Mediana del porcentaje del fósforo en las distintas localidades en los años muestreados. Fuente: elaboración propia.

Localidad	Año	Fósforo (%)
Cimballa	2010	5.2511760
	2011	0.7012598
	2012	2.0748780
	2023	0.229
Llumes	2010	1.5492600
	2011	0.6767484
	2012	1.5011196
	2023	0.194
Nuévalos	2011	3.2246080
	2012	2.8584000
	2024	0.227

## Distribución de P<sub>p</sub> por año y localidad

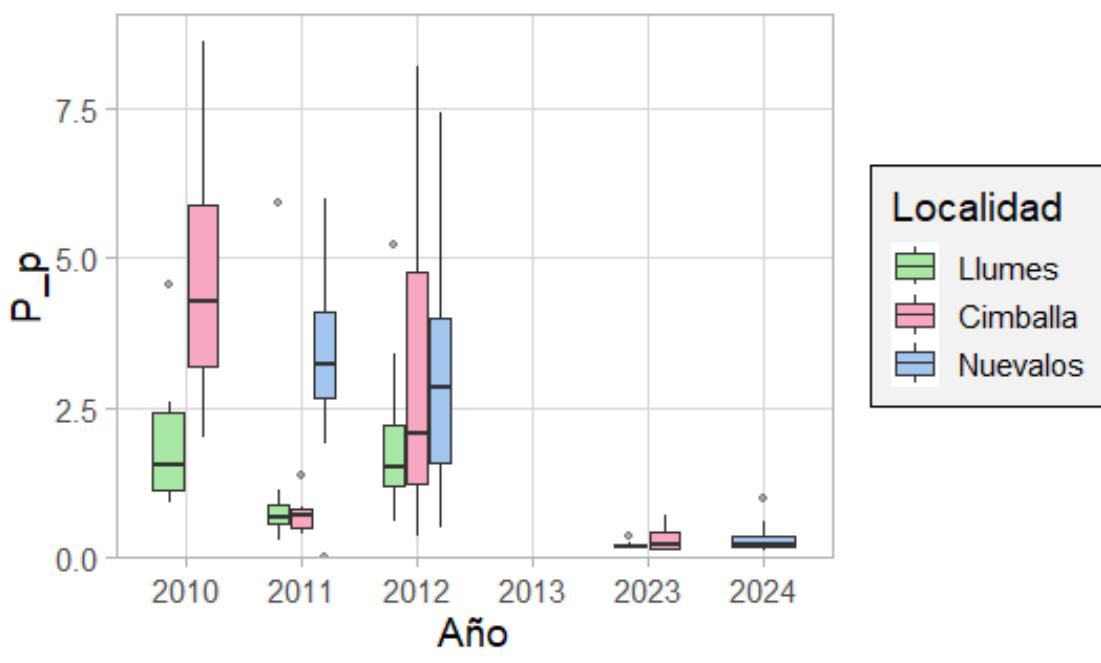


Figura 42. Distribución del fósforo a lo largo del tiempo según las localidades. Fuente: elaboración propia.

### 8.2.8. Conductividad.

Dado que no se dispone de registros anteriores a 2013, no es posible establecer comparaciones con el estado previo a las actuaciones de restauración ni valorar su influencia directa sobre la conductividad eléctrica.

En **Cimballa**, se observó un aumento notable de la conductividad entre 2013 y 2023, pasando de 128,15 µS/cm a 232,80 µS/cm. En **Llumes** también se detectó un aumento durante el mismo periodo, con valores que pasaron de 146,60 µS/cm en 2013 a 207,00 µS/cm en 2023. Por el contrario, **Nuévalos** presentó valores de conductividad más estables a lo largo del tiempo, con 180,80 µS/cm en 2013 y 181,80 µS/cm en 2024.

Esta evolución en los valores de conductividad podrían estar relacionados con la posición de las localidades a lo largo del eje fluvial. Cimballa, situada aguas arriba, podría acumular más sales disueltas debido a una menor dilución y a la presencia de sedimentos más gruesos, mientras que en Llumes, algo más alejada, los valores descienden ligeramente. En Nuévalos, la estabilización de la conductividad podría explicarse por el efecto amortiguador de la llanura de inundación habilitada, que podrían favorecer procesos de depuración, retención y reciclaje de nutrientes, atenuando así la acumulación de sales en el sistema.

Tabla 31. Mediana del porcentaje de la conductividad eléctrica en las distintas localidades en los años muestreados. Fuente: elaboración propia.

Localidad	Año	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
Cimballa	2013	128,15
	2023	232,80
Llumes	2013	146,60
	2023	207.00
Nuévalos	2013	180,80
	2024	181.80

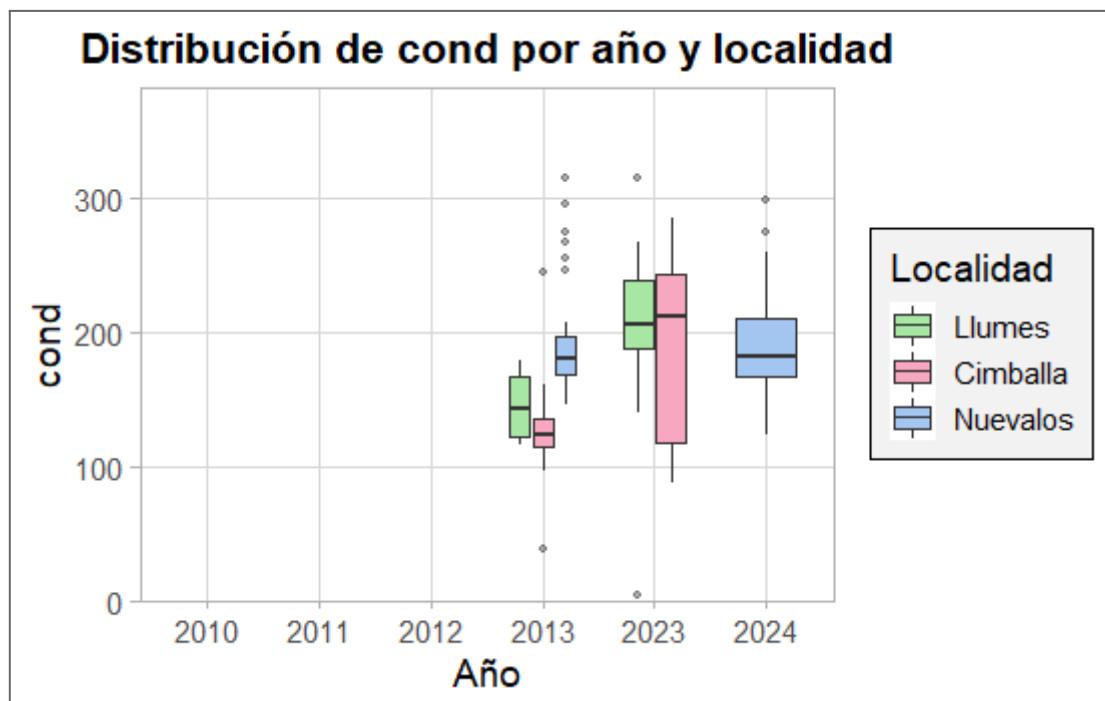


Figura 43. Distribución de conductividad a lo largo del tiempo según las localidades. Fuente: elaboración propia.

### 8.2.9. pH.

Como ha ocurrido anteriormente, el pH tampoco fue analizado en el periodo de 2010-2013, por lo que no es posible valorar posibles cambios inmediatos tras las restauraciones ecológicas realizadas en las localidades, lo que dificulta un seguimiento temporal completo.

En **Cimballa**, el pH aumentó ligeramente entre 2013 (8,115) y 2023 (8,370), manteniéndose en un rango alcalino constante. **Llumes** mostró una evolución muy

similar, con un ascenso desde 8,00 en 2013 hasta el mismo valor final de 8,37 en 2023. Esta estabilidad sugiere condiciones químicas del suelo relativamente estables en ambos tramos tras la restauración.

En **Nuévalos** también se observó una tendencia ascendente, con un incremento más marcado desde 7,855 en 2013 hasta 8,550 en 2024. Este aumento podría estar relacionado con los procesos de mineralización y reciclado de nutrientes favorecidos por la mayor humedad del suelo y la funcionalidad de la llanura de inundación creada, que, como se ha visto en otras variables, puede haber influido en la dinámica del ecosistema edáfico.

Tabla 32. Mediana del porcentaje de pH en las distintas localidades en los años muestreados. Fuente: elaboración propia.

Localidad	Año	pH
Cimballa	2013	8.115
	2023	8.370
Llumes	2013	8.000
	2023	8.370
Nuévalos	2013	7.855
	2024	8.550

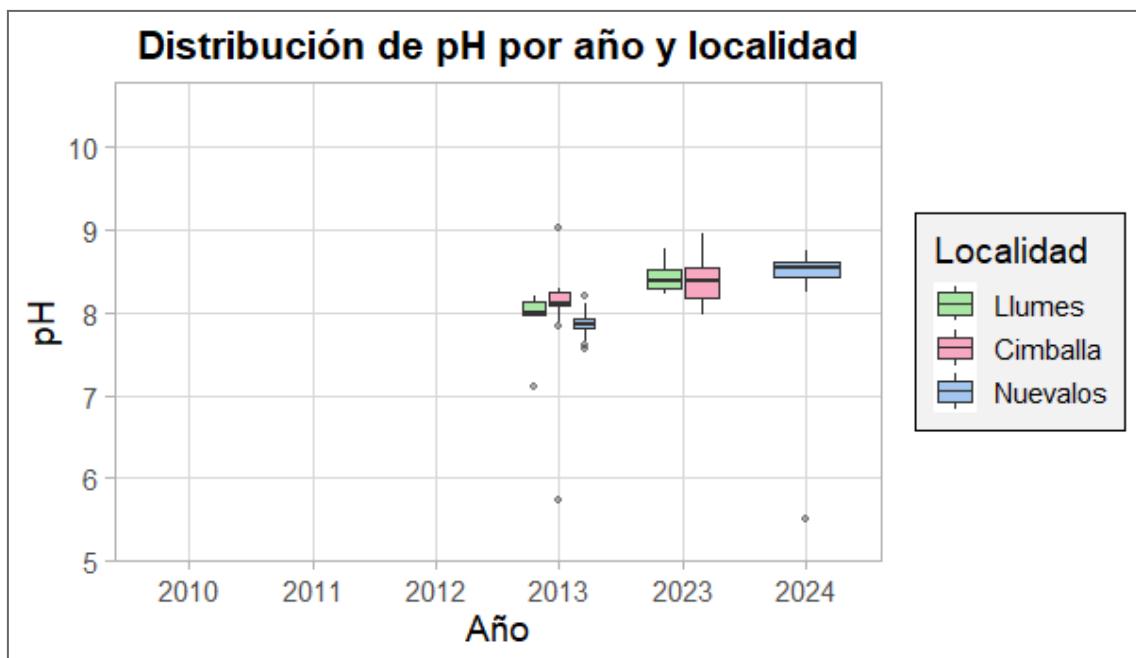


Figura 44. Distribución de pH a lo largo del tiempo según las localidades. Fuente: elaboración propia.