



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Centro de Estudios de Postgrado

Trabajo Fin de Máster

INFERENCIA ESPACIAL DE FORTIFICACIONES EN LA PROVINCIA DE JAÉN.

Alumno: Lindes Martínez, Francisco - Jesús

Tutor/a: Prof. D. Manuel Antonio Ureña Cámara
Dpto.: Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría.

Diciembre, 2023



Universidad de Jaén
Centro de Estudios de Postgrado

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Máster Universitario en Ingeniería Geomática y Geoinformación

Estudiante: Francisco Jesús Lindes Martínez

Tutor: Manuel Antonio Ureña Cámara

**Firmado por LINDES MARTINEZ
FRANCISCO JESUS - ***2434**
el día 04/12/2023 con un
certificado emitido por AC FNMT
Usuarios**

Fdo. Francisco Jesús Lindes Martínez

**UREÑA CAMARA
MANUEL
ANTONIO -
26035483N**

Firmado digitalmente
por UREÑA CAMARA
MANUEL ANTONIO -
26035483N
Fecha: 2023.12.04
17:40:19 +01'00'

Fdo. Manuel Antonio Ureña Cámara

Jaén, 04 de diciembre de 2023



CONTENIDO

1. RESUMEN /ABSTRACT.....	6
2. INTRODUCCIÓN.....	7
3. OBJETIVOS.....	8
4. ANTECEDENTES.....	9
4.1 HISTORIA	9
4.2 EVALUACION MULTICRITERIO	11
4.3 PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP).....	11
4.4 INFERENCIA ESPACIAL	13
4.5 METODOLOGÍA DEL DISEÑO DEL EXPERIMENTO (DOE).....	17
5. ZONA DE ESTUDIO.....	20
5.1 SITUACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA PROVINCIA DE JAÉN	20
5.2 LOCALIZACIÓN ESPACIAL DE LOS CASTILLOS – FORTALEZAS EN LA PROVINCIA DE JAÉN	22
6. MATERIAL Y MÉTODO.....	24
6.1 FUENTES DE INFORMACIÓN	24
6.2 HARDWARE Y SOFTWARE	26
6.2.1 <i>HARDWARE UTILIZADO</i>	26
6.2.2 <i>SOFTWARE UTILIZADO</i>	27
7. MÉTODO	28
7.1 PREPARACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	28
7.2 OBTENCIÓN DE VARIABLES Y CRITERIOS PARA LA INFERENCIA ESPACIAL	30
7.3 DISEÑO DEL EXPERIMENTO	34
7.4 EVALUACIONES MULTICRITERIO	36
7.4.1.1 <i>PRIMERA EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EMC)</i>	36
7.4.1.2 <i>SEGUNDA EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EMC)</i>	42
7.4.1.3 <i>TERCERA EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EMC)</i>	43
7.4.1.4 <i>CUARTA EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EMC)</i>	46
7.4.1.5 <i>QUINTA EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EMC)</i>	48
8. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	53
9. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES.....	56
9.1 ANÁLISIS	56
9.2 CONCLUSIONES	56
10. BIBLIOGRAFÍA.....	57
11. ANEXOS	59
ANEXO 1: PLANO LOCALIZACION DE LA PROVINCIA DE JAEN.....	60
ANEXO 2: DISTRIBUCIÓN DE CASTILLOS Y FORTALEZAS EN JAÉN.....	61
ANEXO 3: CAPAS PRINCIPALES DEL TFM.	62
ANEXO 4: LÍMITES RECONQUISTA.....	63
ANEXO 5: MAPA DE PENDIENTES DE LA PROVINCIA DE JAÉN.	64
ANEXO 6: FILTRADO DE POSIBLES CASTILLOS CON BUFER DE 500M.	65
ANEXO 7: FILTRADO DE POSIBLES CASTILLOS (500M + 15 KM).....	66
ANEXO 8: EMC PRIMERA POSIBLES CASTILLOS.....	67
ANEXO 9: EMC SEGUNDA POSIBLES CASTILLOS.....	68



Inferencia espacial de fortificaciones en la provincia de Jaén.

ANEXO 10: EMC TERCERA POSIBLES CASTILLOS.	69
ANEXO 11: EMC CUARTA POSIBLES CASTILLOS.	70
ANEXO 12: EMC QUINTA POSIBLES CASTILLOS.	71
ANEXO 13: MOSAICO DE LOS 5 EMC DE POSIBLES CASTILLOS.	72



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo Jerárquico para la toma de decisiones con el AHP. Imagen obtenida de documento Implementación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para la toma de decisiones en la gestión de abastecimiento; aplicación a una empresa productora de queso costeño	12
Figura 2. Esquema de localización de los Castillos – Fortalezas.....	16
Figura 3. Tipos de diseños del experimento. Imagen obtenida de: Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008	17
Figura 4. Descripción general de un diseño del experimento. Imagen obtenida de Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008	18
Figura 5. Mapas de situación y localización de la Provincia de Jaén. Elaboración propia	20
Figura 6. Provincia de Jaén. Elaboración propia.....	21
Figura 7. Distribución de los Castillos – Fortalezas en la Provincia de Jaén. Elaboración propia.....	24
Figura 8. Centro de descargas de la REDIAM.	25
Figura 9. Mapa con los límites de los Reinos en el periodo de la Reconquista. Mapas obtenidos de la web: https://gabrielsagra.blogspot.com/2018/08/del-reino-de-jaen-castellano-la_25.html	26
Figura 10. Representación de las coberturas iniciales del TFM. Elaboración propia.	28
Figura 11. Reinos de la Provincia de Jaén en el periodo de la Reconquista. Elaboración propia.....	29
Figura 12. Esquema de Inferencia espacial. Imagen obtenida del material que proporcionó el profesor Manuel A. Ureña Cámara en la asignatura de Geomarketing.	30
Figura 13. Representación del cálculo de distancias. Elaboración propia	31
Figura 14. Mapa de pendientes en % de la provincia de Jaén. Elaboración propia	32
Figura 15. Representación de los búferes de 500 m y 15 km sobre la cobertura ráster de Modelo de Elevaciones (PNOA_MDT 200). Elaboración propia	33
Figura 16. Porción de tabla de atributos de la nueva cobertura de Castillos – Fortalezas. Elaboración propia ..	33
Figura 17. Filtrado de posibles castillos de la provincia de Jaén con el filtrado de 500 m. Elaboración propia ..	37
Figura 18. Filtrado de posibles castillos de la provincia de Jaén con el búfer de 500 m y el búfer de 15 km. Elaboración propia.....	38
Figura 19. Representación de la Primera Evaluación Multicriterio (EMC) de Posibles Castillos de la provincia de Jaén. Elaboración propia.....	41
Figura 20. Representación de la Segunda Evaluación Multicriterio (EMC) de Posibles Castillos de la provincia de Jaén. Elaboración propia.....	43
Figura 21. Representación de la cuarta Evaluación Multicriterio (EMC) de Posibles Castillos de la provincia de Jaén. Elaboración propia.....	48
Figura 22. Histogramas de las variables elegidas en el TFM para las fortalezas existentes. Elaboración propia	50
Figura 23. Representación de la quinta Evaluación Multicriterio (EMC) de Posibles Castillos de la provincia de Jaén. Elaboración propia.....	52
Figura 24. Comparación de las dos capas: Una con el filtrado de la cobertura de Posibles Castillos con el criterio “EZPte%B500 m” y la otra cobertura con el criterio de “EZPte%B15 km”. Elaboración propia	53
Figura 25. Representación de Los cinco mapas de Evaluaciones (EMC) de Posibles Castillos de la provincia de Jaén. Elaboración propia	54



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Castillo y Fortalezas de la provincia de Jaén. Datos obtenidos de la web: https://castillosyfortalezasdejaen.com/castillosyfortalezas.html . Elaboración propia.....	10
Tabla 2. Castillos - Fortalezas de la provincia de Jaén con coordenadas geográficas (latitud y longitud). Elaboración propia.....	15
Tabla 3. Clasificación de los diseños experimentales. Información obtenida de (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008). Elaboración propia	19
Tabla 4. Castillos - Fortalezas de la provincia de Jaén con coordenadas geográficas (latitud y longitud) y coordenadas en UTM ETRS89 Huso 30. Elaboración propia.....	23
Tabla 5. Diseño del Experimento propuesto en el TFM.....	35
Tabla 6. Mínimos y máximos de la capa Castillos – Fortalezas. Elaboración propia	36
Tabla 7. Formulación utilizada en QGIS para realizar el filtrado sin el criterio EZPte%B15 km. Elaboración propia.	36
Tabla 8. Formulación utilizada en QGIS para realizar la el filtrado con el criterio “EZPte%B15 km”. Elaboración propia.....	37
Tabla 9. Formulación utilizada en QGIS para realizar la Normalización. Elaboración propia.	39
Tabla 10. Peso de los criterios. Elaboración propia.	39
Tabla 11. Matriz de relaciones. Excel obtenido de la asignatura de Geomarketing de este Máster.	39
Tabla 12. Cálculo de consistencia de los criterios seleccionados. Excel obtenido de la asignatura de Geomarketing de este Máster.....	40
Tabla 13. Valores del vector de significación. Excel obtenido de la asignatura de Geomarketing de este Máster	40
Tabla 14. Formulación utilizada en QGIS para realizar la Normalización. Elaboración propia.	42
Tabla 15. Valores estadísticos de los campos utilizados para realizar el filtrado de la tercer EMC. Elaboración propia.....	44
Tabla 16. Valores de la media y desviación estándar para obtener los valores mínimos y máximos. Elaboración propia.....	45
Tabla 17. Formulación utilizada en QGIS para realizar la Normalización. Elaboración propia.	45
Tabla 18. Criterios para la realización del histograma. Elaboración propia.....	49
Tabla 19. Formulación para realizar la normalización. Elaboración propia	51
Tabla 20. Cálculo de % de Castillos - Fortalezas que cumple con el máximo de criterios del TFM. Elaboración propia.....	56



1. RESUMEN /ABSTRACT

RESUMEN:

En este Trabajo Fin de Máster (TFM), se tratará de aplicar técnicas de inferencia deterministas para la localización de emplazamientos desconocidos de fortalezas militares dentro de la provincia de Jaén mediante el estudio de una serie de parámetros generales y de información abierta. Estos parámetros definirán zonas donde actualmente podemos encontrar alguna de esas fortalezas militares y a partir de esa información, deducir la situación de otras fortalezas desaparecidas por cualquier causa.

Las técnicas de inferencia para la determinación de algún elemento del territorio a partir de las características de otros elementos conocidos son un área poco aplicada como tal en los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Sin embargo, es un campo de amplio desarrollo tanto desde el punto de vista de los sistemas generales de clasificación como técnicas más modernas.

Para llevar a cabo este proceso, se aplicarán metodologías basadas en Diseños de Experimentos (*DoE*) definiendo claramente los objetivos, los parámetros de entradas y las diferentes muestras para su posterior aplicación.

Palabras clave:

Inferencia, Diseño de Experimentos (*DoE*), elementos del territorio, fortalezas militares y provincia de Jaén. (5-10 palabras clave).

ABSTRACT:

In this Final Master's Project, we will try to apply deterministic inference techniques for the location of unknown military fortresses within the province of Jaén by studying a series of general parameters and open information. These parameters will define areas where we can currently find some of these military fortresses and, based on that information, deduce the situation of other fortresses that have disappeared for whatever reason.

Inference techniques for the determination of some element of the territory from the characteristics of other known elements are a little area applied as such in Geographic Information Systems (GIS). However, it is a broad field of development both from the point of view of general classification systems and more modern techniques such as Deep Learning procedures.

To carry out this process, methodologies based on Designs of Experiments (*DoE*) will be used, clearly defining the objectives, the input parameters and the different samples for their subsequent application.

Keywords:

Inference, Design of Experiments (*DoE*), elements of the territory, military fortresses and the province of Jaén. (5-10 keywords).



2. INTRODUCCIÓN

La provincia de Jaén, a lo largo de toda su superficie, alberga unas 237 estructuras defensivas medievales y castillos (97 castillos, 126 torres, atalayas y búnqueres, murallas y castros) considerándose el territorio europeo (segundo de toda Europa) que alberga este tipo de fortalezas. Esto no es casualidad, ya que Jaén durante varios siglos de la Reconquista, fue tierra de fronteras y gracias a ello, esta provincia posee este impresionante legado de grandiosas y espectaculares fortalezas (Montón, 2022; Historia Jaén, la provincia española con más castillos en su territorio, 2022).

Con este Trabajo Fin de Máster (TFM), se pretende aplicar una serie de técnicas de inferencia espacial deterministas para la localización de emplazamientos desconocidos de fortalezas militares dentro de la provincia de Jaén mediante el estudio de una serie de parámetros generales y de información abierta. Para ello, se debe establecer una serie de parámetros que definirán las zonas donde actualmente podemos encontrar alguna de esas fortalezas militares y a partir de esa información, deducir la situación de otras fortalezas desaparecidas por cualquier causa.

Las técnicas de inferencia espacial para la determinación de algún elemento del territorio a partir de las características de otros elementos conocidos, son un área poco aplicada como tal en los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Sin embargo, es un campo de amplio desarrollo tanto desde el punto de vista de los sistemas generales de clasificación como técnicas más modernas.

Principalmente, la metodología a seguir será la metodología *DoE* (Diseño de Experimento). Con este diseño, se consigue un enfoque estadístico cuya finalidad es el perfeccionamiento de las reacciones y los procesos que permiten el cambio de los distintos factores y cuyo objetivo es el de depurar el espacio de reacción para obtener los valores óptimos.

Los pasos a seguir para el desarrollo de este Trabajo de Fin de Master se enumeran a continuación:

1. Revisión de los antecedentes sobre inferencia espacial.
2. Revisión de los antecedentes sobre “*DoE*”.
3. Revisión de los descriptores más utilizados o requeridos para las fortalezas militares.
4. Elección de parámetros para el “*DoE*” sobre inferencia espacial de fortalezas militares. Esta serie de parámetros y factores influyen directamente o indirectamente en la localización de Castillo Medievales en la provincia de Jaén. Los parámetros estudiados son:
 - Red Hidrográfica.
 - Embalses
 - Vías Pecuarias.
 - Red de Carreteras convencionales.
 - Red de Caminos.
 - Sendas
 - Modelo de Elevaciones.
5. Diseño del “*DoE*”.
6. Obtención de resultados.



3. OBJETIVOS

El Trabajo de Fin de Master (TFM) consiste en la elaboración de un proyecto, memoria o estudio en el que se integran y desarrollan los contenidos formativos recibidos, y debe estar orientado a la aplicación de las competencias asociadas al título de Máster, por lo que su realización y defensa debe considerarse como la culminación de los estudios una vez superados el resto de los módulos del Máster.

De forma más concreta, el Trabajo de Fin de Máster (TFM) consiste en un ejercicio original a realizar individualmente y presentar y defender ante un tribunal universitario, consistente en un proyecto en el ámbito de las tecnologías específicas del Máster Universitario en Ingeniería Geomática y Geoinformación de naturaleza profesional en el que se sintetizan e integran las competencias adquiridas en las enseñanzas.

Este Trabajo de Fin de Master (TFM) aborda un tema muy interesante, que consiste en aplicar técnicas de inferencia espacial deterministas para la localización de nuevos elementos y fortalezas militares dentro de la provincia de Jaén mediante el estudio de una serie de parámetros generales y de información abierta. Estos parámetros definirán zonas donde actualmente podemos encontrar algunas de esas fortalezas militares para, a partir de esa información, deducir la situación de otras fortalezas desaparecidas por cualquier causa.

Para llevar a cabo este proceso, se aplicarán metodologías basadas en Diseños de Experimentos (*DoE*) definiendo claramente los objetivos, los parámetros de entradas y las diferentes muestras para su posterior aplicación.



4. ANTECEDENTES

En este apartado se realiza una breve descripción de los aspectos históricos de la provincia que pueden tener relación con la localización de fortalezas desconocidas. Además, se realiza una introducción al concepto de inferencia espacial y a la metodología seguida para el diseño del experimento.

4.1 HISTORIA

La provincia de Jaén, con una superficie de unos 13.498 kilómetros cuadrados, es una de las ocho provincias que conforman la comunidad autónoma de Andalucía. Se encuentra localizada al sur de la península ibérica y al noroeste de Andalucía. Esta provincia, debido a su ubicación geográfica, es lugar fronterizo donde se han desarrollado importantes batallas históricas a lo largo de los tiempos (Wikipedia, s.f.) ((IECA), 2023; Datos obtenidos del Instituto de estadística y Cartografía de Andalucía (IECA))).

Inicialmente, la provincia de Jaén pertenecía al Reino de los Oretanos (época Íbera). Posteriormente, llegaron los cartagineses, liderados por Asdrúbal y Aníbal. Este último, estuvo a punto de derrotar al imperio Romano. Seguidamente, pasaron por Jaén los romanos (en este periodo Jaén seguía siendo terreno fronterizo), romanos, visigodos, árabes y cristianos .

Después de la conquista cristiana, el reino de Jaén pasó a ser una jurisdicción territorial de la Corona de Castilla.

En el siglo XIX, Andalucía se encontraba dividida en cuatro reinos: Córdoba, Granada, Jaén y Sevilla. Jaén no fue capital estado estable e independiente, gobernado por un monarca. Por este motivo, no podía considerarse como un reino, aunque algunos autores si consideran a Jaén como reino, debido al efímero dominio que practicó Aben Alhamar al-Nasir entre los años 1.234 y 1.246 sobre Jaén.

Jaén, a través del Real Decreto del 30 de noviembre fue constituida como división administrativa en el año 1833. Este Real Decreto suprimió el reino de Jaén e instauró la presente provincia de Jaén (Linares, 2017; Orgullosos de Jaén, 2017)

Gracias a la ubicación estratégica de esta provincia y a que ha sido una zona fronteriza entre reinos, se han producido numerosas batallas. Esta provincia posee el mayor número de estructuras defensivas medievales y castillos de toda España (237 estructuras: 97 castillos, 126 torres, atalayas y búnquers, murallas y castros).

Inicialmente, los castillos eran una edificación con un tamaño variable, donde podíamos encontrar un patio de armas y la torre del homenaje. Eran fortalezas de piedra, que representaban el símbolo del sistema feudal. Con el paso del tiempo, los castillos evolucionaron hacia lujosas residencias, encaminadas a la comodidad y ocio, donde residía el rey y su corte. Estas lujosas mansiones, estaban compuestas por grandes salones muy bien adornados, salas muy espaciales y habitaciones muy confortables (Ruz, 2023; Psicología y Mente, 2023).



Inferencia espacial de fortificaciones en la provincia de Jaén.

Los castillos más emblemáticos de la provincia de Jaén sobre los que centraremos este Trabajo de Fin de Master (TFM) son:

id	NOMBRE CASTILLOS	MUNICIPIO	COMARCA
1	Castillo de Albánchez de Mágina	Albánchez de Mágina	Sierra Mágina
2	Fortaleza de La Mota	Alcalá la Real	Sierra Sur de Jaén
4	Castillo de Alcaudete	Alcaudete	Sierra Sur de Jaén
5	Castillo, aljibe y entorno de la Plaza de Santa María	Arjona	Campaña Norte de Jaén
6	Castillo de Trovador Macías	Arjonilla	Campaña Norte de Jaén
7	Castillo de Burgalimar (Bury al-Hammam)	Baños de la Encina	Campaña Norte de Jaén
9	Castillo Nuevo de Bedmar	Bedmar y Garcéz	Sierra Mágina
11	Castillos de Cambil y Alhabar	Cambil	Sierra Mágina
12	Castillo de Canena	Canena	La Loma y Las Villas
13	Castillo de Pallarés	Castellar	Condado de Jaén
14	Castillo de Consolación (Castillo de la Espinosa)	Castellar	Condado de Jaén
16	Castillo de la Yedra	Cazorla	Sierra de Cazorla
17	Castillo de Salvatierra (Cinco Esquinas)	Cazorla	Sierra de Cazorla
20	Castillo de Hornos	Hornos	Sierra de Segura
21	Castillo de Alburquerque	Huelma	Sierra Mágina
22	Castillo de Solera	Huelma	Sierra Mágina
25	Castillo de Santa Catalina	Jaén	Jaén Capital
26	Castillo de Otiñar	Jaén	Jaén Capital

id	NOMBRE CASTILLOS	MUNICIPIO	COMARCA
27	Castillo de Jimena	Jimena	Sierra Mágina
28	Castillo de Jódar (Castillo de los Carvajales)	Jódar	Sierra Mágina
29	Castillo de La Guardia de Jaén	La Guardia de Jaén	Sierra Mágina
30	Castillo de La Iruela	La Iruela	Sierra de Cazorla
31	Castillo Fortaleza de Lopera	Lopera	Campaña Norte de Jaén
33	Castillo de la Peña de Martos	Martos	Sierra Sur de Jaén
34	Castillo de la Encomienda de Víboras	Martos	Sierra Sur de Jaén
39	Castillo de Peñas Negras de Tíscar	Quesada	Sierra de Cazorla
40	Castillo de Sabiote	Sabiote	La Loma y Las Villas
41	Castillo de San Esteban	Santisteban del Puerto	Condado de Jaén
43	Castillo de Segura de la Sierra	Segura de la Sierra	Sierra de Segura
46	Castillo del Berrueco	Torredelcampo	Sierra Sur de Jaén
48	Castillo de Torredonjimeno	Torredonjimeno	Campaña Norte de Jaén
50	Castillo de Torres de Albánchez	Torres de Albánchez	Sierra de Segura
51	Castillo de Giribaile	Vilches	Condado de Jaén
52	Castillo del Cerro de la Virgen	Vilches	Condado de Jaén
53	Castillo de Villardompardo	Villardompardo	Campaña Norte de Jaén

Tabla 1. Castillo y Fortalezas de la provincia de Jaén. Datos obtenidos de la web: <https://castillosyfortalezasdejaen.com/castillosyfortalezas.html>. Elaboración propia.



4.2 EVALUACION MULTICRITERIO.

Una de las definiciones más extendidas en España de Evaluación de Multicriterio es la propuesta por Barredo (1996): Conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones, cuyo fin básico es investigar un número de alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflicto". Esta definición fue modificada por el propio Barredo de forma que *"La Evaluación Multicriterio (EMC) es un análisis multicriterio con el que se realiza análisis multiobjetivo. Es un conjunto de técnicas utilizadas en la decisión multidimensional y los modelos de evaluación, dentro del campo de la toma de decisiones. (Barredo Cano & Bosque Sendra , Multicriterio evaluation methods for ordinal data in a GIS environment", 1999)"*.

La Evaluación Multicriterio se utiliza para analizar soluciones de un problema. Para ello se debe tener en cuenta un número de variables de criterios para proporcionar soporte para la toma de decisiones de una solución más factible.

Como idea general, esta evaluación se debe utilizar como apoyo para proporcionar soluciones a los problemas que se nos plantean, pero estas soluciones se deben de tomar con cordura, ya que no eliminan totalmente los factores intrínsecos. Para reducir riesgos, se estudian los factores que afectan al problema en cuestión, para poder afrontarlo de la mejor forma posible.

Los métodos de decisión y evaluación multicriterio discreto son:

- **Ponderación lineal (scoring):** Es un método compensatorio y muy sencillo de utilizar. Ese tipo de ponderación crea una función de valor para todas las alternativas. Con este método se puede trabajar con pocos niveles de información.
- **Utilidad multiatributo (MAUT):** Este método establece para cada atributo su función de utilizada. Una vez creada la añade a la función de utilidad multiatributo. Una vez se establezca la utilidad para cada opción se ordena el conjunto de opciones.
- **Análisis jerárquico (AHP):** Este método es una herramienta que se utiliza para la toma de decisiones multicriterio en ambiente complejos. Este proceso muestra el problema de una forma lógica y racional.

4.3 PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP)

Este apartado se ha adaptado de (Vergara Rodríguez, Mendoza Ortega, & Salgado Ordosgoitia)

Este proceso se desarrolló a finales de los años 60 por Thomas Saaty. Que gracias a una investigación en el campo militar y a su experiencia docentes formuló una herramienta para ayudar a la toma de decisiones.

El AHP es una metodología para estructurar, medir y sintetizar que se utiliza para obtener soluciones a todos los problemas que se nos plantean. La representación de los datos se organiza con una estructura de árbol.

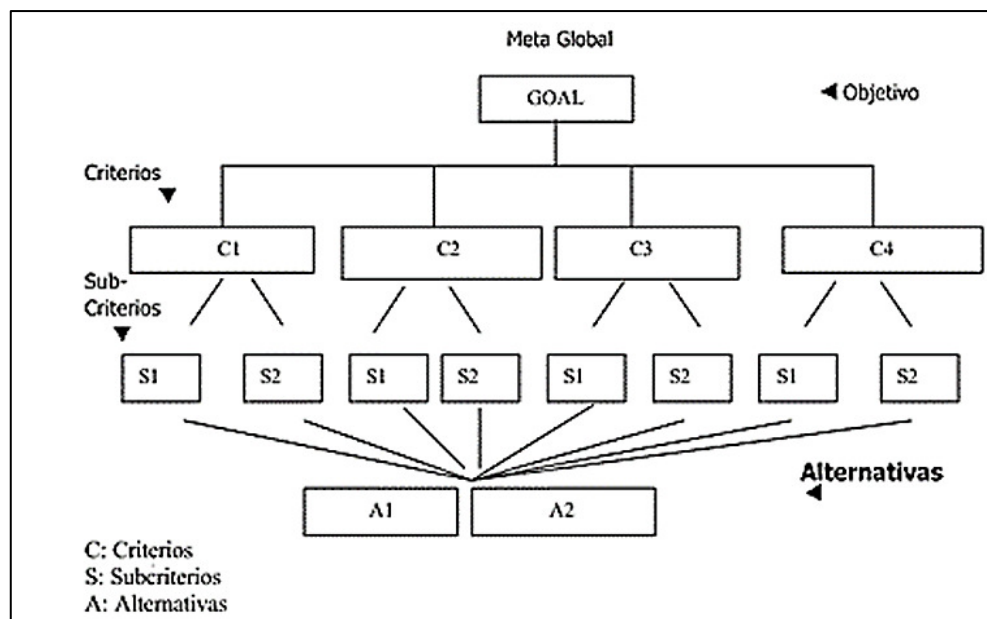


Figura 1. Modelo Jerárquico para la toma de decisiones con el AHP. Imagen obtenida de documento Implementación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para la toma de decisiones en la gestión de abastecimiento; aplicación a una empresa productora de queso costeño

Los modelos jerárquicos ayudan en la organización de la información de forma gráfica. Estos modelos se fundamentan en:

- Conformación de un modelo jerárquico.
- Dar prioridad a los elementos de prueba.
- Comparaciones binarias entre los elementos.
- Análisis de los elementos mediante la asignación de pesos.
- Clasificación de mayor a menor de las alternativas.
- Síntesis.
- Análisis de la sensibilidad.

A continuación, se detalla la estructura de un Modelo Jerárquico:

- Identificación del problema.
- Definición del objetivo.
- Identificación de criterios.
- Identificación de alternativas.

Cuando se identifica un problema, se le tiene que dar solución y para ello debemos ver las posibles alternativas que tienen para darle prioridad a la que se crea la correcta. Para realizar la evaluación se tendrán que basar en los criterios que se establecieron.



4.4 INFERENCIA ESPACIAL

La inferencia espacial consiste en un conjunto de análisis estadísticos sobre datos espaciales, cuya finalidad es la de comprobar si los resultados obtenidos tras realizar un análisis descriptivo confirman una serie de hipótesis acerca de dichos datos.

Para poder aplicar la inferencia espacial, utilizaremos el análisis espacial, que nos ayuda a solucionar problemas complicados y orientados a:

- Exploración y ubicación.
- Comprender sus datos desde una visión geográfica.
- Determinar relaciones.
- Detectar y cuantificar patrones.
- Evaluar tendencias.
- Realizar predicciones.
- Tomar decisiones.

Un análisis espacial es un proceso de interpretación, investigación y modelización de datos SIG. Dependiendo de la finalidad de un análisis espacial, éste puede ser más o menos complejo.

Para poder solucionar los problemas que se nos plantean, utilizaremos los análisis espaciales. Estos análisis espaciales están compuestos por las siguientes etapas:

- 1) Definir el objeto.
- 2) Preparar los datos.
- 3) Elegir las herramientas y técnicas adecuadas.
- 4) Realizar la investigación
- 5) Evaluar los resultados obtenidos.

A continuación, aplicaremos el conjunto de análisis de la inferencia espacial mediante la utilización de los SIG a este Trabajo de Fin de Master (TFM).

Debido a que no se ha encontrado una cobertura de los Castillos – Fortalezas de la provincia de Jaén, se opta por la creación de dicha cobertura. Para ello, se elabora una tabla con el software Excel con los datos de Castillos - Fortalezas de la provincia de Jaén que se encuentra reflejados en la web: <https://castillosyfortalezasdejaen.com/castillosyfortalezas.html>.

En esta web, encontramos los Castillos - Fortalezas con información muy relevante como son las coordenadas geográficas (latitud y longitud), municipio donde se encuentran ubicados y otra serie de datos muy notables.

Esta información de vital importancia se recoge en la Tabla 2 que se muestra a continuación.



Inferencia espacial de fortificaciones en la provincia de Jaén.

id	NOMBRE CASTILLOS	MUNICIPIO	COMARCA	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD m
1	Castillo de Albánchez de Mágina	Albánchez de Mágina	Sierra Mágina	-3,468013	37,790321	907,589
2	Fortaleza de La Mota	Alcalá la Real	Sierra Sur de Jaén	-3,929844	37,460797	1014,807
4	Castillo de Alcaudete	Alcaudete	Sierra Sur de Jaén	-4,088572	37,590412	681,083
5	Castillo, aljibe y entorno de la Plaza de Santa María	Arjona	Campiña Norte de Jaén	-4,054395	37,935619	451,151
6	Castillo de Trovador Macías	Arjonilla	Campiña Norte de Jaén	-4,104864	37,974159	342,589
7	Castillo de Burgalimar (Bury al-Hammam)	Baños de la Encina	Campiña Norte de Jaén	-3,775312	38,170414	421,592
9	Castillo Nuevo de Bedmar	Bedmar y Garcíez	Sierra Mágina	-3,409973	37,823469	680,545
11	Castillos de Cambil y Alhabar	Cambil	Sierra Mágina	-3,566303	37,677635	782,115
12	Castillo de Canena	Canena	La Loma y Las Villas	-3,481271	38,048813	535,901
13	Castillo de Pallarés	Castellar	Condado de Jaén	-3,129425	38,255806	761,626
14	Castillo de Consolación (Castillo de la Espinosa)	Castellar	Condado de Jaén	-3,090254	38,229606	667,566
16	Castillo de la Yedra	Cazorla	Sierra de Cazorla	-3,001475	37,907623	828,624
17	Castillo de Salvatierra (Cinco Esquinas)	Cazorla	Sierra de Cazorla	-3,006845	37,901200	1145,275
20	Castillo de Hornos	Hornos	Sierra de Segura	-2,718534	38,216459	879,867
21	Castillo de Alburquerque	Huelma	Sierra Mágina	-3,461686	37,651685	1030,123
22	Castillo de Solera	Huelma	Sierra Mágina	-3,369013	37,684383	1090,000
25	Castillo de Santa Catalina	Jaén	Jaén Capital	-3,799479	37,767461	781,923
26	Castillo de Otiñar	Jaén	Jaén Capital	-3,747263	37,671567	690,000
27	Castillo de Jimena	Jimena	Sierra Mágina	-3,476543	37,841780	607,927
28	Castillo de Jódar (Castillo de los Carvajales)	Jódar	Sierra Mágina	-3,353813	37,845442	665,313
29	Castillo de La Guardia de Jaén	La Guardia de Jaén	Sierra Mágina	-3,696251	37,743539	630,961
30	Castillo de La Iruela	La Iruela	Sierra de Cazorla	-2,990118	37,921402	914,672
31	Castillo Fortaleza de Lopera	Lopera	Campiña Norte de Jaén	-4,213751	37,943697	275,438
33	Castillo de la Peña de Martos	Martos	Sierra Sur de Jaén	-3,960840	37,717866	973,188
34	Castillo de la Encomienda de Víboras	Martos	Sierra Sur de Jaén	-4,025797	37,641845	598,500



Inferencia espacial de fortificaciones en la provincia de Jaén.

id	NOMBRE CASTILLOS	MUNICIPIO	COMARCA	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD m
39	Castillo de Peñas Negras de Tíscar	Quesada	Sierra de Cazorla	-3,068345	37,847234	670,942
40	Castillo de Sabiote	Sabiote	La Loma y Las Villas	-3,302713	38,071201	795,024
41	Castillo de San Esteban	Santisteban del Puerto	Condado de Jaén	-3,210076	38,248516	761,564
43	Castillo de Segura de la Sierra	Segura de la Sierra	Sierra de Segura	-2,649733	38,299228	1180,784
46	Castillo del Berrueco	Torredelcampo	Sierra Sur de Jaén	-3,938706	37,865371	407,400
48	Castillo de Torredonjimeno	Torredonjimeno	Campiña Norte de Jaén	-3,959708	37,765326	582,136
50	Castillo de Torres de Albánchez	Torres de Albánchez	Sierra de Segura	-2,677338	38,414567	832,831
51	Castillo de Giribaile	Vilches	Condado de Jaén	-3,483457	38,122385	497,553
52	Castillo del Cerro de la Virgen	Vilches	Condado de Jaén	-3,507466	38,206447	578,067
53	Castillo de Villardompardo	Villardompardo	Campiña Norte de Jaén	-3,999909	37,839007	438,441

Tabla 2. Castillos - Fortalezas de la provincia de Jaén con coordenadas geográficas (latitud y longitud). Elaboración propia.

Una vez realizada la tabla y con ayuda de los SIG, obtenemos la cobertura de los Castillos – Fortalezas georreferenciada. Previamente, antes se ha realizado una transformación de coordenadas geográficas a coordenadas UTM ERTS 89 Huso 30.

El resultado que obtenemos después de ejecutar el análisis geográfico es una geodatabase, que almacena los Castillos - Fortalezas con la información de partida necesaria, para que poco a poco y mediante las uniones de campos (distancia a vías pecuarias, distancia a ríos, distancia a límites ...), aplicación de procesos (cálculos de distancias, pendientes ...) entre otras tareas más, obtengamos el propósito final de este Trabajo de Fin de Grado que es: “la localización de Castillos Medievales en la provincia de Jaén mediante el estudio de una serie de parámetros o criterios generales”.

Estos criterios, nos indicarán de la “existencia actual de un Castillo Medieval o que pudo haber un Castillo Medieval y que, por una serie de condiciones adversas, este Castillo Medieval pudo ser derruido”.

A continuación, se muestra un esquema de los pasos a seguir para la elaboración de la geodatabase de localización de los Castillos – Fortalezas de la provincia de Jaén.

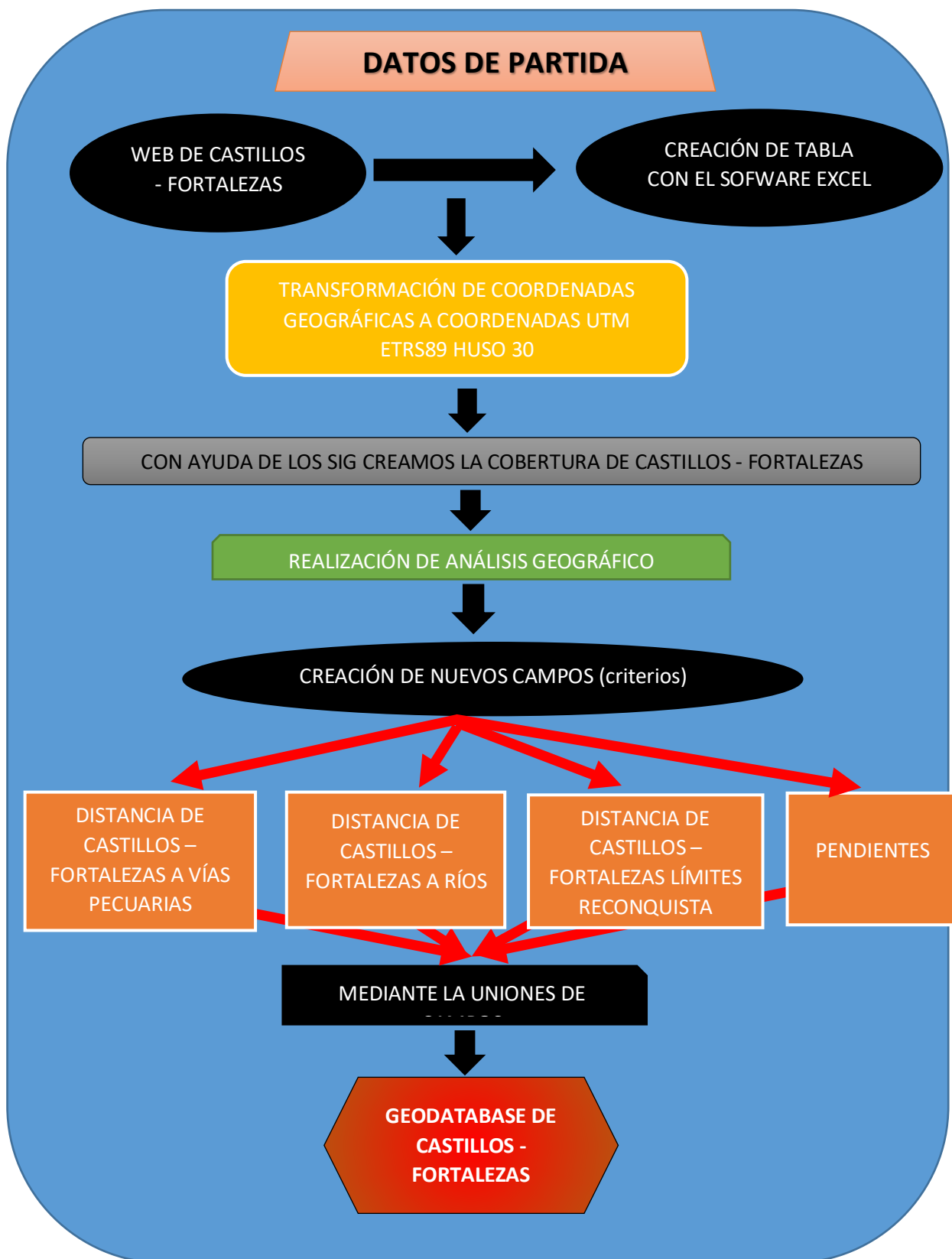


Figura 2. Esquema de localización de los Castillos – Fortalezas.



4.5 METODOLOGÍA DEL DISEÑO DEL EXPERIMENTO (DOE)

Adaptado de Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008

El diseño del experimento (DoE), es un método de trabajo utilizado por entidades de todos los sectores para conocer el funcionamiento de un proceso, mediante el estudio de las variables que afectan a dicho proceso. Para ello, se utilizan herramientas estadísticas con la única finalidad de obtener información para mejorar dicho proceso.

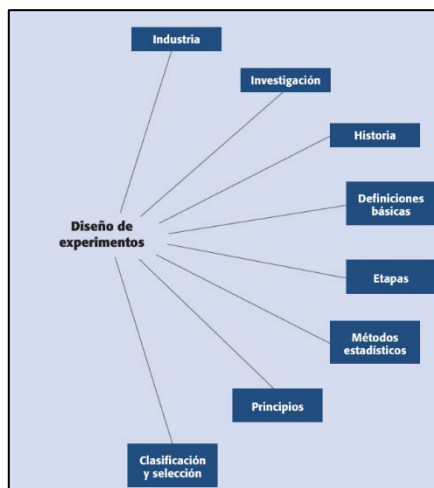


Figura 3. Tipos de diseños del experimento. Imagen obtenida de: Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008

El DoE, se puede considerar como la aplicación de método científico para crear conocimiento de un proceso o sistema, cuya finalidad es la de proyectar y ejecutar una serie de pruebas para generar datos. Estos datos, una vez analizados estadísticamente, nos proporcionarán evidencias objetivas para poder dar solución a los interrogantes que plantea el investigador sobre una determinada situación.

La metodología a seguir en un diseño de experimental es:

- **Planeación:** En esta etapa.
 - Se debe tener claro el problema y delimitarlo.
 - Saber el objeto de estudio para escoger las variables de respuesta que serán medidas en cada punto del diseño.
 - Tenemos que verificar que la medición es confiable.
- **Realización:** En esta etapa se tiene que tener en cuenta lo siguiente.
 - Establecer los factores a los cuales se les realizará el estudio o investigación. Para ello, tenemos que saber la influencia de estos factores sobre la respuesta.
 - También es importante realizar la selección de niveles de cada factor y aplicar el diseño experimental de acuerdo a los factores que se poseen y al objetivo del experimento.
 - Se debe proyectar y organizar el trabajo experimental
 - Ejecutar el experimento.



- **Análisis.**

- Los resultados son observaciones muestrales. Por este motivo, se utilizan métodos estadísticos inferenciales para evidenciar que las diferencias o efectos muestrales son los sobradamente grandes para que certifiquen las diferencias poblacionales.

- **Interpretación.**

- Gracias a los resultados obtenidos del análisis estadístico, podemos ver con detalle lo que nos muestra el experimento.
 - Contrastar suposiciones iniciales con los resultados del experimento.
 - Observar nuevos aprendizajes que con el proceso se consiguieron.
 - Confirmar supuestos y optar por el resultado más óptimo, siempre apoyado por las pruebas estadísticas.

- **Control y conclusiones finales.**

- Una vez finalizado el estudio experimental, se deben elegir las medidas a implementar, ya que la idea es la de obtener un resultado del estudio que garantice las mejoras para que se mantengan en el tiempo.
- Es importante mostrar los resultados y logros obtenidos mediante una presentación.

De forma muy esquemática, se muestra cómo se debe aplicar el enfoque del Diseño de Experimentos (DoE):

- 1) Definir el objetivo. Dejar claro qué es lo que debe medir o analizar el experimento.
- 2) Elegir los factores.
- 3) Ajustar los niveles y realizar el experimento.
- 4) Evaluar los resultados.

En la actualidad, nos encontramos una gran cantidad de situaciones que debemos afrontar. Gracias a la gran cantidad de diseños experimentales (DoE) existentes, podemos darles solución. Para saber que DoE debemos seleccionar debemos tener conocimiento de cómo se clasifican.

A continuación, se muestran los aspectos más importantes e influyentes a la hora de elegir un diseño experimental:

- Objetivo del experimento.
- Factores a estudiar.
- Niveles que se ensayan en la capa factor.
- Elementos que son importantes para investigar,
- Coste, tiempo y precisión deseada del experimento.

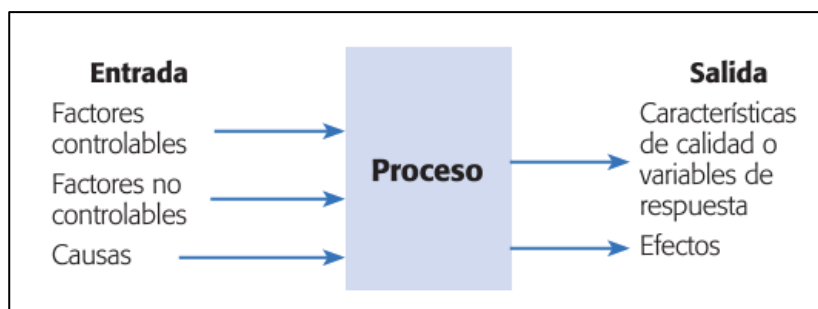


Figura 4. Descripción general de un diseño del experimento. Imagen obtenida de Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008



Teniendo en cuenta los aspectos anteriores, debemos escoger el tipo de diseño experimental según la clasificación de diseños que se muestran a continuación:

1	Diseños para comparar dos o más tratamientos	• Diseño completamente al azar.	
		• Diseño de bloque completo al azar	
		• Diseño de cuadros latinos y grecolatinos	
2	Diseños para estudiar el efecto de varios factores sobre una o más variables de respuesta	Diseños factoriales 2^k	
		Diseños factoriales 3^k	
		Diseños factoriales 2^{k-p}	
		Diseños animados	
		Diseño en parcelas divididas	
3	Diseños para la optimización de procesos	○ Diseños para el modelo de primer orden	○ Diseños factoriales 2^k y 2^{k-p}
			○ Diseño de Plakett-Burman
			○ Diseño simplex
		○ Diseños para el modelo de segundo orden	○ Diseños factoriales 3^k y 3^{k-p}
			○ Diseño de Box-Behnken
			○ Diseño de composición central
4	Diseños robustos	Arreglos ortogonales (diseños vectoriales)	
		Diseño con arreglos interno y externo	
5	Diseños de mezclas	Diseño simplex-reticular	
		Diseño simplex con centroides	
		Diseño con restricciones	
		Diseño axial	

Tabla 3. Clasificación de los diseños experimentales. Información obtenida de (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008). Elaboración propia

5. ZONA DE ESTUDIO

En este apartado se realizará una breve revisión de la zona de estudio desde el punto de vista espacial.

5.1 SITUACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA PROVINCIA DE JAÉN

Jaén es una de las ocho provincias que conforman la comunidad autónoma de Andalucía y se encuentra localizada al sur de la península ibérica y al noroeste de Andalucía. Limita por el norte con Ciudad Real, por el sur con Granada, por el este con Albacete y por el oeste con Córdoba. En la Figura 5, se muestra el plano de situación y localización de la provincia de Jaén (zona de estudio).

Esta provincia tiene una extensión de unos 13.486 kilómetros cuadrados y un perímetro de 6.468 km, concentrando una población total en el cuarto trimestre de 2023, de 619.475 habitantes, de los cuales 306.740 son hombres y 312.735 son mujeres ((IECA), 2023; Datos obtenidos del Instituto de estadística y Cartografía de Andalucía (IECA))

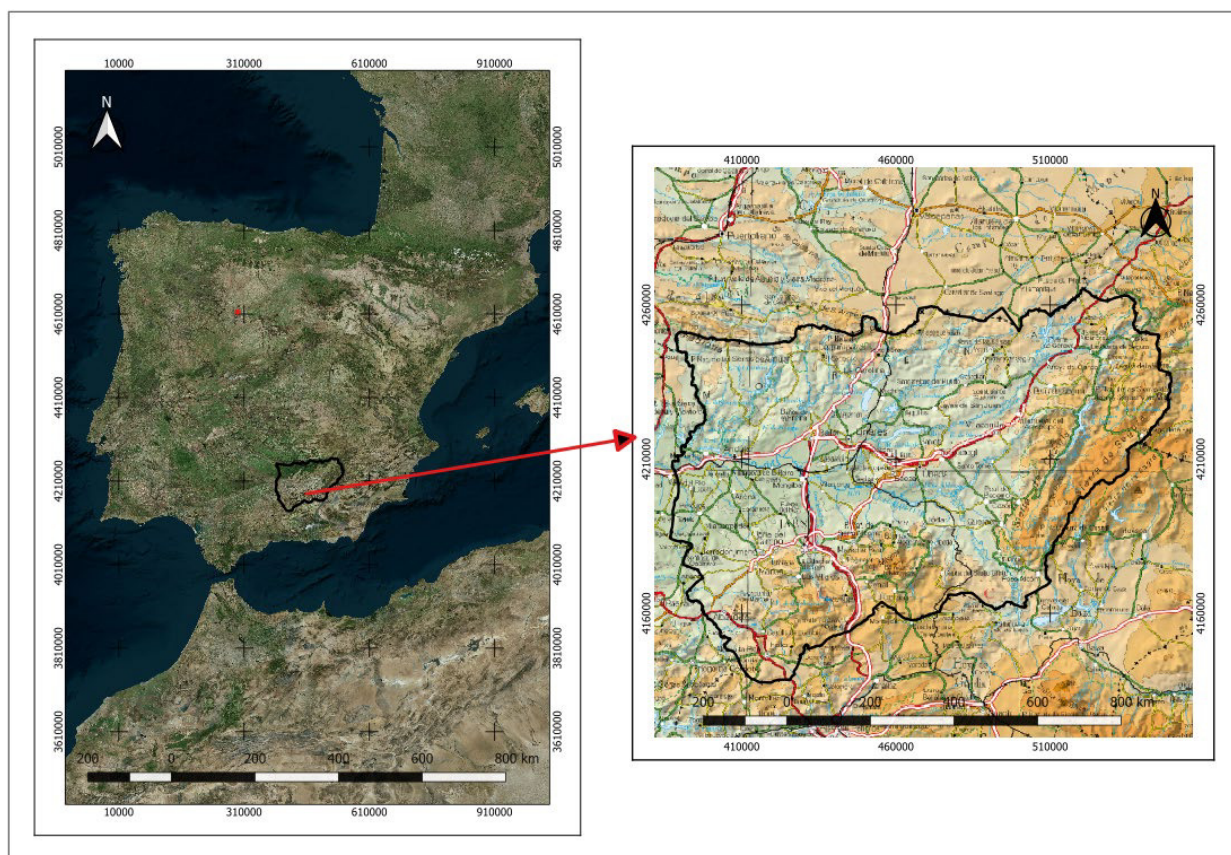


Figura 5. Mapas de situación y localización de la Provincia de Jaén. Elaboración propia

La orografía de la provincia de Jaén está diferenciada por los macizos montañosos que se encuentran en los límites de la provincia (Sierra Morena al Norte, Sierra Mágina al Sur y Sierras de Cazorla, Segura y las Villas al Este) y por la depresión del Guadalquivir, que se encuentra por centro de la provincia (Figura 6). Esta disposición provoca que, en los límites de la provincia, el relieve sea muy abrupto y escarpado (cotas superiores a los 900 m) y por el centro de la provincia sean mucho más suaves (cotas inferiores a 450 m).



Figura 6. Provincia de Jaén. Elaboración propia.

En referente a la geología de la provincia de Jaén, se encuentran tres unidades geológicas, influenciada principalmente por el río Guadalquivir y el nacimiento del río Segura:

- Primera unidad geológica; la encontramos al Norte de la provincia donde emergen rocas (cuarcitas, pizarras y granito) que componen el relieve de Sierra Morena.
- La segunda unidad geológica; la localizamos al Sur de la provincia. Se hallan en las zonas externas de la cordillera Bética compuesta por rocas calizas, calizas margosas, margas y dolomías (relieve abrupto y escarpado).
- Tercera unidad geológica; se encuentra en las dos unidades anteriores (depresión del Guadalquivir) y está formada por rocas sedimentarias (relieve deprimido y alomado).

El clima de la provincia de Jaén es mediterráneo, separado en diferentes subtipos: continental, templado y subtropical (temperatura media anual entre los 15 °C – 18 °C).

Debido a estos subtipos de climas, en la provincia se distinguen varios climas que a continuación se nombran:

- Clima mediterráneo subcontinental cálido (Orilla del Río Guadalquivir).
- Clima mediterráneo subcontinental fresco (La Loma, Sierra Morena y La Campiña).
- Clima mediterráneo de montaña (Sierra Sur, Despeñaperros y zonas altas de las Sierras de Cazorla, Segura y las Villas).
- Clima mediterráneo continental (suroeste de la provincia: Pozo Alcón).

(Instituto de investigación en Madrid; Relieve y Climatología)



5.2 LOCALIZACIÓN ESPACIAL DE LOS CASTILLOS – FORTALEZAS EN LA PROVINCIA DE JAÉN

Los castillos observados en la provincia de Jaén son representados en el TFM mediante sus coordenadas geográficas de ubicación (longitud y latitud) dentro de un espacio bidimensional. Estos puntos son tratados mediante el análisis espacial de Patrones Puntuales Espaciales, apoyados en la teoría de procesos puntuales espaciales.

Para realizar los análisis de Patrones Puntuales Espaciales se utilizan los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los SIG son herramientas necesarias para manejar los datos asociados al terreno, ya que en el terreno interactúan una gran cantidad de variables que se deben administrar, analizar y representar cartográficamente.

Un SIG enlaza datos a un mapa, integrando datos de ubicación (dónde están las cosas) con su información descriptiva (cómo son las cosas). Esto nos provee de una base para la representación cartográfica y el análisis que se utiliza en la ciencia y en todos los sectores.

Gracias a la potencialidad de los SIG, conseguimos localizar geográficamente los 53 Castillos – Fortalezas de la provincia de Jaén y poder utilizar análisis espaciales. Además, también podemos asociar a los Castillos – Fortalezas la información relativa de otras variables del terreno (distancias a vía pecuarias, distancias a ríos, distancias a núcleo urbanos, distancias a límites municipales, pendientes, etc.) (He, Stephen R, Shifley, & Gustafson, 2007).

A continuación, la Tabla 4, recoge todos los Castillos – Fortalezas objeto de estudio de este Trabajo de Fin de Máster (TFM) y posteriormente en la Figura 7 se representa la distribución geográfica de dichos Castillos – Fortalezas distribuidas por la provincia de Jaén.

id	NOMBRE CASTILLOS	MUNICIPIO	COMARCA	LONGITUD	LATITUD	X	Y	ALTITUD m
1	Castillo de Albánchez de Mágina	Albánchez de Mágina	Sierra Mágina	-3,468013	37,790321	458792,875	4182654,244	907,589
2	Fortaleza de La Mota	Alcalá la Real	Sierra Sur de Jaén	-3,929844	37,460797	417767,122	4146397,939	1014,807
4	Castillo de Alcaudete	Alcaudete	Sierra Sur de Jaén	-4,088572	37,590412	403895,680	4160928,915	681,083
5	Castillo, aljibe y entorno de la Plaza de Santa María	Arjona	Campaña Norte de Jaén	-4,054395	37,935619	407344,774	4199196,015	451,151
6	Castillo de Trovador Macías	Arjonilla	Campaña Norte de Jaén	-4,104864	37,974159	402960,389	4203523,654	342,589
7	Castillo de Burgalimar (Bury al-Hammam)	Baños de la Encina	Campaña Norte de Jaén	-3,775312	38,170414	432087,005	4225007,058	421,592
9	Castillo Nuevo de Bedmar	Bedmar y Garciez	Sierra Mágina	-3,409973	37,823469	463919,276	4186307,993	680,545
11	Castillos de Cambil y Alhabar	Cambil	Sierra Mágina	-3,566303	37,677635	450063,046	4170199,777	782,115
12	Castillo de Canena	Canena	La Loma y Las Villas	-3,481271	38,048813	457773,595	4211340,252	535,901
13	Castillo de Pallarés	Castellar	Condado de Jaén	-3,129425	38,255806	488676,414	4234205,765	761,626
14	Castillo de Consolación (Castillo de la Espinosa)	Castellar	Condado de Jaén	-3,090254	38,229606	492100,709	4231294,632	667,566
16	Castillo de la Yedra	Cazorla	Sierra de Cazorla	-3,001475	37,907623	499870,337	4195565,681	828,624



Inferencia espacial de fortificaciones en la provincia de Jaén.

id	NOMBRE CASTILLOS	MUNICIPIO	COMARCA	LONGITUD	LATITUD	X	Y	ALTITUD m
17	Castillo de Salvatierra (Cinco Esquinas)	Cazorla	Sierra de Cazorla	-3,006845	37,901200	499398,222	4194853,069	1145,275
20	Castillo de Hornos	Hornos	Sierra de Segura	-2,718534	38,216459	524639,173	4229869,479	879,867
21	Castillo de Alburquerque	Huelma	Sierra Mágina	-3,461686	37,651685	459274,120	4167270,126	1030,123
22	Castillo de Solera	Huelma	Sierra Mágina	-3,369013	37,684383	467463,228	4170861,651	1090,000
25	Castillo de Santa Catalina	Jaén	Jaén Capital	-3,799479	37,767461	429586,239	4180315,733	781,923
26	Castillo de Otiñar	Jaén	Jaén Capital	-3,747263	37,671567	434100,310	4169638,352	690,000
27	Castillo de Jimena	Jimena	Sierra Mágina	-3,476543	37,841780	458070,946	4188367,391	607,927
28	Castillo de Jódar (Castillo de los Carvajales)	Jódar	Sierra Mágina	-3,353813	37,845442	468871,032	4188725,684	665,313
29	Castillo de La Guardia de Jaén	La Guardia de Jaén	Sierra Mágina	-3,696251	37,743539	438658,372	4177588,912	630,961
30	Castillo de La Iruela	La Iruela	Sierra de Cazorla	-2,990118	37,921402	500868,538	4197094,513	914,672
31	Castillo Fortaleza de Lopera	Lopera	Campaña Norte de Jaén	-4,213751	37,943697	393352,518	4200262,755	275,438
33	Castillo de la Peña de Martos	Martos	Sierra Sur de Jaén	-3,960840	37,717866	415317,642	4174946,834	973,188
34	Castillo de la Encomienda de Víboras	Martos	Sierra Sur de Jaén	-4,025797	37,641845	409500,279	4166572,987	598,500
39	Castillo de Peñas Negras de Tíscar	Quesada	Sierra de Cazorla	-3,068345	37,847234	493987,065	4188867,736	670,942
40	Castillo de Sabiote	Sabiote	La Loma y Las Villas	-3,302713	38,071201	473448,294	4213758,219	795,024
41	Castillo de San Esteban	Santisteban del Puerto	Condado de Jaén	-3,210076	38,248516	481618,295	4233409,833	761,564
43	Castillo de Segura de la Sierra	Segura de la Sierra	Sierra de Segura	-2,649733	38,299228	530627,175	4239073,857	1180,784
46	Castillo del Berrueco	Torredelcampo	Sierra Sur de Jaén	-3,938706	37,865371	417432,761	4191293,007	407,400
48	Castillo de Torredonjimeno	Torredonjimeno	Campaña Norte de Jaén	-3,959708	37,765326	415471,405	4180211,552	582,136
50	Castillo de Torres de Albánchez	Torres de Albánchez	Sierra de Segura	-2,677338	38,414567	528168,676	4251863,001	832,831
51	Castillo de Giribaile	Vilches	Condado de Jaén	-3,483457	38,122385	457624,284	4219504,403	497,553
52	Castillo del Cerro de la Virgen	Vilches	Condado de Jaén	-3,507466	38,206447	455570,895	4228842,840	578,067
53	Castillo de Villardompardo	Villardompardo	Campaña Norte de Jaén	-3,999909	37,839007	412017,972	4188423,737	438,441

Tabla 4. Castillos - Fortalezas de la provincia de Jaén con coordenadas geográficas (latitud y longitud) y coordenadas en UTM ETRS89 Huso 30. Elaboración propia.

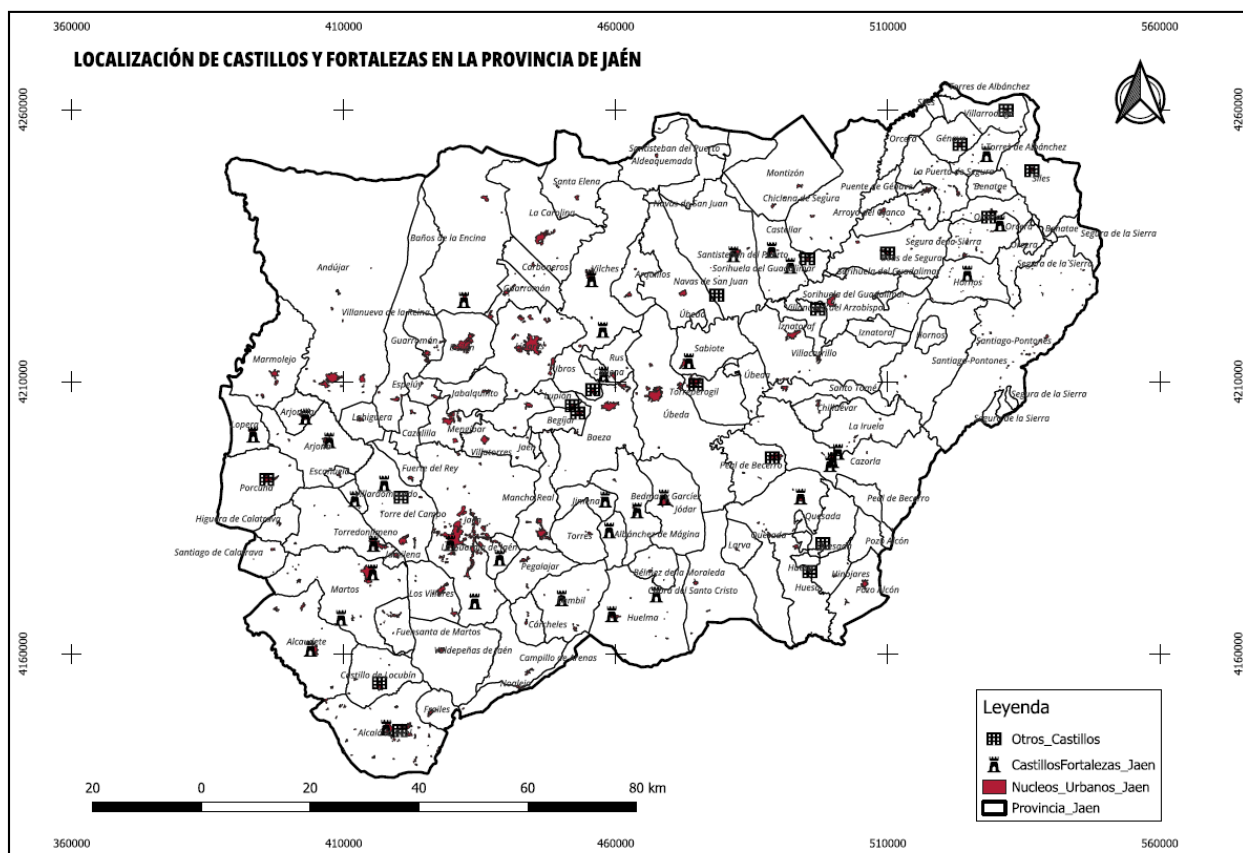


Figura 7. Distribución de los Castillos – Fortalezas en la Provincia de Jaén. Elaboración propia.

6. MATERIAL Y MÉTODO

Este apartado explica tanto el material usado para la elaboración de los resultados de este TFM. Se comienza con una descripción del utilizado incluyendo el hardware, software y las fuentes de información.

6.1 FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes de información que se propone utilizar en este TFM son públicas y accesibles. Concretamente, las coberturas que utilizaremos para obtener el objetivo final de este TFM de “Localización de nuevos elementos, fortalezas militares dentro de la provincia de Jaén mediante el estudio de una serie de parámetros generales y de información abierta”. Concretamente, las coberturas que inicialmente propuestas se nombran a continuación:

- Capa Vectorial (punto, líneas y polígonos):
 - Castillos – Fortalezas de Jaén.
 - Red de Carreteras Convencionales.
 - Vías Pecuarias.
 - Red de Caminos.
 - Sendas.



- Red Hidrográfica.
 - Topónimos ambientales.
 - Embalses.
 - Núcleos Urbanos.
 - Municipios de Jaén (límites administrativos).
 - Límites de la Reconquista.
-
- Capa Raster.
 - Modelo de Elevaciones (PNOA_MDT 200).

Todas estas coberturas se obtuvieron de la web: <https://portalrediam.cica.es/descargas> dentro del sistema de descargas que puede verse en la Figura 8.

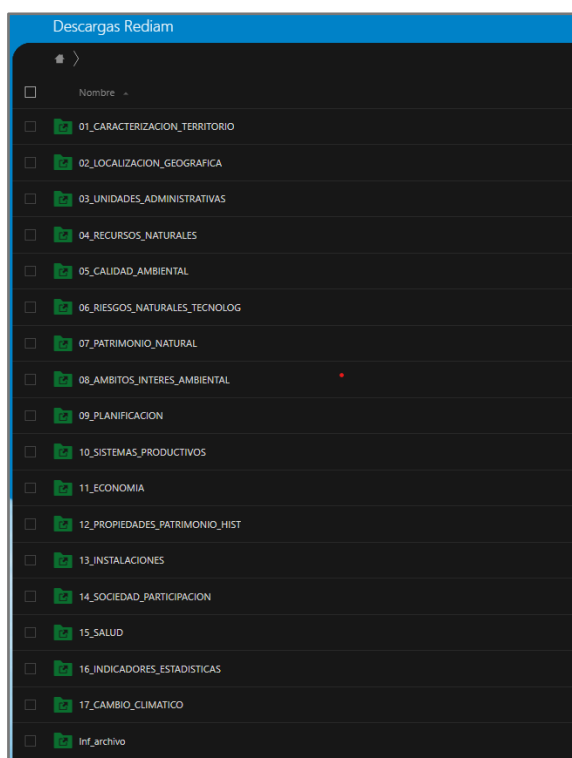


Figura 8. Centro de descargas de la REDIAM.

Por otra parte, la cobertura de Castillos – Fortalezas de Jaén, que es de elaboración propia y cuyos datos provienen de la web: <https://castillosyfortalezasdejaen.com/castillosyfortalezas.html>.

Los datos relativos a “Límites de los Reinos durante la Reconquista” se han obtenido de un mapa del periodo de la Reconquista, en el cual se encontraban marcados los límites de los Reinos de la provincia de Jaén (Figura 9).



Figura 9. Mapa con los límites de los Reinos en el periodo de la Reconquista. Mapas obtenidos de la web: <https://gabrielisagra.blogspot.com/2018/08/del-reino-de-jaen-castellano-la-25.html>

6.2 HARDWARE Y SOFTWARE

A continuación, se detallan los programas utilizados para el desarrollo de este Trabajo de Fin de Master, además de las características que presenta el equipo (hardware) utilizado para la ejecución de procesos y cálculos realizados.

6.2.1 HARDWARE UTILIZADO

El hardware utilizado para el desarrollo de este TFM es:

- Ordenador portátil HP OMEN, Intel Core i7, cuyas características son:
 - RAM: 32 GB DDR4.
 - Sistema Operativo: Windows 11 Home de 64 bits.
 - Disco duro: SSD de 256 GB HDD de 1 Tb.
 - Tarjeta Gráfica: NVIDIA GEFORCE GTX DE 4 Gb.
 - Pantalla: 15.6 pulgadas.



- Monitor PHILIPS LED 273E3L, cuyas características son:
 - Dimensión: 27 pulgadas.
 - Resolución: 1920 x 1080 píxeles a 60 Hz.
 - Tiempo de respuesta: 5 ms.

6.2.2 SOFTWARE UTILIZADO

Los programas que he utilizado para el desarrollo del Trabajo de Fin de Master son:

- **Excel 2021 LTSC:** Es un software de hojas de cálculo que se utiliza para realizar cálculos matemáticos y la realización de gráficas. Se encuentra incluido en el paquete Microsoft Office.
- **QGIS Desktop 3.34.0 (Nightly):** Es un sistema de Información Geográfica (SIG) de software libre para muchas plataformas (Mac OS, Microsoft Windows GNU/Linux, UNIX y Android). Admite bases de datos y el formato vectorial y raster, gracias a la biblioteca GDAL (GDAL/OGR). A continuación, se muestran algunas de sus características:
 - Soporte para la extensión espacial PostgreSQL (sistema de gestión de base de datos relacional orientado a objetos y de código abierto), PostGIS (convierte al sistema de administración de bases de datos PostgreSQL en una base de datos espacial mediante la adición de tres características: tipos de datos espaciales, índices espaciales y funciones que operan sobre ellos).
 - Manejo de archivos vectoriales Shapefile, ArcInfo coverages, MapInfo, GRASS GIS, DXF, DWG, etc.
 - Soporte para una gran cantidad de archivos ráster (GRASS GIS, GeoTIFF, TIFF, JPG, etc.).
- **ArcGIS 10.8:** Conjunto de programas en el campo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Con él se puede recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Este conjunto de productos es producido y comercializado por ESRI. Las aplicaciones que agrupan son: captura, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica.

ArcGIS Desktop es la aplicación de escritorio e incluye las herramientas de ArcReader, ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox, ArcScene y ArcGlobe. ArcGIS for Desktop se comercializa con tres niveles licencias: ArcView, ArcEditor y ArcInfo, en orden creciente de funcionalidades y costes. Normalmente, ArcGIS se asocia al ArcGIS desktop (software de escritorio) pero la familia ArcGIS es muy extensa, encontrándonos con:

- ArcGIS Pro. ArcGIS Online.
- ArcGIS Server.
- ArcGIS Mobile.

7. MÉTODO

A continuación, se desarrollan los pasos seguidos para el desarrollo de este Trabajo de Fin de Máster (TFM), con la finalidad de obtener un resultado lo más real posible a lo que se pretende conseguir con este TFM.

7.1 PREPARACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Utilizando las capas indicadas en el apartado 6.1 se procede a la descarga de la información desde el Rediam. Por otra parte, con la cobertura de Castillos – Fortalezas de Jaén se generan dos capas. A una se le deja el mismo nombre y está compuesta por todos los Castillos y Fortalezas que se encuentran en Jaén. Esta capa es la capa principal. La segunda capa, se denomina “Otros Castillos” y está compuesta por las torretas de vigilancia, murallas urbanas, torreones... Esta capa será secundaria. En la Figura 10 se muestra la representación de las coberturas mencionadas anteriormente.

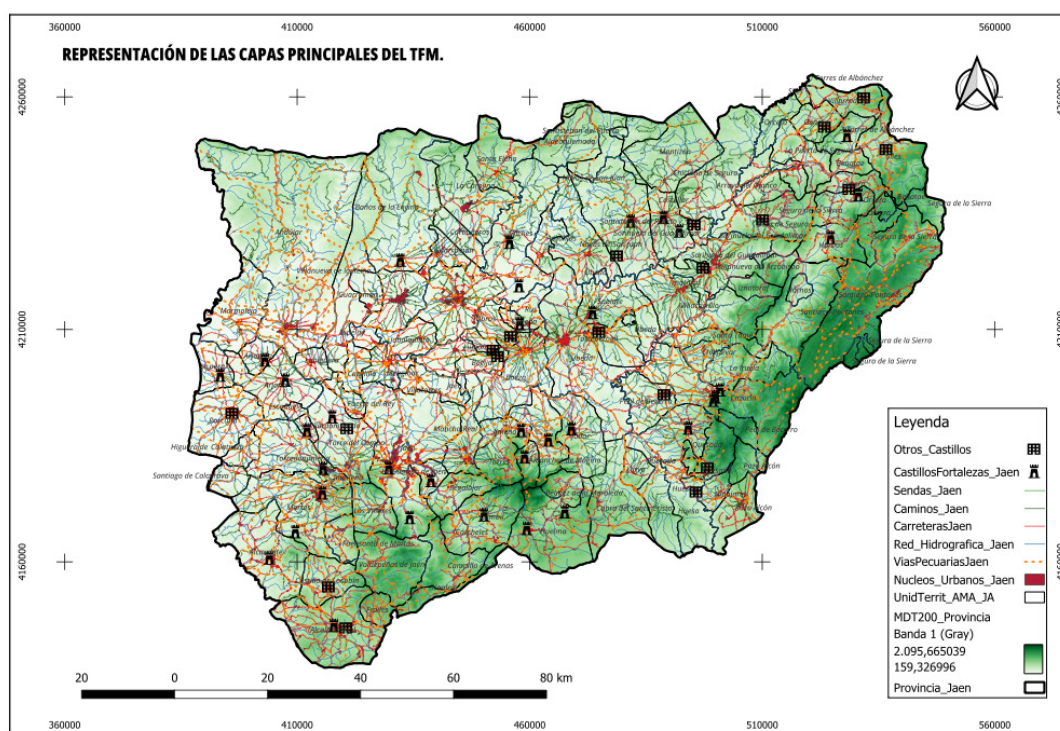


Figura 10. Representación de las coberturas iniciales del TFM. Elaboración propia.

Con estas coberturas iniciales, realizamos varias consultas a documentos de investigación de historia, tanto de la provincia de Jaén como de España, para conocer qué tipología, aspectos, particularidades y donde se encontraban ubicados los Castillos – Fortalezas durante el periodo de la Reconquista o anteriormente a ella. Estas consultas nos ayudan a seleccionar las coberturas sobre las cuales trabajaremos, ya que obtendremos los parámetros y criterios que definirán las zonas donde actualmente podemos encontrar alguna de esas fortalezas militares para, a partir de esa información, deducir la situación de otras fortalezas desaparecidas por cualquier causa.



Las coberturas sobre las cuales obtendremos los criterios en los que se centran el trabajo de este Trabajo de Fin de Master (TFM) son:

- Vías Pecuarias de Jaén.
- Red Hidrográfica de Jaén.
- Núcleos Urbanos de Jaén.
- Límites de los Reinos durante la Reconquista.
- Modelo de Elevaciones (PNOA_MDT 200). Con esta capa se obtienen las pendientes de la ubicación de los Castillos – Fortalezas.

Finalmente, para la inclusión de la cobertura que define los límites de la reconquista, se descarga el mapa indicado en el apartado 6.1. Con este mapa en formato imagen “jpg” y con la herramienta de “georreferenciación” del software ArcGis (programa de SIG), se georreferenció el mapa y posteriormente se digitalizó los límites de los Reinos de la provincia de Jaén en la Reconquista. Posteriormente, se creó la cobertura de “Límites de los Reinos durante la Reconquista” (ver Figura 11).

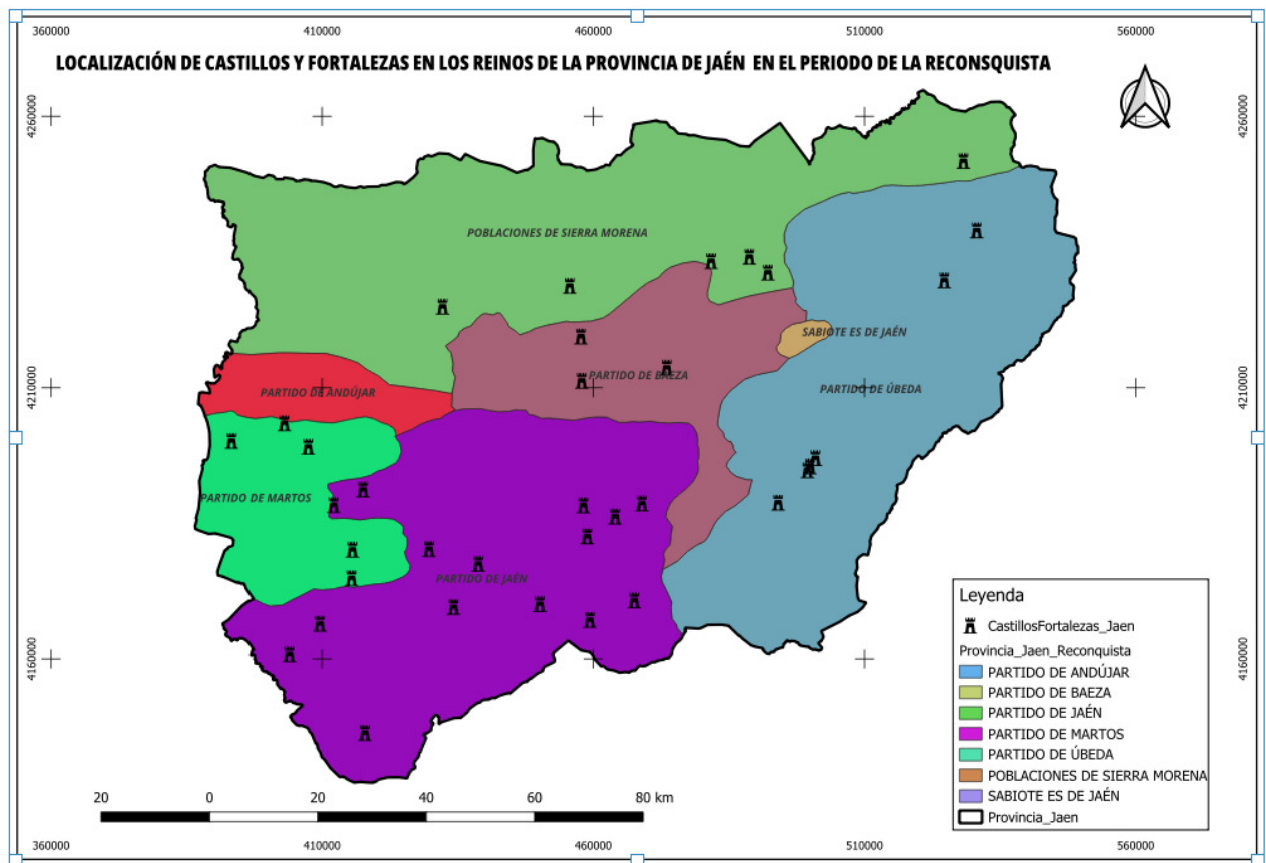


Figura 11. Reinos de la Provincia de Jaén en el periodo de la Reconquista. Elaboración propia

7.2 OBTENCIÓN DE VARIABLES Y CRITERIOS PARA LA INFERENCIA ESPACIAL

Tal y como dice en su definición la Inferencia espacial: *“Es el uso de múltiples variables, utilizando diferentes métodos de análisis y técnicas de clasificación para obtener un nuevo modelo y de esta forma proponer nuevas variables con el objetivo de obtener unos resultados y conclusiones. Estas técnicas de inferencia, son utilizadas para la determinación de algún elemento del territorio a partir de las características de otros elementos conocidos”* (Figura 12).

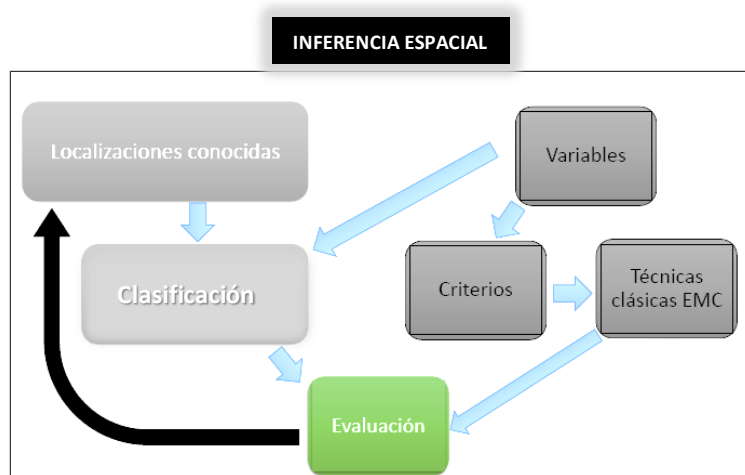


Figura 12. Esquema de Inferencia espacial. Imagen obtenida del material que proporcionó el profesor Manuel A. Ureña Cámara en la asignatura de Geomarketing.

En este TFM se aplica esta definición y para ello, se realiza una selección de capas y se crean otras nuevas, para generar los criterios que utilizarán en este TFM.

Con estos criterios generados ya se puede aplicar la Metodología del Diseño Experimental (DoE). Esta metodología es una herramienta estadística para la mejora de la calidad. Gracias al DoE, obtendremos soluciones a los problemas que se nos presenten, realizando el número mínimo de pruebas posibles. Estos dos términos fueron desarrollados más ampliamente en los apartados 4.2 y 4.5.

Aplicando en este TFM la parte de la definición del DoE que dice: *“realizando el número mínimo de pruebas posible”*. Para la elaboración del trabajo se realizan varias pruebas o análisis (evaluación multicriterio), que a continuación se desarrollarán.

El propósito final de este TFM es realizar la comparación entre las pruebas y análisis realizados con el fin de seleccionar la opción más realista y la ubicación real de los Castillos- Fortalezas que actualmente se encuentran en la provincia de Jaén, utilizando los factores y parámetros que influyen directamente o indirectamente en la localización de Fortalezas o Castillos Medievales de la provincia de Jaén. El proceso que seguiremos es la revisión de los descriptores más utilizados o requeridos para las Fortalezas o Castillos Medievales de la provincia de Jaén.

A continuación, se describen cómo se han obtenido los criterios que se utilizarán en todas las Evaluaciones Multicriterio (pruebas y análisis) que se realizarán en este TFM.



Primeramente, se calculan las siguientes distancias (ver Figura 13):

- Distancia de los Castillos – Fortalezas a las Vías Pecuarias.
- Distancia de los Castillos – Fortalezas a Ríos.
- Distancia de los Castillos – Fortalezas a Núcleos Urbanos.
- Distancia de los Castillos – Fortalezas a los Límites de los Reinos de la provincia de Jaén.

Para la obtención de estas distancias, utilizaremos el proceso de “línea más corta a objetos” que incorpora la caja de herramientas del software de QGIS.

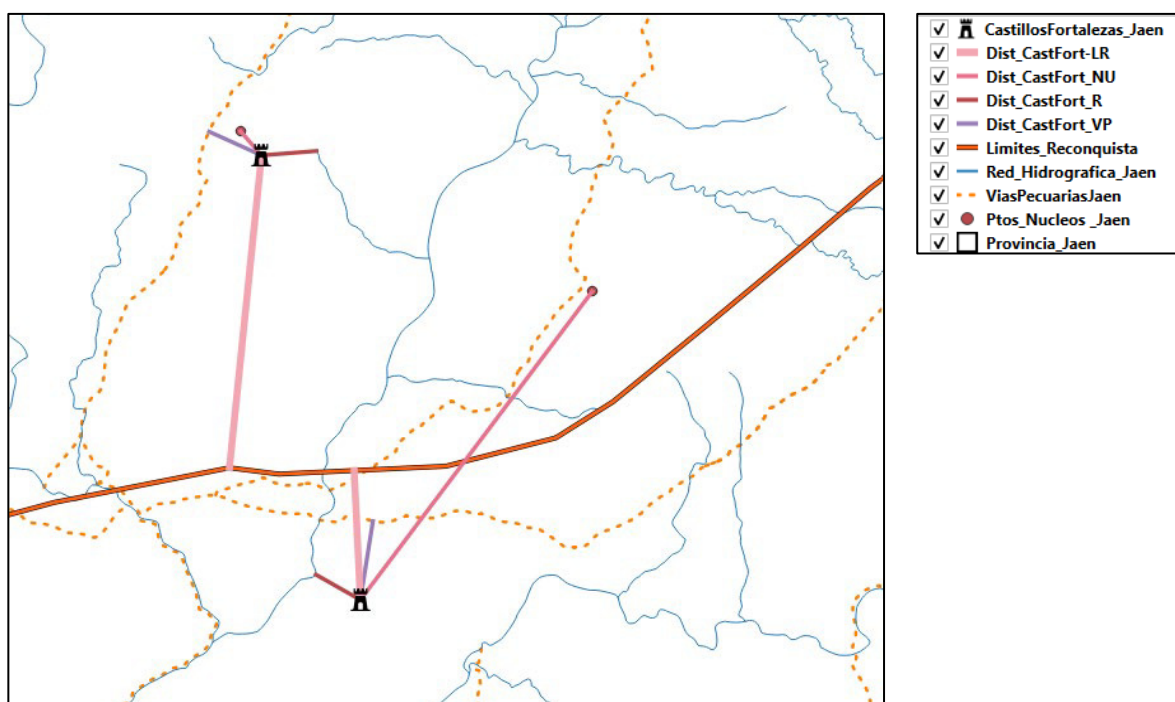


Figura 13. Representación del cálculo de distancias. Elaboración propia

Una vez calculas las distancias, pasamos a obtener el mapa de pendientes en % de la provincia de Jaén. Para ello, se utiliza la cobertura “Modelo de Elevaciones (PNOA_MDT 200)” y se obtendrán las pendientes en % con la herramienta de QGIS de “pendientes” que se encuentra en “Análisis del terreno ráster” de la caja de herramientas de este software (Figura 14).

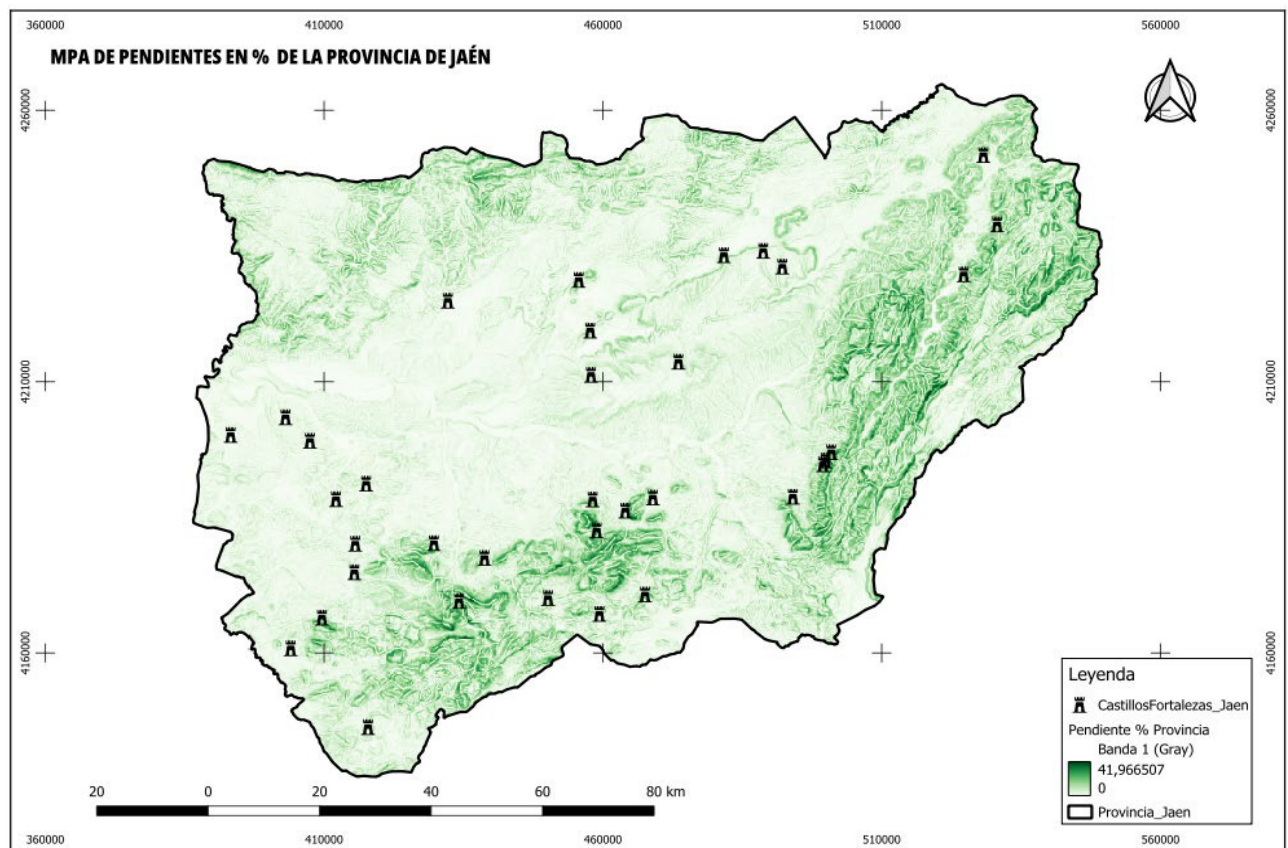


Figura 14. Mapa de pendientes en % de la provincia de Jaén. Elaboración propia

El paso siguiente que realizaremos es el de crear un búfer de 500 m y otro búfer de 15 km a todos los castillos que componen la cobertura de Castillos – Fortalezas. El motivo por que se crean estos búferes es porque los necesitaremos posteriormente para la elaboración de la Estadística Zonal.

Para la elaboración de la Estadística Zonal utilizaremos QGIS y seleccionaremos la herramienta “Estadística de Zona” que se encuentra en la caja de herramientas. Para poder ejecutar esta herramienta, se necesitan las coberturas de pendientes en % y el búfer de 500 m (capas creadas anteriormente). Una vez ejecutada esta extensión de QGIS, obtenemos una capa que recoge las pendientes en % del entorno del castillo de unos 500 m de radio. Este mismo paso lo realizaré para el búfer de 15 km de radio y obtendré las pendientes en % en torno a 15 km de radio del castillo (la figura 17 detalla los búferes de 500 m y 15 km).



Figura 15. Representación de los búferes de 500 m y 15 km sobre la cobertura ráster de Modelo de Elevaciones (PNOA_MDT 200). Elaboración propia

Realizados todos estos cálculos y análisis estadísticos, se procede a unirlos a la capa inicial de Castillos – Fortalezas. Una vez fusionados todos los campos, disponemos de la nueva cobertura de Castillos – Fortalezas. Esta capa contiene todos los datos de distancias, pendientes y estadísticas de los procesos anteriores. La Figura 16 muestra cómo quedaría la cobertura creada.

id	NOMBRE CAS	MUNICIPIO	COMARCA	LONGITUD	LATITUD	X	Y	ALTITUD_m	Dist_CF_V	Dist_CF_R	Dist_CF_NU	Dist_CF_LR	Bufer500m	EZPte%8500	Bufer15km	EZPte%815	MDCF-CFt_K
1	1 Castillo de Alba...	Albánchez de ...	Sierra Mágina	-3,468	37,790	458792,875	4182654,244	907,589	353,230	341,000	230,949	14413,769	500	30,849	15000	10,294	15096,265
2	2 Fortaleza de La ...	Alcalá la Real	Sierra Sur de Ja...	-3,930	37,461	417767,122	4146397,939	1014,807	353,230	1139,000	495,912	26949,084	500	11,961	15000	7,938	14994,242
3	4 Castillo de Alca...	Alcaudete	Sierra Sur de Ja...	-4,089	37,590	403895,680	4160928,915	681,083	340,393	1431,000	545,938	9152,196	500	10,188	15000	6,296	15030,248
4	5 Castillo, aljibe y...	Arjona	Campaña Norte ...	-4,054	37,936	407344,774	4199196,015	451,151	261,891	361,000	402,352	4766,833	500	10,410	15000	3,245	14925,092
5	6 Castillo de Trov...	Arjonilla	Campaña Norte ...	-4,105	37,974	402960,389	4203523,654	342,589	88,540	224,000	203,039	482,490	500	4,658	15000	3,451	14821,892
6	7 Castillo de Burg...	Baños de la Enc...	Campaña Norte ...	-3,775	38,170	432087,005	4225007,058	421,592	158,876	2013,000	464,109	5606,796	500	9,765	15000	4,520	14720,687
7	9 Castillo Nuevo ...	Bedmar y Garciez	Sierra Mágina	-3,410	37,823	463919,276	4186307,993	680,545	43,989	1831,000	273,205	9376,076	500	36,834	15000	9,046	14524,432
8	11 Castillos de Ca...	Cambil	Sierra Mágina	-3,566	37,678	450063,046	4170199,777	782,115	1078,398	47,000	76,988	22861,905	500	20,374	15000	11,853	14969,289

Figura 16. Porción de tabla de atributos de la nueva cobertura de Castillos – Fortalezas. Elaboración propia



Como se ha mencionado anteriormente, ya disponemos de la nueva cobertura de Castillos – Fortalezas. A continuación, se debe obtener la capa de Centroides de la provincia de Jaén.

Para obtener esta capa, partimos de la cobertura raster “Modelo de Elevaciones (PNOA_MDT 200)”. Esta capa raster se convierte a capa vectorial (polígonos) utilizando la herramienta “Píxeles ráster a polígonos” de la caja de herramientas de QGIS. Ya con la capa transformada en polígonos, se obtienen los centroides de esos polígonos, mediante la herramienta “Centroides”, que también se encuentran en la caja de herramientas de QGIS (Centroides_MDT200RaVec).

Como la zona de estudio es la provincia de Jaén y para simplificar el número de centroides obtenidos, se le practica a la capa inicial de centroides un recorte con el límite de la provincia de Jaén y se obtiene la cobertura “Provincia_CentroidesRas-Vec”.

A esta capa obtenida (Provincia_CentroidesRas-Vec) le aplico los mismos cálculos y análisis estadístico que a la capa inicial de Castillos – Fortalezas.

- Distancia de los Centroides a las Vías Pecuarias.
- Distancia de los Centroides a Ríos.
- Distancia de los Centroides a Núcleos Urbanos.
- Distancia de los Centroides a los Límites de los Reinos de la provincia de Jaén.

También se crea un búfer de 500 m y otro búfer de 15 km a todos los centroides de la cobertura “Provincia_CentroidesRas-Vec” y se calcula la Estadística Zonal, para obtener una cobertura que recoge las pendientes en % del entorno del castillo de unos 500 m de radio y otra con unos 15 km de radio.

Realizados todos estos cálculos y análisis estadísticos, se procede a unir todos campos de interés que se encuentran en las capas obtenidas anteriormente. El propósito final es de generar la nueva cobertura que se denomina “Posibles Castillos”.

Una vez que ya tenemos las dos coberturas (Castillos – Fortalezas y Posibles Castillos), con todos los criterios agregados, se puede comenzar a realizar las Evaluaciones Multicriterio (EMC) que sean necesarias.

7.3 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Uno de los aspectos más relevantes del TFM es la forma en la que se va a aplicar la inferencia estadística y ver si los resultados obtenidos son de interés. Para ello se propone el diseño del experimento que aparece en la Tabla 5. El diseño podría considerarse un “diseño en parcelas divididas” donde el común de todos los experimentos es el método de combinación de evaluación multicriterio usando jerarquías analíticas y se analizará la influencia en la selección y normalización de las variables de entrada.



VARIABLES DE ENTRADA	• Distancia de los Centroides a las Vías Pecuarias. • Distancia de los Centroides a Ríos. • Distancia de los Centroides a Núcleos Urbanos. • Distancia de los Centroides a los Límites de los Reinos de la provincia de Jaén. • % de pendientes a 500m del Centroide. • % de pendientes a 15km del Centroide.
CRITERIOS USADOS	• Filtrado de las variables para los valores máximos y mínimos existentes en la capa de castillos. • Filtrado de las variables por los valores alrededor de las medias de las variables para los castillos usando su desviación.
MÉTODO	• La evaluación se realizará empleando una única combinación lineal de las capas de entrada. • Los coeficientes de la combinación lineal se obtendrán mediante un Análisis Jerárquico de las variables de entrada. • La normalización de todas las variables de entrada se realizará empleando varios criterios: ○ Directa: Lineal máximo-mínimo de cada variable. ○ Inversa: Lineal invertida máximo-mínimo ○ Ponderada: Porcentaje basado en la distribución de la variable específica.
SALIDAS	Todas las salidas aplican el mismo sistema de combinaciones lineales usando los mismos coeficientes y el mismo número de variables. Las salidas serán: 1. Filtrado por máximo-mínimo. Normalización directa. 2. Filtrado por máximo-mínimo. Normalización directa e inversa. 3. Filtrado por media$\pm$desviación. Normalización directa. 4. Filtrado por media$\pm$desviación. Normalización directa e inversa. 5. Normalización Ponderada.

Tabla 5. Diseño del Experimento propuesto en el TFM.



7.4 EVALUACIONES MULTICRITERIO

Y siguiendo el diseño el Diseño del Experimento propuesto, se realizan las 5 evaluaciones multicriterio que se presentan a continuación.

7.4.1.1 PRIMERA EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EMC)

Lo primero que se realiza en la cobertura “Posibles Castillos” es un filtrado en los campos agregados a esta capa (Dist_CF_V, Dist_CF_R, Dist_CF_NU, Dist_CF_LR, EZPte%B500 m, EZPte%B15 km y MDCF-CFt_K). Para poder realizar este filtrado se precisa conocer los máximos y mínimos de los campos de la cobertura de Castillos – Fortalezas mencionados anteriormente (Tabla 6).

Campo	Mínimo	Máximo
Dist_CF_V	34,374	3129,272
Dist_CF_R	47,000	2013,000
Dist_CF_NU	14,51	8072,584
Dist_CF_LR	280,811	26949,084
EZPte%B500 m	4,658	36,834
EZPte%B15 km	3,245	12,603
MDCF-CFt_K	13177,185	15096,265

Tabla 6. Mínimos y máximos de la capa Castillos – Fortalezas. Elaboración propia

Una vez que se conocen estos valores mínimos y máximos de la cobertura Castillos – Fortalezas, los utilizamos para poder realizar el filtrado a la capa “Posibles Castillos” (campos que presentan el mismo nombre). Para ello, se utilizará la fórmula que se muestra en la Tabla 7. Este filtrado no recoge el criterio de EZPte%B15 km.

FORMULACIÓN PARA EL FILTRADO DE CRITERIOS UTILIZADOS EN EL TFM
("Dist Ctr-V" >= '34.37' AND "Dist Ctr-V" <= '3760.73') AND ("Dist Ctr-R" >= '47' AND "Dist Ctr-R" <= '2013') AND ("Dist Ctr-N" >= '14.51' AND "Dist Ctr-N" <= '8072.59') AND ("Dist Ctr-L" >= '280.81' AND "Dist Ctr-L" <= '26949.09') AND ("Pte%Ct500" >= '4.65' AND "Pte%Ct500" <= '36.84') AND ("MD_Ctr-Cas" >= '855.48' AND "MD_Ctr-Cas" <= '23803.235')

Tabla 7. Formulación utilizada en QGIS para realizar el filtrado sin el criterio EZPte%B15 km. Elaboración propia.



La representación gráfica de este filtrado se muestra en la Figura 17.

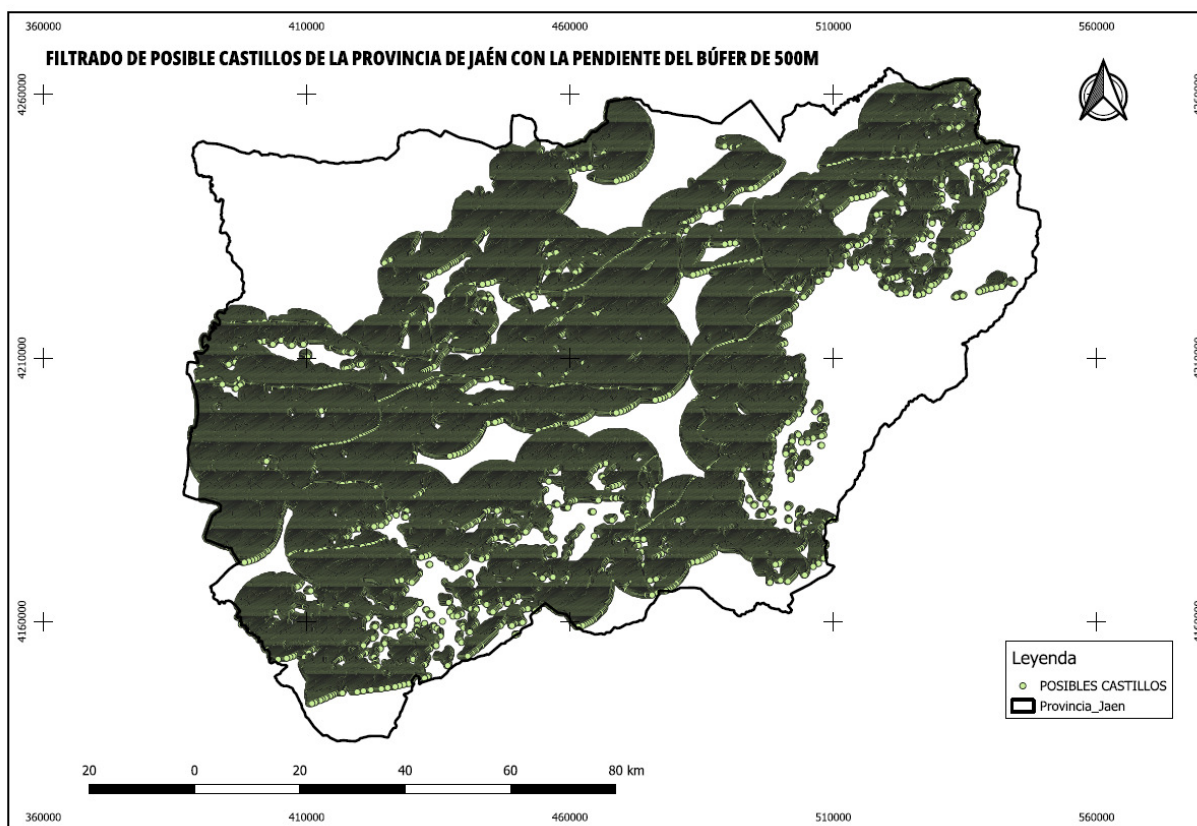


Figura 17. Filtrado de posibles castillos de la provincia de Jaén con el filtrado de 500 m. Elaboración propia

Repetimos el mismo filtrado con el criterio de “EZPte%B15 km” (Tabla 8)

FORMULACIÓN PARA EL FILTRADO DE CRITERIOS UTILIZADOS EN EL TFM
("Dist Ctr-V" >= '34.37' AND "Dist Ctr-V" <= '3760.73') AND ("Dist Ctr-R" >= '47' AND "Dist Ctr-R" <= '2013') AND ("Dist Ctr-N" >= '14.51' AND "Dist Ctr-N" <= '8072.59') AND ("Dist Ctr-L" >= '280.81' AND "Dist Ctr-L" <= '26949.09') AND ("Pte%Ct500" >= '4.65' AND "Pte%Ct500" <= '36.84') AND ("Pte%Ct1500" >= '3.24' AND "Pte%Ct1500" <= '12.61') AND ("MD_Ctr-Cas" >= '855.48' AND "MD_Ctr-Cas" <= '23803.235').

Tabla 8. Formulación utilizada en QGIS para realizar la el filtrado con el criterio “EZPte%B15 km”. Elaboración propia.

La representación gráfica de este filtrado se muestra en la Figura 18. Filtrado de posibles castillos de la provincia de Jaén con el búfer de 500 m y el búfer de 15 km. Elaboración propia.

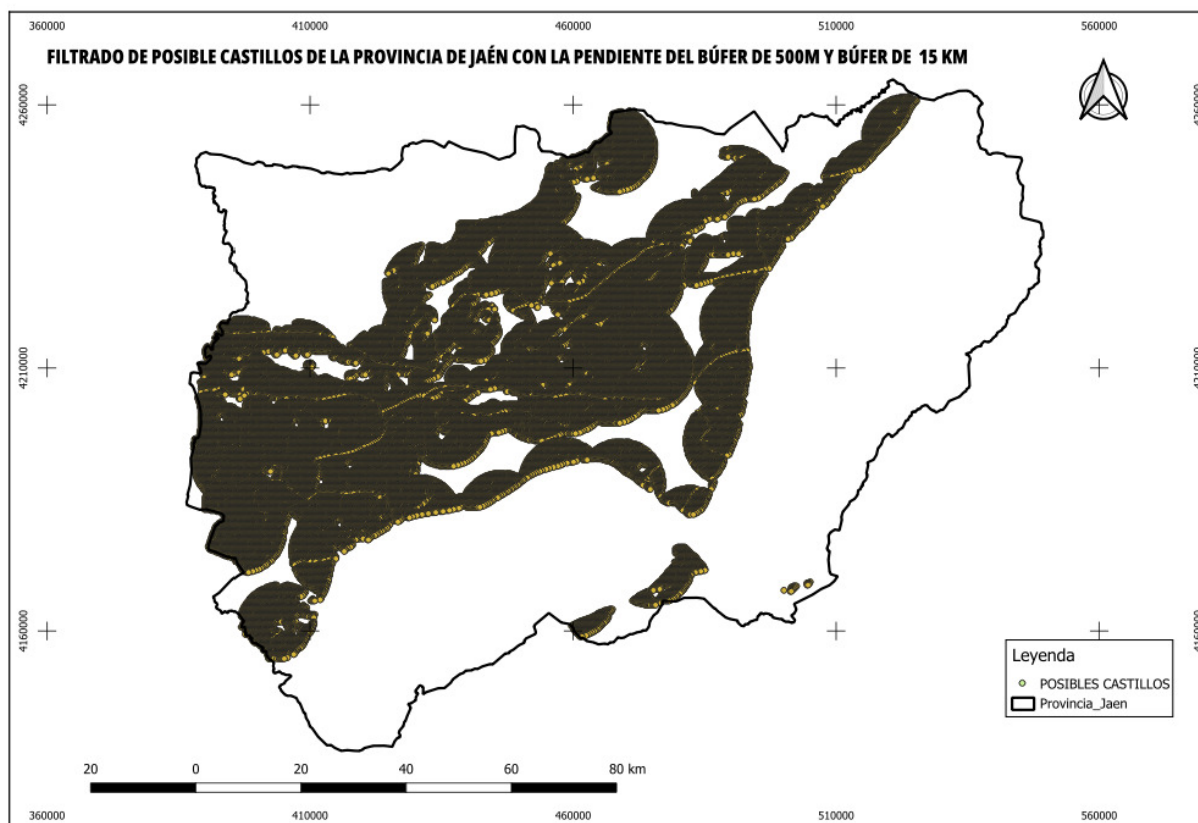


Figura 18. Filtrado de posibles castillos de la provincia de Jaén con el búfer de 500 m y el búfer de 15 km. Elaboración propia

Como se puede observar, en la Figura 17 hay más “posibles castillos” que en la Figura 18. En el apartado 8 de resultados y discusiones se explicará este motivo. Una vez que se ha comprobado la pérdida de castillos entre el filtrado de búfer de 500 m y el filtrado de búfer de 500 m + el de 15 km, se opta por no realizar más el filtrado incluyendo el criterio “EZPte%15 km” en los siguientes EMC.

Finalizado el filtrado de capas por valores mínimos y máximos, se realiza el proceso de normalización de la capa (todas las columnas utilizadas). Para la realización de la normalización utilizaré la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Campo a Normalizar} - \text{Mínimo de ese campo}}{\text{Máximo del campo} - \text{Mínimo del campo}}$$

Con respecto a la normalización de los datos, hay que mencionar que los valores deben estar entre 0 y 1. Además hay que indicar que hay dos tipos de normalización:

- Normalización directa: En este tipo de normalización los datos más altos son más importantes y los datos más bajos son menos importantes.
- Normalización inversa: En esta normalización ocurre lo contrario. Los datos más bajos son más importantes, mientras que los datos más altos son menos importantes.



Para realizar el cálculo de los datos a normalizar, se utiliza la calculadora de campos de QGIS y se crea una columna por cada campo a normalizar. Para el cálculo de los valores de estas columnas, se utiliza la formulación que muestra en la Tabla 9:

FORMULACIÓN PARA LA NORMALIZACIÓN DE DATOS UTILIZADOS EN EL TFM	
$\frac{("Dist\ Ctr-V" - \text{mínimum} ("Dist\ Ctr-V"))}{((\text{máximo} ("Dist\ Ctr-V") - (\text{mínimum} ("Dist\ Ctr-V"))))}$	
$\frac{("Dist\ Ctr-R" - \text{mínimum} ("Dist\ Ctr-R"))}{((\text{máximo} ("Dist\ Ctr-R") - (\text{mínimum} ("Dist\ Ctr-R"))))}$	
$\frac{("Dist\ Ctr-N" - \text{mínimum} ("Dist\ Ctr-N"))}{((\text{máximo} ("Dist\ Ctr-N") - (\text{mínimum} ("Dist\ Ctr-N"))))}$	
$\frac{("Dist\ Ctr-L" - \text{mínimum} ("Dist\ Ctr-L"))}{((\text{máximo} ("Dist\ Ctr-L") - (\text{mínimum} ("Dist\ Ctr-L"))))}$	
$\frac{("Pte\%Ct500" - \text{mínimum} ("Pte\%Ct500"))}{((\text{máximo} ("Pte\%Ct500") - (\text{mínimum} ("Pte\%Ct500"))))}$	
$\frac{("MD_Ctr-Cas" - \text{minimum} ("MD_Ctr-Cas"))}{((\text{maximum} ("MD_Ctr-Cas") - (\text{minimum} ("MD_Ctr-Cas"))))}$	

Tabla 9. Formulación utilizada en QGIS para realizar la Normalización. Elaboración propia.

Una vez normalizada la capa de “Posibles Castillos” se procede a realizar la Evaluación Multicriterio (EMC). Para poder aplicar la EMC, se debe realizar una ponderación de los criterios utilizados en este Trabajo de Fin de Master. Previamente, se debe asignar el peso o importancia que se le da a cada uno de los criterios utilizados para la elaboración del TFM, quedando ordenados de la siguiente forma (Tabla 10):

1º más importante	Dist Lr
2º más importante	% Pendientes
Importante	Dist Ríos
Importante	Dist Vías Pecuarias
Menos importante	Dist Núcleos

Tabla 10. Peso de los criterios. Elaboración propia.

Esta ponderación se realiza con la hoja de cálculo (SLP_ejemplo Geomarketing_5criterios), proporcionada por el profesor de la asignatura de Geomarketing de este Máster.

A continuación (Tabla 11), se muestran la Matriz de Relaciones (Matriz triangular con diagonal = 1)

Criterio		C1	C2	C3	C4	C5
Dist Lr	C1	1,00	2,00	3,00	3,00	7,00
% Pendientes	C2	0,50	1,00	2,00	2,00	3,00
Dist Ríos	C3	0,33	0,50	1,00	1,00	2,00
Dist Vías Pecuarias	C4	0,33	0,50	1,00	1,00	3,00
Dist Núcleos	C5	0,14	0,33	0,50	0,33	1,00
SUM		2,31	4,33	7,50	7,33	16,00

Tabla 11. Matriz de relaciones. Excel obtenido de la asignatura de Geomarketing de este Máster.



Con los resultados obtenidos, se observa que nuestro criterio seleccionado es consistente (Tabla 12).

IC	0,78411511	¿Consistente?	SI
RC	0,70010277		

Tabla 12. Cálculo de consistencia de los criterios seleccionados. Excel obtenido de la asignatura de Geomarketing de este Máster.

Comprobada la consistencia de la elección de los criterios seleccionados, se obtiene el “vector de significación”, cuyos valores se pueden observar en la Tabla 13.

Vector de significación			
Dist Lr	C1	2,72435687	2,72
% Pendientes	C2	1,42761958	1,43
Dist Ríos	C3	0,82118626	0,82
Dist Vías Pecuarias	C4	0,96456855	0,96
Dist Núcleos	C5	0,39606957	0,4

Tabla 13. Valores del vector de significación. Excel obtenido de la asignatura de Geomarketing de este Máster

Una vez que ya disponemos de los valores del vector de significación, aplicamos la Evaluación Multicriterio (EMC) a nuestros datos, utilizando la siguiente fórmula en el software QGIS.

$$2.72 * "DistCtrL_N" + 1.43 * "Pt\%500_N" + 0.82 * "DistCtrR_N" + 0.96 * "DistCtrV_N" + 0.4 * "DistCtrN_N"$$



A continuación, se representa cómo quedaría esta primera Evaluación Multicriterio (EMC) (Figura 19)

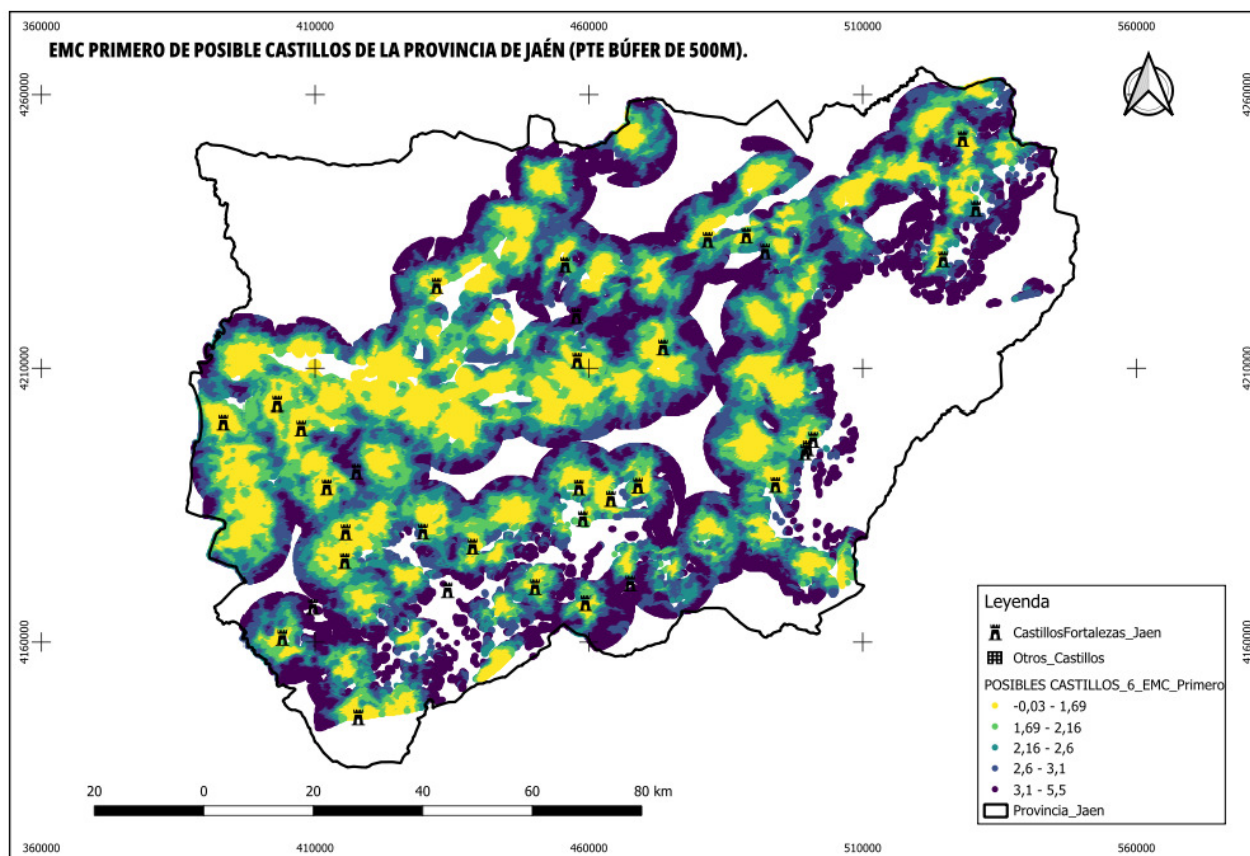


Figura 19. Representación de la Primera Evaluación Multicriterio (EMC) de Posibles Castillos de la provincia de Jaén. Elaboración propia



7.4.1.2 SEGUNDA EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EMC)

En esta segunda Evaluación Multicriterio (EMC) se utiliza el mismo filtrado y fórmula que en la primera evaluación.

La diferencia de esta evaluación con respecto a la anterior, radica en la normalización. Ya que en esta evaluación se realiza una distinción entre normalización directa (criterios EZPte%B500 m, EZPte%B15 km y MDCF-CFt_K) y normalización inversa (criterios Dist_CF_V, Dist_CF_R, Dist_CF_NU y Dist_CF_LR). Las diferencias entre la normalización directa e inversa se encuentran reflejadas y definidas en la primera Evaluación Multicriterio (pág. 31).

Para realizar el cálculo de los datos a normalizar, se utiliza la calculadora de campos de QGIS y se crea una columna por cada campo a normalizar. Para el cálculo de los valores de estas columnas, se utiliza la formulación que muestra en la Tabla 14.

FORMULACIÓN PARA LA NORMALIZACIÓN DE DATOS UTILIZADOS EN EL TFM
$1 - ((\text{"Dist Ctr-V"} - \text{mínimum ("Dist Ctr-V")}) / ((\text{máximo ("Dist Ctr-V")} - (\text{mínimum ("Dist Ctr-V")}))$
$1 - ((\text{"Dist Ctr-R"} - \text{mínimum ("Dist Ctr-R")}) / ((\text{máximo ("Dist Ctr-R")} - (\text{mínimum ("Dist Ctr-R")}))$
$1 - ((\text{"Dist Ctr-N"} - \text{mínimum ("Dist Ctr-N")}) / ((\text{máximo ("Dist Ctr-N")} - (\text{mínimum ("Dist Ctr-N")}))$
$1 - ((\text{"Dist Ctr-L"} - \text{mínimum ("Dist Ctr-L")}) / ((\text{máximo ("Dist Ctr-L")} - (\text{mínimum ("Dist Ctr-L")}))$
$(\text{"Pte\%Ct500"} - \text{mínimum ("Pte\%Ct500")}) / ((\text{máximo ("Pte\%Ct500")} - (\text{mínimum ("Pte\%Ct500")}))$
$(\text{"MD_Ctr-Cas"} - \text{mínimum ("MD_Ctr-Cas")}) / ((\text{máximo ("MD_Ctr-Cas")} - (\text{mínimum ("MD_Ctr-Cas")}))$

Tabla 14. Formulación utilizada en QGIS para realizar la Normalización. Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 14, a los datos de distancia (primeras cuatro filas) se le realiza una normalización inversa, ya que los atributos de vía pecuarias (*Dist Ctr-V*), ríos (*Dist Ctr-R*), núcleos urbanos (*Dist Ctr*) y límite a la reconquista (*Dist Ctr-L*), se encuentran a menor distancia de los Castillos – Fortalezas y por lo tanto son más importantes, mientras que a las dos últimas filas, se le realiza una normalización directa (*Pte%Ct500* y *MD_Ctr-Ca*), ya que si la pendiente es menor en la ubicación de los castillos, hay menos posibilidades de que exista un castillo y si la pendiente es mayor, hay muchas más posibilidades de que existiera un castillo. Lo mismo ocurre con la distancia de castillos a centroides (*MD_Ctr-Cas*). A menor distancia hay menos posibilidades de que exista un castillo, mientras que a más distancia hay más posibilidades de que exista un castillo.

Una vez normalizada la capa de “posibles castillos” se procede a realizar la Evaluación Multicriterio (EMC) igual que se ha realizado para el apartado 7.4.1.1. No se realiza ni filtrado ni EMC con el criterio de búfer de 500 m + el de 15 km ya que sucede lo mismo que en el filtrado de la primera EMC.

A continuación, se representa cómo quedaría esta segunda Evaluación Multicriterio (EMC) (Figura 20).

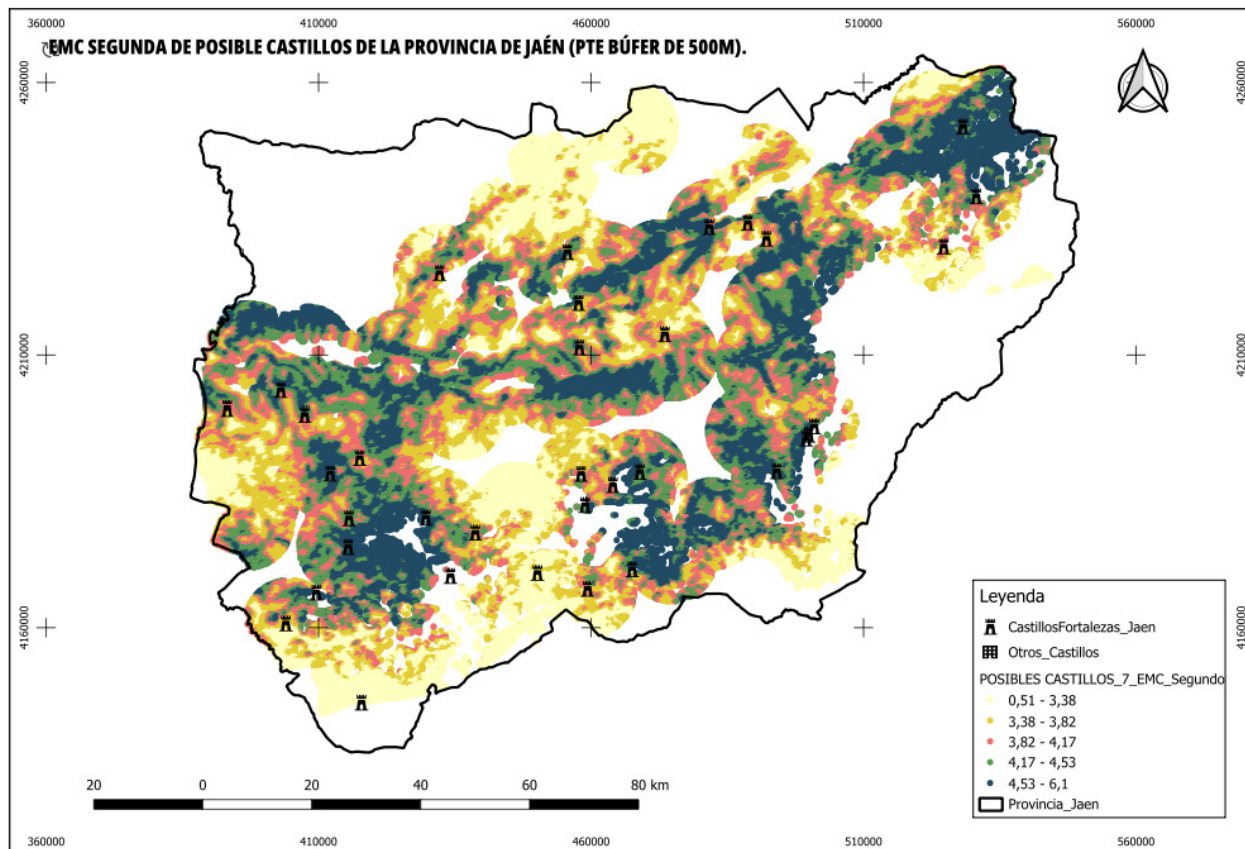


Figura 20. Representación de la Segunda Evaluación Multicriterio (EMC) de Posibles Castillos de la provincia de Jaén. Elaboración propia

7.4.1.3 TERCERA EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EMC)

En esta tercera Evaluación Multicriterio (EMC), para realizar el filtrado se utilizan los valores de la media y la desviación estándar. Para ello, se obtienen los datos estadísticos de los criterios utilizados (columnas: Dist CF_VP, Dist CF_R, Dist CF_NU, Dist CF_LR, EZPte%B500 m, EZPte%B15 km y MD_CF-CF) con la herramienta “Estadística básica para campos” que incorpora QGIS. Se selecciona el campo (columna) al que se le quiere obtener la estadística y esta herramienta genera un archivo en formato “HTML” que recoge toda la estadística de ese campo. Los datos los muestra la Tabla 15. Además, con un cuadro en rojo se resaltan los valores de la media, y la desviación estándar se marca con un cuadro en azul.



Inferencia espacial de fortificaciones en la provincia de Jaén.

Dist CF_VP	Dist CF_R	Dist CF_NU
Campo analizado: Dist_CF_V Recuento: 25 Valores únicos: 24 Valores NULOS (faltan): 10 Valor mínimo: 34.374 Valor máximo: 3129.272 Intervalo: 3094.898 Suma: 18591.615 Valor medio: 743.6646000000001 Mediana: 353.23 Desviación estándar: 853.3163222666726 Coeficiente de variación: 1.1474478175600566 Minoría (valor más raro presente): 34.374 Mayoría (valor presente con más frecuencia): 353.23 Primer cuartil: 158.876 Tercer cuartil: 1078.398 Intervalo intercuartil (IQR): 919.5219999999999	Campo analizado: Dist_CF_R Recuento: 35 Valores únicos: 35 Valores NULOS (faltan): 0 Valor mínimo: 47.0 Valor máximo: 2013.0 Intervalo: 1966.0 Suma: 29060.0 Valor medio: 830.2857142857143 Mediana: 762.0 Desviación estándar: 547.7519027249248 Coeficiente de variación: 0.6597149551057249 Minoría (valor más raro presente): 47.0 Mayoría (valor presente con más frecuencia): 47.0 Primer cuartil: 318.0 Tercer cuartil: 1307.0 Intervalo intercuartil (IQR): 989.0	Campo analizado: Dist_CF_NU Recuento: 35 Valores únicos: 35 Valores NULOS (faltan): 0 Valor mínimo: 14.51 Valor máximo: 8072.584 Intervalo: 8058.074 Suma: 48437.954000000005 Valor medio: 1383.941542857143 Mediana: 495.912 Desviación estándar: 2174.3175947386917 Coeficiente de variación: 1.5711050845759134 Minoría (valor más raro presente): 14.51 Mayoría (valor presente con más frecuencia): 14.51 Primer cuartil: 226.6765 Tercer cuartil: 887.777 Intervalo intercuartil (IQR): 661.1005
Dist CF_LR	EZPte%B500 m	MD_CF-CF
Campo analizado: Dist_CF_LR Recuento: 35 Valores únicos: 35 Valores NULOS (faltan): 0 Valor mínimo: 280.811 Valor máximo: 26949.084 Intervalo: 26668.272999999997 Suma: 290180.09099999999 Valor medio: 8290.85974285714 Mediana: 6424.849 Desviación estándar: 6021.448601125866 Coeficiente de variación: 0.7262755356962287 Minoría (valor más raro presente): 280.811 Mayoría (valor presente con más frecuencia): 280.811 Primer cuartil: 4414.4495 Tercer cuartil: 10726.235499999999 Intervalo intercuartil (IQR): 6311.785999999999	Campo analizado: EZPte%B500 Recuento: 35 Valores únicos: 35 Valores NULOS (faltan): 0 Valor mínimo: 4.658 Valor máximo: 36.834 Intervalo: 32.176 Suma: 616.704 Valor medio: 17.620114285714283 Mediana: 18.861 Desviación estándar: 7.80502527412922 Coeficiente de variación: 0.44296110385942483 Minoría (valor más raro presente): 4.658 Mayoría (valor presente con más frecuencia): 4.658 Primer cuartil: 10.907 Tercer cuartil: 21.820500000000003 Intervalo intercuartil (IQR): 10.913500000000003	Campo analizado: MDCF-CF_K Recuento: 35 Valores únicos: 35 Valores NULOS (faltan): 0 Valor mínimo: 13177.185 Valor máximo: 15096.265 Intervalo: 1919.08 Suma: 502502.98199999999 Valor medio: 14357.228057142855 Mediana: 14447.494 Desviación estándar: 494.94503464029464 Coeficiente de variación: 0.03447357892974716 Minoría (valor más raro presente): 13177.185 Mayoría (valor presente con más frecuencia): 13177.185 Primer cuartil: 14126.021 Tercer cuartil: 14706.616 Intervalo intercuartil (IQR): 580.5949999999999

Tabla 15. Valores estadísticos de los campos utilizados para realizar el filtrado de la tercer EMC. Elaboración propia.

Una vez obtenidos estos archivos en formato “HTML” nos centramos en los valores de la media y la desviación estándar, porque con ellos vamos a obtener los valores para poder realizar el filtrado. Previamente, para obtener los valores mínimos y máximos para realizar el filtrado de datos, se debe realizar las operaciones que muestran las siguientes fórmulas:

$$\text{Valores mínimos} = \text{media} - \text{desviación estandar}$$

$$\text{Valores máximos} = \text{media} + \text{desviación estandar}$$



Aplicadas estas operaciones, obtenemos los datos necesarios para realizar el filtrado a la cobertura. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 16. A los valores que presentan un valor negativo se le asigna el valor 0 (celdas marcadas en amarillo).

Criterios	Media	Desviación estándar	Media - DesvEst	Media + DesvEst
			Valores Mínimos	Valores Máximos
Dist CF_VP	743,665	853,316	-109,652	1596,981
Dist CF_R	830,286	547,752	282,534	1378,038
Dist CF_NU	1383,942	2174,318	-790,376	3558,259
Dist CF_LR	8290,860	6021,449	2269,411	14312,308
EZPte%B500m	17,620	7,805	9,815	25,425
EZPte%B15km	7,538	2,950	4,588	10,489
MD_CF-CF	14357,228	494,945	13862,283	14852,173

Tabla 16. Valores de la media y desviación estándar para obtener los valores mínimos y máximos. Elaboración propia.

Con los valores mínimos y máximos de la Tabla 16, aplicando la formulación de la Tabla 17 y utilizando la calculadora de campos de QGIS se realiza la normalización de los datos y se crea una columna por cada campo a normalizar.

FORMULACIÓN PARA LA NORMALIZACIÓN DE DATOS UTILIZADOS EN EL TFM
("Dist Ctr-V" - minimum("Dist Ctr-V")) / ((maximum("Dist Ctr-V") - (minimum("Dist Ctr-V"))))
("Dist Ctr-R" - minimum("Dist Ctr-R")) / ((maximum("Dist Ctr-R") - (minimum("Dist Ctr-R"))))
("Dist Ctr-N" - minimum("Dist Ctr-N")) / ((maximum("Dist Ctr-N") - (minimum("Dist Ctr-N"))))
("Dist Ctr-L" - minimum("Dist Ctr-L")) / ((maximum("Dist Ctr-L") - (minimum("Dist Ctr-L"))))
("Pte%Ct500"- minimum("Pte%Ct500")) / ((maximum("Pte%Ct500") - (minimum("Pte%Ct500"))))
("MD_Ctr-Cas" - minimum("MD_Ctr-Cas")) / ((maximum("MD_Ctr-Cas") - (minimum("MD_Ctr-Cas"))))

Tabla 17. Formulación utilizada en QGIS para realizar la Normalización. Elaboración propia.

Una vez normalizada la capa de “posibles castillos” se procede a realizar la Evaluación Multicriterio (EMC) igual que se ha realizado para el apartado 7.4.1.1. No se realiza ni filtrado ni EMC con el criterio de búfer de 500 m + el de 15 km ya que sucede lo mismo que en el filtrado de la primera EMC.



A continuación, se representa cómo quedaría esta tercera Evaluación Multicriterio (EMC) (Figura 20).

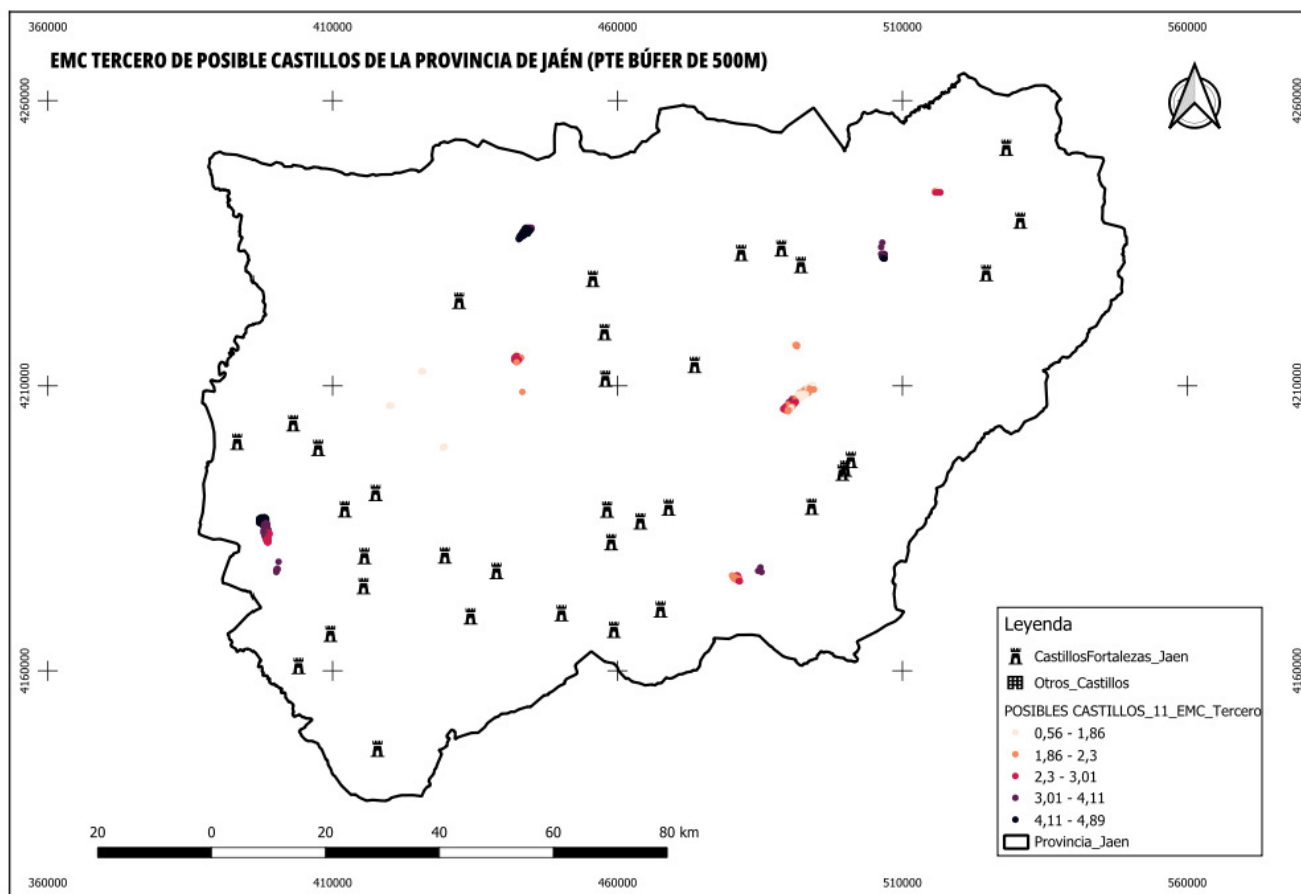


Figura 20. Representación de la Tercera Evaluación Multicriterio (EMC) de Posibles Castillos de la provincia de Jaén. Elaboración propia

7.4.1.4 CUARTA EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EMC)

En esta cuarta Evaluación Multicriterio (EMC) se utiliza el mismo filtrado que en la primera evaluación.

La diferencia de esta evaluación con respecto a la anterior, radica en la normalización. Ya que en esta evaluación se realiza una distinción entre normalización directa (criterios EZPte%B500 m, EZPte%B15 km y MDCF-CFt_K) y normalización inversa (criterios Dist_CF_V, Dist_CF_R, Dist_CF_NU y Dist_CF_LR). Las diferencias entre la normalización directa e inversa se encuentran reflejadas y definidas en la primera Evaluación Multicriterio del apartado 7.4.1.1.

Para realizar el cálculo de los datos a normalizar, se utiliza la calculadora de campos de QGIS y se crea una columna por cada campo a normalizar. Para el cálculo de los valores de estas columnas, se utiliza la formulación que muestra en la Tabla 18 .



FORMULACIÓN PARA LA NORMALIZACIÓN DE DATOS UTILIZADOS EN EL TFM	
1-((("Dist Ctr-V" - minimum("Dist Ctr-V")) / ((maximum("Dist Ctr-V") - (minimum("Dist Ctr-V"))))))))))	
1-((("Dist Ctr-R" - minimum("Dist Ctr-R")) / ((maximum("Dist Ctr-R") - (minimum("Dist Ctr-R"))))))))	
1-((("Dist Ctr-N" - minimum("Dist Ctr-N")) / ((maximum("Dist Ctr-N") - (minimum("Dist Ctr-N"))))))))	
1-((("Dist Ctr-L" - minimum("Dist Ctr-L")) / ((maximum("Dist Ctr-L") - (minimum("Dist Ctr-L"))))))))	
("Pte%Ct500"- minimum("Pte%Ct500")) / ((maximum("Pte%Ct500") - (minimum("Pte%Ct500"))))))	
("MD_Ctr-Cas" - minimum("MD_Ctr-Cas")) / ((maximum("MD_Ctr-Cas") - (minimum("MD_Ctr-Cas"))))))	

Tabla 18. Formulación utilizada en QGIS para realizar la Normalización. Elaboración propia.

Como se puede observar en la 18, a los datos de distancia (primeras cuatro filas) se le realiza una normalización inversa, ya que los atributos de vía pecuarias (*Dist Ctr-V*), ríos (*Dist Ctr-R*), núcleos urbanos (*Dist Ctr*) y límite a la reconquista (*Dist Ctr-L*), se encuentran a menor distancia de los Castillos – Fortalezas y por lo tanto son más importantes, mientras que a las dos últimas filas, se le realiza una normalización directa (*Pte%Ct500* y *MD_Ctr-Ca*), ya que si la pendiente es menor en la ubicación de los castillos, hay menos posibilidades de que exista un castillo y si la pendiente es mayor, hay muchas más posibilidades de que existiera un castillo. Lo mismo ocurre con la distancia de castillos a centroides (*MD_Ctr-Cas*). A menor distancia hay menos posibilidades de que exista un castillo, mientras que a más distancia hay más posibilidades de que exista un castillo.

Una vez normalizada la capa de “posibles castillos” se procede a realizar la Evaluación Multicriterio (EMC) igual que se ha realizado para el apartado 7.4.1.1. No se realiza ni filtrado ni EMC con el criterio de búfer de 500 m + el de 15 km ya que sucede lo mismo que en el filtrado de la primera EMC.



A continuación, se representa como quedaría esta cuarta Evaluación Multicriterio (EMC) (Figura 21).

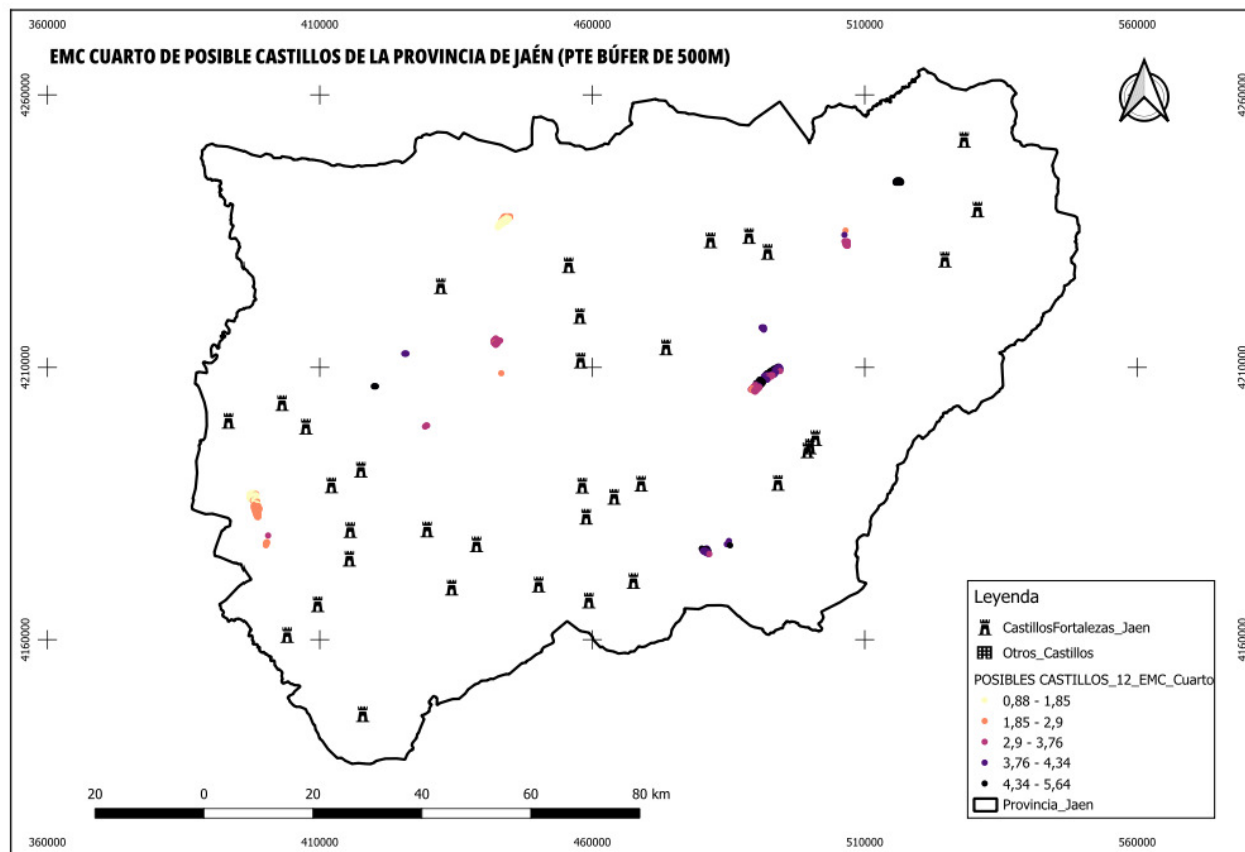


Figura 21. Representación de la cuarta Evaluación Multicriterio (EMC) de Posibles Castillos de la provincia de Jaén. Elaboración propia

7.4.1.5 QUINTA EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EMC)

Para esta quinta Evaluación Multicriterio (EMC), primero se desarrolla un nuevo proceso de normalización y seguidamente se realizará el filtrado correspondiente.

Este nuevo proceso de normalización trata de reflejar el histograma de las variables en los valores asignados al valor normalizado, es decir, el valor final de la normalización se corresponderá con el porcentaje de castillos que cumplen y que se encuentran en los límites de la variable explicada.

Para ello, se ha determinado un histograma con 5 clases divididas por igual intervalo entre el valor máximo y mínimo asociado a la variable. La elección de 5 clases se debe a dos decisiones. La primera, que el número de clases sea impar para comprobar si la función de distribución de la variable es normal pudiendo disponer de una frecuencia máxima en la clase central y valores que disminuyen hacia los extremos. El número de clases se ha tratado de mantener bajo debido a que el conjunto de datos de entrada (los castillos) son una muestra de sólo 35 elementos.



Inferencia espacial de fortificaciones en la provincia de Jaén.

A continuación, se muestra la Tabla 18 que recoge los criterios con los que se realiza el histograma (esta tabla es la tabla de criterios sobre la que se ha desarrollado el TFM).

id	NOMBRE CAS	Dist_CF_VP	Dist_CF_R	Dist_CF_NU	Dist_CF_LR	EZPteCF500	EZPteCFB15	MD CastFor
1	Castillo de Albánchez de Mágina	353,23	341	230,949	14413,769	30,849	10,294	15096,265
2	Fortaleza de La Mota	138,671	1139	495,912	26949,084	11,961	7,938	14994,242
4	Castillo de Alcaudete	340,393	1431	545,938	9152,196	10,188	6,296	15030,248
5	Castillo, aljibe y entorno de la Plaza de Santa María	261,891	361	402,352	4766,833	10,41	3,245	14925,092
6	Castillo de Trovador Macías	88,54	224	203,039	482,49	4,658	3,451	14821,892
7	Castillo de Burguilimar (Bury al-Hammam)	158,876	2013	464,109	5606,796	9,765	4,52	14720,687
9	Castillo Nuevo de Bedmar	204,559	1831	273,205	9376,076	36,834	9,046	14524,432
11	Castillos de Cambil y Alhabar	43,989	47	76,988	22861,905	20,374	11,853	14969,289
12	Castillo de Canena	281,995	294	163,751	6896,718	10,413	4,393	14861,009
13	Castillo de Pallarés	1078,398	960	309,586	6424,849	13,977	5,034	14754,647
14	Castillo de Consolación (Castillo de la Espinosa)	3129,272	553	3468,758	3540,138	8,644	5,33	14650,246
16	Castillo de la Yedra	105,476	145	724,294	10939,625	27,976	11,126	14447,494
17	Castillo de Salvatierra (Cinco Esquinas)	767,012	762	1462,777	10333,702	28,843	11,058	14349,229
20	Castillo de Hornos	832,704	796	14,51	17863,092	23,472	12,603	14692,545
21	Castillo de Alburquerque	247,79	1464	681,099	15004,22	18,233	10,845	14584,955
22	Castillo de Solera	78,124	845	4518,164	6096,823	25,174	9,909	14479,33
25	Castillo de Santa Catalina	241,921	1515	1285,534	4062,066	20,28	7,646	14174,684
26	Castillo de Otiñar	3760,723	185	6479,661	10512,846	22,792	11,948	14077,358
27	Castillo de Jimena	197,29	125	52,112	15377,003	20,075	8,457	14635,65
28	Castillo de Jódar (Castillo de los Carvajales)	583,362	656	633,314	4817,433	20,481	7,734	14524,883
29	Castillo de La Guardia de Jaén	492,598	1300	231,043	12530,444	16,614	9,321	14416,042
30	Castillo de La Iruela	109,208	1537	233,508	12325,517	25,08	11,405	14309,17
31	Castillo Fortaleza de Lopera	203,761	1449	222,404	4874,186	4,755	3,315	14204,313
33	Castillo de la Peña de Martos	385,247	623	984,479	1638,153	26,683	6,983	14000,822
34	Castillo de la Encomienda de Víboras	1508,421	173	7627,261	6166,162	20,849	6,534	13902,279
39	Castillo de Peñas Negras de Tíscar	67,921	295	420,187	5709,999	11,401	9,446	14470,096
40	Castillo de Sabiote	1738,396	720	791,075	10157,091	14,877	5,011	14358,051
41	Castillo de San Esteban	377,096	1314	671,715	1016,226	18,861	5,407	14247,936
43	Castillo de Segura de la Sierra	1682,833	1246	186,478	9234,764	20,839	11,972	14033,671
46	Castillo del Berrueco	2844,299	496	5007,771	2155,446	6,159	4,165	13727,884
48	Castillo de Torredonjimeno	41,651	120	584,95	5619,159	5,933	5,631	13534,98
50	Castillo de Torres de Albánchez	34,374	1420	57,811	3676,973	15,382	9,142	13351,285
51	Castillo de Giribaile	1673,557	1067	8072,584	2720,289	20,806	4,358	13263,012
52	Castillo del Cerro de la Virgen	1196,802	1144	672,261	6597,207	20,681	4,313	13177,185
53	Castillo de Villardompardo	256,787	469	188,375	280,811	12,385	4,113	14192,079

Tabla 18. Criterios para la realización del histograma. Elaboración propia.

En la



Figura 22, se muestran los histogramas (gráficas) de cinco clases para cada uno de los criterios utilizados en este TFM.

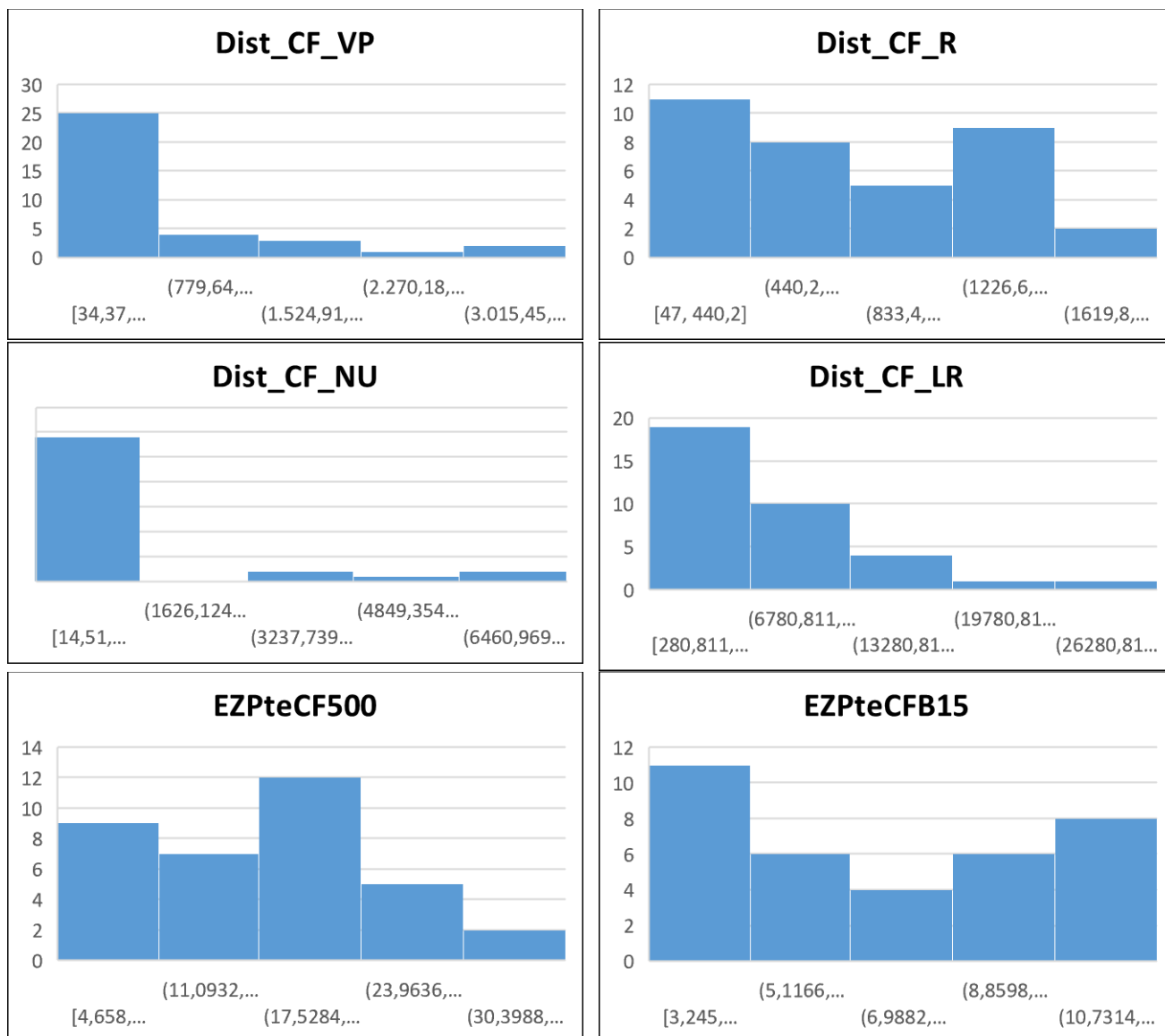


Figura 22. Histogramas de las variables elegidas en el TFM para las fortalezas existentes. Elaboración propia

Una vez realizado el proceso de normalización, se pueden usar los mismos criterios de EMC que en las otras soluciones siempre que el filtrado contenga los valores máximos y mínimos asociados a las variables y que quedan reflejados en que la ponderación se hace 0 cuando los valores estén fuera de esos máximos y mínimos.

Los cálculos utilizados en la calculadora de campos de QGIS para la normalización de cada una de las variables pueden verse a continuación (Tabla 19).



Dist_CF_VP	Dist_CF_R
CASE WHEN "Dist Ctr-V" < 779.6438 THEN 25/35 WHEN "Dist Ctr-V" < 1524.9136 THEN 4/35 WHEN "Dist Ctr-V" < 2270.1834 THEN 3/35 WHEN "Dist Ctr-V" < 3015.4532 THEN 1/35 WHEN "Dist Ctr-V" <= 3760.723 THEN 2/35 ELSE 0 END	CASE WHEN "Dist Ctr-R" < 440.2 THEN 11/35 WHEN "Dist Ctr-R" < 833.4 THEN 8/35 WHEN "Dist Ctr-R" < 1226.6 THEN 5/35 WHEN "Dist Ctr-R" < 1619.8 THEN 9/35 WHEN "Dist Ctr-R" <= 2013 THEN 2/35 ELSE 0 END
Dist_CF_NU	Dist_CF_LR
CASE WHEN "Dist Ctr-N" < 1626.1248 THEN 29/35 WHEN "Dist Ctr-N" < 3237.7396 THEN 0/35 WHEN "Dist Ctr-N" < 4849.3544 THEN 2/35 WHEN "Dist Ctr-N" < 6460.9692 THEN 1/35 WHEN "Dist Ctr-N" <= 8072.584 THEN 2/35 ELSE 0 END	CASE WHEN "Dist Ctr-L" < 6780.811 THEN 19/35 WHEN "Dist Ctr-L" < 13280.811 THEN 10/535 WHEN "Dist Ctr-L" < 19780.811 THEN 2/35 WHEN "Dist Ctr-L" < 26280.811 THEN 1/35 WHEN "Dist Ctr-L" <= 32780.811 THEN 1/35 ELSE 0 END
EZPteCF500	EZPteCFB15
CASE WHEN "Pte%Ct500" < 11.0932 THEN 9/35 WHEN "Pte%Ct500" < 17.5284 THEN 7/35 WHEN "Pte%Ct500" < 23.9636 THEN 12/35 WHEN "Pte%Ct500" < 30.3988 THEN 5/35 WHEN "Pte%Ct500" <= 36.834 THEN 2/35 ELSE 0 END	CASE WHEN "Pte%Ct1500" < 5.1166 THEN 11/35 WHEN "Pte%Ct1500" < 6.9882 THEN 6/35 WHEN "Pte%Ct1500" < 8.8598 THEN 4/35 WHEN "Pte%Ct1500" < 10.7314 THEN 6/35 WHEN "Pte%Ct1500" <= 12.603 THEN 8/35 ELSE 0 END

Tabla 19. Formulación para realizar la normalización. Elaboración propia

Una vez normalizada la capa de “posibles castillos” se procede a realizar la Evaluación Multicriterio (EMC) igual que se ha realizado para el apartado 7.4.1.1. No se realiza ni filtrado ni EMC con el criterio de búfer de 500 m + el de 15 km ya que sucede lo mismo que en el filtrado de la primera EMC.



A continuación, se representa cómo quedaría esta quinta Evaluación Multicriterio (EMC) (Figura 23).

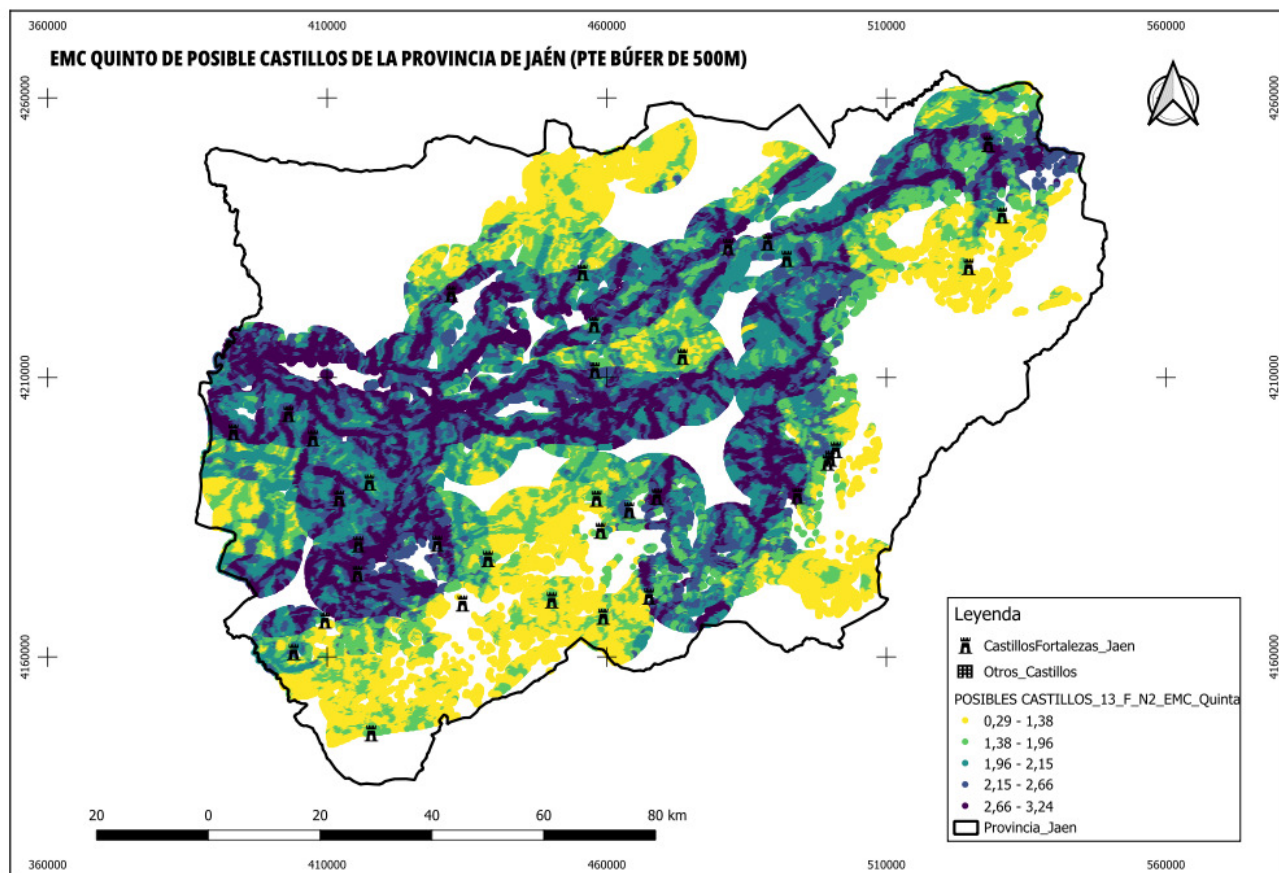


Figura 23. Representación de la quinta Evaluación Multicriterio (EMC) de Posibles Castillos de la provincia de Jaén. Elaboración propia

8. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación, se detallan las incidencias encontradas tras la realización del filtrado de la cobertura de “Posibles Castillos” que incluye el los criterios “EZPte%B500 m” y “EZPte%B15 km” (Figura 24).

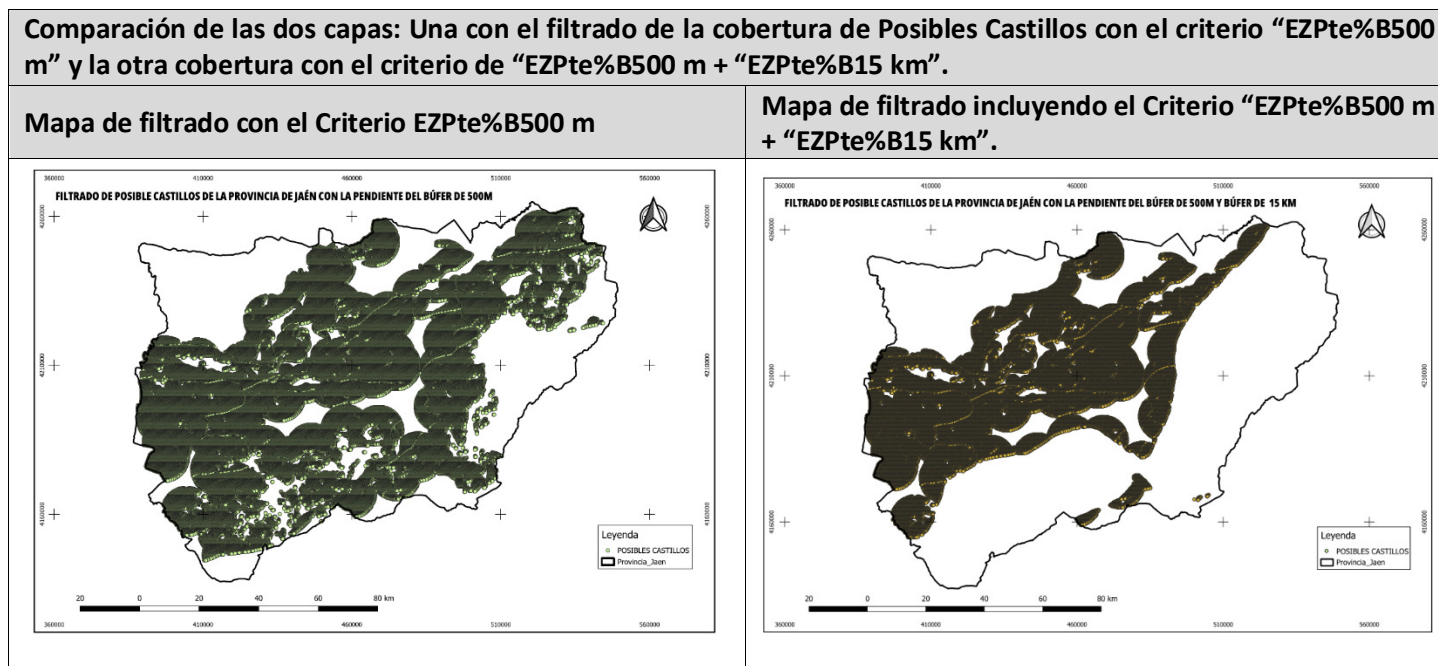


Figura 24. Comparación de las dos capas: Una con el filtrado de la cobertura de Posibles Castillos con el criterio “EZPte%B500 m” y la otra cobertura con el criterio de “EZPte%B15 km”. Elaboración propia

Como se puede observar, en la Figura 24 hay más “Posibles Castillos” en el plano de la izquierda que en el plano de la derecha. El motivo principal es que al realizar el filtrado aplicando la fórmula de los dos criterios unidos (“EZPte%B500 m” + “EZPte%B15 km”) interactúan negativamente y se eliminan todos los “Posibles Castillos” que se localizan en la zona de Campiña de Jaén. Por lo tanto, una vez que se ha comprobado la pérdida de “Posibles Castillos” entre el filtrado de búfer de 500 m y el filtrado de búfer de 500 m + el de 15 km, se opta por no realizar más el filtrado del criterio “EZPte%B15 km” en todas las Evaluaciones multicriterio (EMC).

Aclarada la incidencia del filtrado de la cobertura de “Posibles Castillos”, se procede a mostrar un mosaico con los productos elaborados.



Este mosaico está compuesto por los mapas de las cinco Evaluaciones Multicriterio (EMC) que se han elaborado en este TFM (Figura 25).

MOSAICO DEL LAS CINCO EVALUACIONES MULTICRITERIO (EMC)

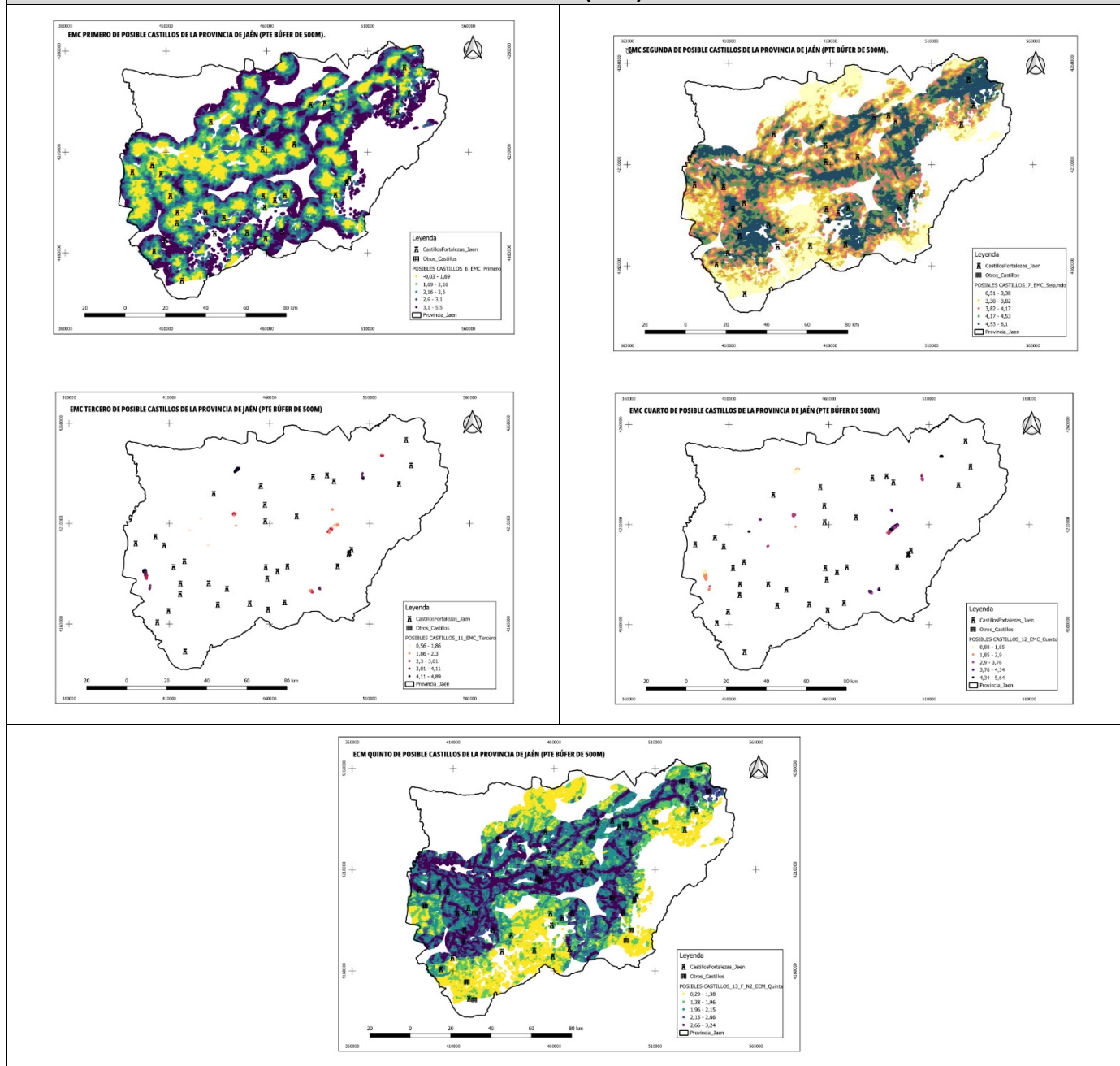


Figura 25. Representación de Los cinco mapas de Evaluaciones (EMC) de Posibles Castillos de la provincia de Jaén. Elaboración propia.



Analizando los mapas de las cinco Evaluaciones Multicriterio en su conjunto, se observa:

1. Que los mapas que representan el tercer y cuarto EMC se descartan como posibles ubicaciones de Castillos – Fortalezas que existieran antiguamente, ya que la ubicación de los actuales y existentes Castillos – Fortalezas, no se aproximan a la ubicación que muestra la inferencia espacial. Este motivo se debe a que no han cumplido con los criterios seleccionados para la localización de los lugares idóneos de donde existían, existen y pudieran existir castillos.
2. Que el EMC primero, el EMC segundo y el EMC quinto, nos muestra más posibilidades de posibles zonas donde se podrían ubicar los Castillos-Fortalezas antiguamente y donde actualmente podemos encontrar algunas de esas fortalezas militares a partir de esa información y deducir la situación de otras fortalezas desaparecidas por cualquier causa.

Centrándonos en los EMC del punto 2. Observamos que, si se realiza un examen más exhaustivo de estos mapas individualmente, se observa:

- En el mapa que representa el primer EMC, se puede observar que la ubicación de la mayoría de los Castillos – Fortalezas que actualmente existen en la realidad, no se encuentra en las zonas de Posibles Castillos. Zonas en las que se cumplen con la mayoría de criterios seleccionados para la elaboración de este TFM.
- En el mapa que representa el segundo EMC, se puede observar que tiene el porcentaje más alto *de Castillos – Fortalezas* que actualmente existen en la realidad, *cuya* ubicación se aproxima o coincide con las zonas donde se encuentran los Posibles Castillos. Zonas en las que se cumplen con la mayoría de criterios seleccionados para la elaboración de este TFM.
- En el mapa que representa el quinto EMC, se puede observar que hay un porcentaje alto de Castillos – Fortalezas que actualmente existen en la realidad, cuya ubicación se aproxima o coinciden con las zonas de Posibles Castillos. Zonas en las que se cumplen con la mayoría de criterios seleccionados para la elaboración de este TFM, pero este porcentaje es un poco inferior que en el segundo EMC.



9. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

9.1 ANÁLISIS

En línea general con la elaboración de este TFM, se ha pretendido localizar los Castillos Medievales en la provincia de Jaén mediante el estudio de una serie de criterios generales. Estos criterios nos indicarán de la existencia actual de un Castillo Medieval o que pudo haber existido un Castillo Medieval y que por una serie de condiciones adversas este Castillo Medieval pudo ser derruido.

Haciendo referencia a la definición de Metodología del Diseño Experimental (DoE), que dice: *“Herramienta estadística con la que se manipulan intencionadamente una o más variables, emparentadas a las causas, para ver como repercuten en otra variable que nos interesan”*. El DoE crea los modelos referentes a:

- Variables que se necesitan manejar.
- Como utilizar estas variables.
- Número de veces que se tiene que repetir el experimento.
- Orden para poder crear un grado de confianza para conocer la necesidad de la relación de causa-efecto.

Principalmente, lo que se pretende con el DoE es obtener soluciones a los problemas que se nos presentan, realizando el número mínimo de pruebas posible.

9.2 CONCLUSIONES

Tras realizar y hacer un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos y los productos elaborados, he llegado a la conclusión de que la Evaluación Multicriterio (EMC) que más se adapta a la realidad y que cumple con el objetivo que se pretendía este Trabajo de Fin de Grado (existencia actual de un Castillo Medieval o que pudo haber existido un Castillo Medieval y que por una serie de condiciones adversas este Castillo Medieval pudo ser derruido) es la **segunda Evaluación Multicriterio (EMC), con un porcentaje de un 40%**.

La decisión que he tomado se fundamenta principalmente en los resultados obtenidos tras realizar todos los cálculos y desarrollo de este TFM, en un análisis visual de todas las Evaluaciones Multicriterio (EMC) y del cálculo de porcentaje tras realizar un recuento puntual de los Castillos – Fortalezas que se encontraban en las zonas del análisis EMC que cumplían con todos los criterios seleccionados.

A continuación, se muestran los porcentajes que tienen las cinco Evaluaciones Multicriterio (Tabla 20)

	Nº Castillos Cumplen Máximos Criterios	%
Castillos Primer EMC	3	8,57
Castillos Segundo EMC	14	40
Castillos Tercer EMC	0	0,00
Castillos Cuarto EMC	0	0,00
Castillos Quinto EMC	9	25,71
Total Castillos =	35	

Tabla 20. Cálculo de % de Castillos - Fortalezas que cumple con el máximo de criterios del TFM. Elaboración propia.



10. BIBLIOGRAFÍA

LIBROS, ARTICULOS Y DOCUMENTOS.

- Barredo Cano, José Ignacio (1996): Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio, en la ordenación del territorio, RA-MA Editorial, España, 250 pp. ISBN 84-7897-230-7
- Barredo, José & Bosque-Sendra, Joaquín. (1998). Multi-criteria evaluation methods for ordinal data in a GIS environment. Geographical Systems. 5. 313-327. https://www.researchgate.net/publication/253993117_Multi-criteria_evaluation_methods_for_ordinal_data_in_a_GIS_environment
- Fuentes Santos, Isabel (2009). Inferencia estadística en procesos puntuales espaciales. Aplicación al análisis de incendios forestales en Galicia. Trabajo Fin de Master. http://eio.usc.es/pub/mte/descargas/ProyectosFinMaster/Proyecto_296.pdf
- Gutiérrez Pulido, Humberto & Salazar, Román. (2012). Análisis y Diseño de Experimentos. ISBN: 978-970-10-6526-6. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf
- Quispe Quispe, B., & López de Castilla Vasquez, C. (2017). Modelos estadísticos en procesos puntuales espaciales poisson para evaluar la distribución espacial de los hechos delictivos en Lima, Perú. Anales Científicos, 78(2), 100-111. <https://doi.org/10.21704/ac.v78i2.1045>
- Vergara Rodríguez, C, Mendoza Ortega, G y Salgado Ordosgoitia, R. (2018). Implementación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para la toma de decisiones en la gestión de abastecimiento; aplicación a una empresa productora de queso costeño. Corporación Universitaria del Caribe - CECAR.
- Yang, J., He, H.S., Shifley, S.R. & Gustafson, E.J. (2007): Spatial patterns of modern period human-caused fire occurrence in the Missouri Ozark Highlands, Forest Science 53, pp. 1–15.

WEB VISITADAS PARA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN

Historia:

- [https://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Ja%C3%A9n_\(Espa%C3%B1a\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Ja%C3%A9n_(Espa%C3%B1a))
- <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2064101>
- <https://jaen-provincia.costasur.com/es/geografia-historia.html>
- <https://psicologiaymente.com/cultura/tipos-castillos>.
- <https://www.orgullososdejaen.es/2013/02/breve-historia-de-la-provincia-de-jaen/>
- https://gabrielsagra.blogspot.com/2018/08/del-reino-de-jaen-castellano-la_25.html
- <https://www.rtve.es/television/20220307/jaen-castillos-espana/2304023.shtml#:~:text=Ese%20es%20el%20caso%20de,y%20otras%20murallas%20y%20castros>.
- <https://www.orgullososdejaen.es/2013/02/breve-historia-de-la-provincia-de-jaen/>



Obtención de datos:

- https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/ultimosDatos/index.html#UD_T08
- <https://portalrediam.cica.es/descargas>

Análisis:

- https://tereom.github.io/est-multivariada-15/13-Est_espacial.html
- <https://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node58.html>
- <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/introduction/spatial-analysis-in-arcgis-pro.htm#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20espacial%20permite%20resolver,realizar%20predicciones%20y%20tomar%20decisiones.>
- <https://eos.com/es/blog/analisis-espacial/#:~:text=En%20general%20un%20an%C3%A1lisis%20espacial,investigaci%C3%B3n%20y%20evaluar%20los%20resultados.>
- <https://www.seio.es/beio/una-introduccion-a-la-estadistica-espacial/#:~:text=La%20estad%C3%ADstica%20espacial%20estudia%20procesos,proporcionadas%20por%20la%20estad%C3%ADstica%20espacial.>
- <https://www.esri.com/es-es/what-is-gis/overview>

DOE:

- https://www.mt.com/es/es/home/applications/L1_AutoChem_Applications/L2_ReactionAnalysis/design-of-experiments-doe.html
- <https://es.slideshare.net/vpumisacho/12-intro-doe>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o_experimental#:~:text=El%20dise%C3%B1o%20experimental%20es%20una,en%20otra%20variable%20de%20inter%C3%A9s.



11. ANEXOS

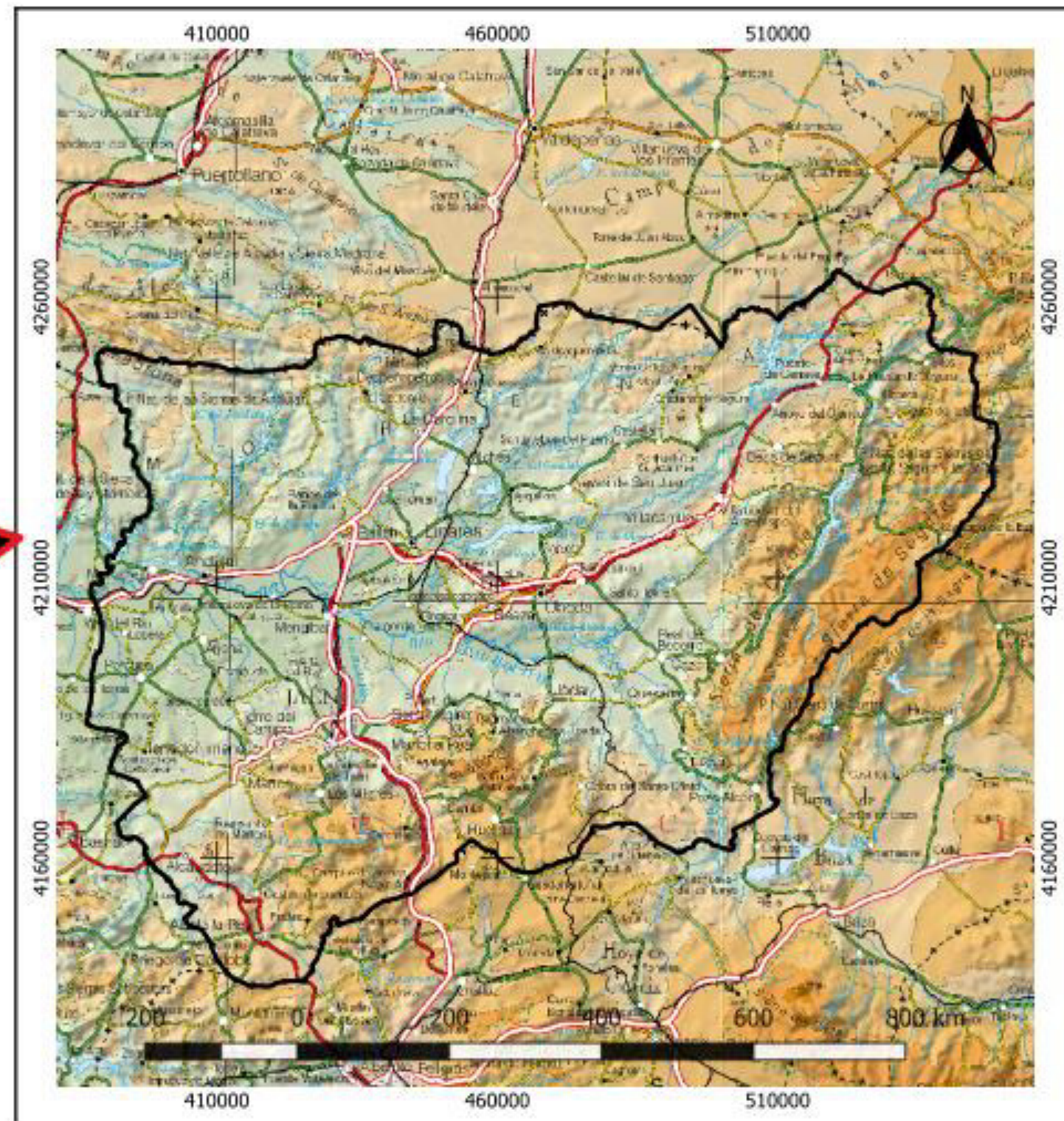
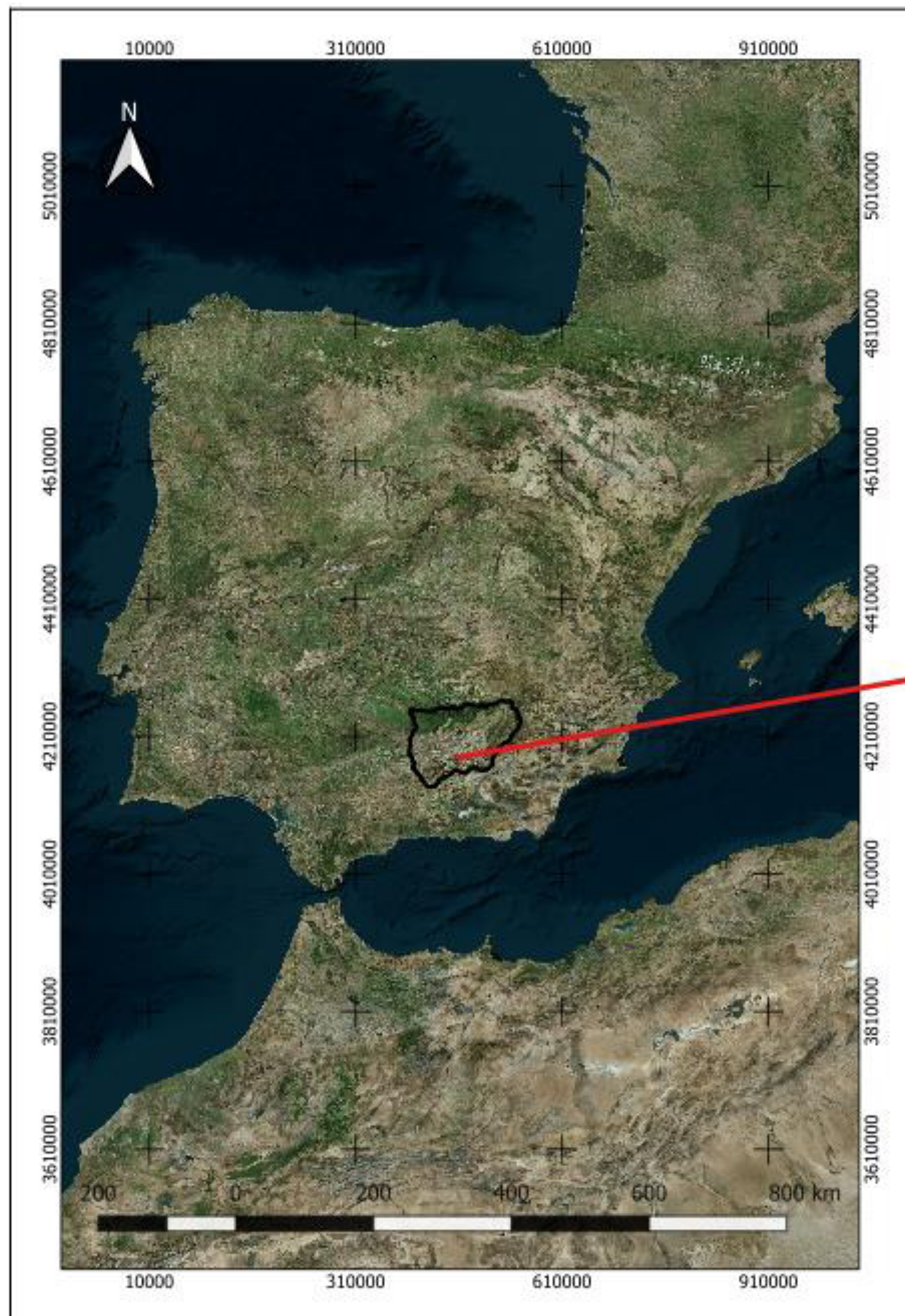
A continuación, se nombran los anexos que componen este Trabajo de Fin de Máster (TFM). Posteriormente, se representan estos anexos.

- ANEXO 1: PLANO LOCALIZACION DE LA PROVINCIA DE JAEN.
- ANEXO 2: DISTRIBUCIÓN DE CASTILLOS Y FORTALEZAS EN JAEN.
- ANEXO 3: CAPAS PRINCIPALES DEL TFM.
- ANEXO 4: LÍMITES RECONQUISTA.
- ANEXO 5: MAPA DE PENDIENTES DE LA PROVINCIA DE JAÉN.
- ANEXO 6: FILTRADO DE POSIBLES CASTILLOS_CON BUFER DE 500M.
- ANEXO 7: FILTRADO DE POSIBLES CASTILLOS(500M + 15 KM).
- ANEXO 8: EMC PRIMERA POSIBLES CASTILLOS (500M).
- ANEXO 9: EMC SEGUNDA POSIBLES CASTILLOS (500M).
- ANEXO 10: EMC TERCERA POSIBLES CASTILLOS (500M).
- ANEXO 11: EMC CUARTA POSIBLES CASTILLOS (500M).
- ANEXO 12: EMC QUINTA POSIBLES CASTILLOS (500M).
- ANEXO 13: MOSAICO DE LOS 5 EMC DE POSIBLES CASTILLOS.



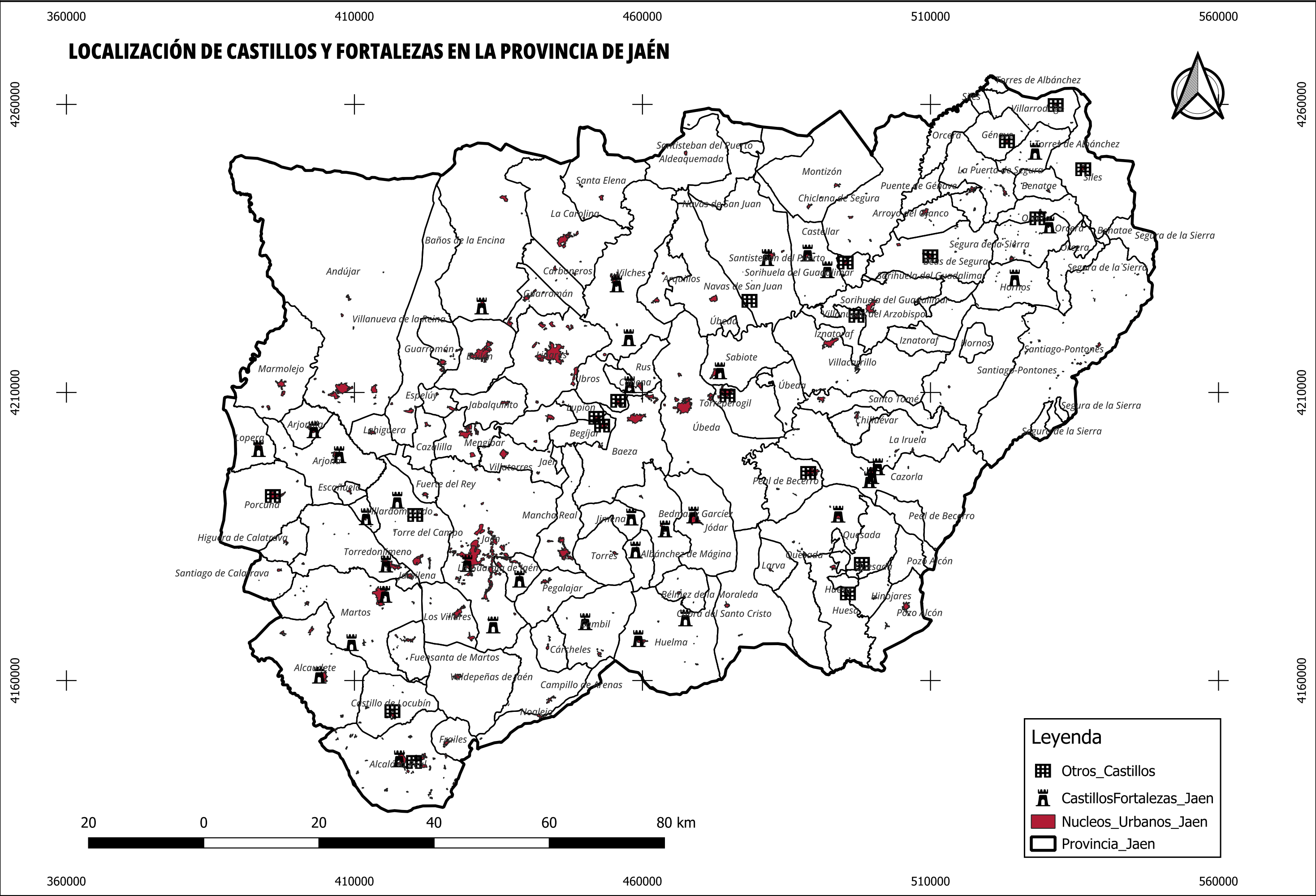
ANEXO 1: PLANO LOCALIZACION DE LA PROVINCIA DE JAEN.

PLANO DE LOCALIZACIÓN DE LA PROVINCIA DE JAÉN



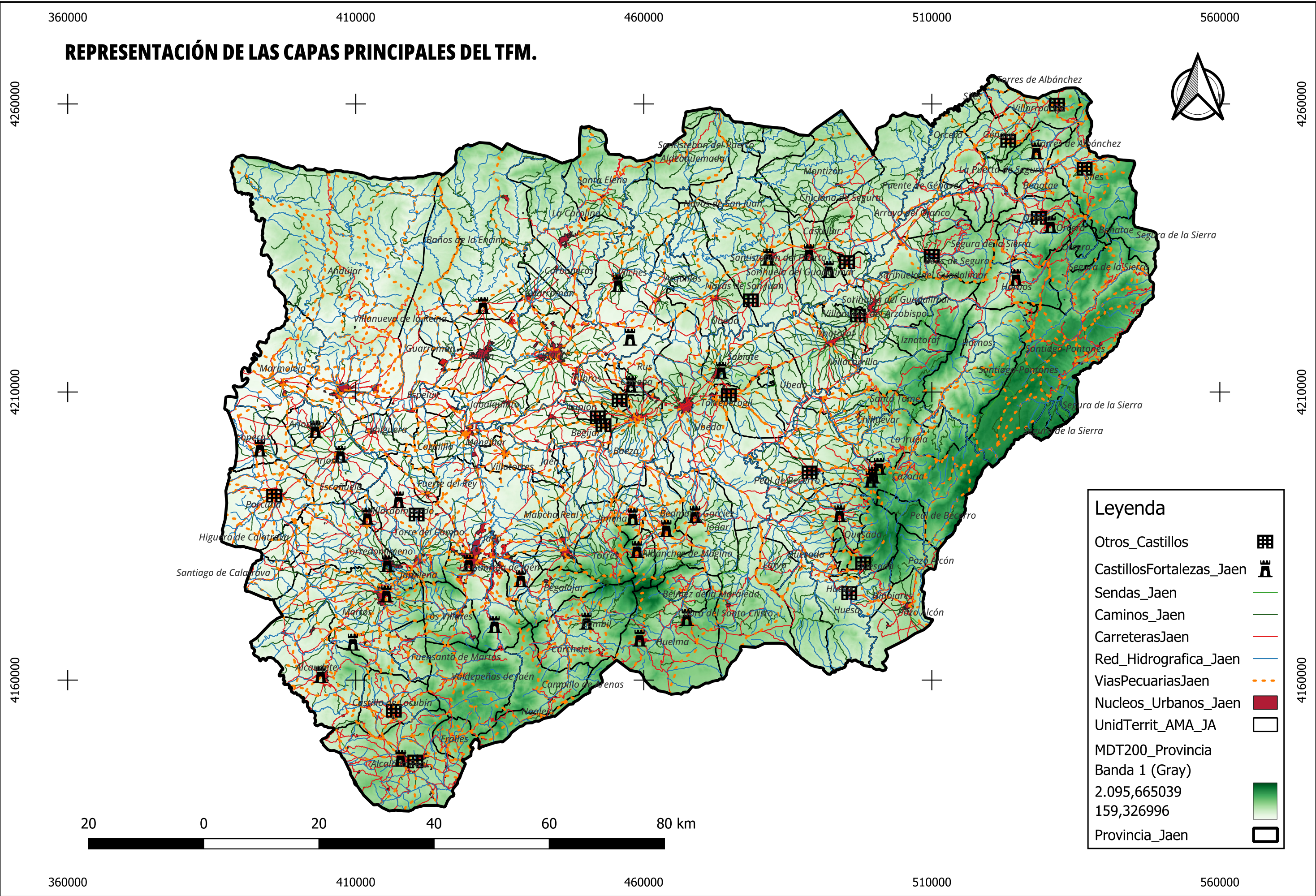


ANEXO 2: DISTRIBUCIÓN DE CASTILLOS Y FORTALEZAS EN JAÉN.





ANEXO 3: CAPAS PRINCIPALES DEL TFM.



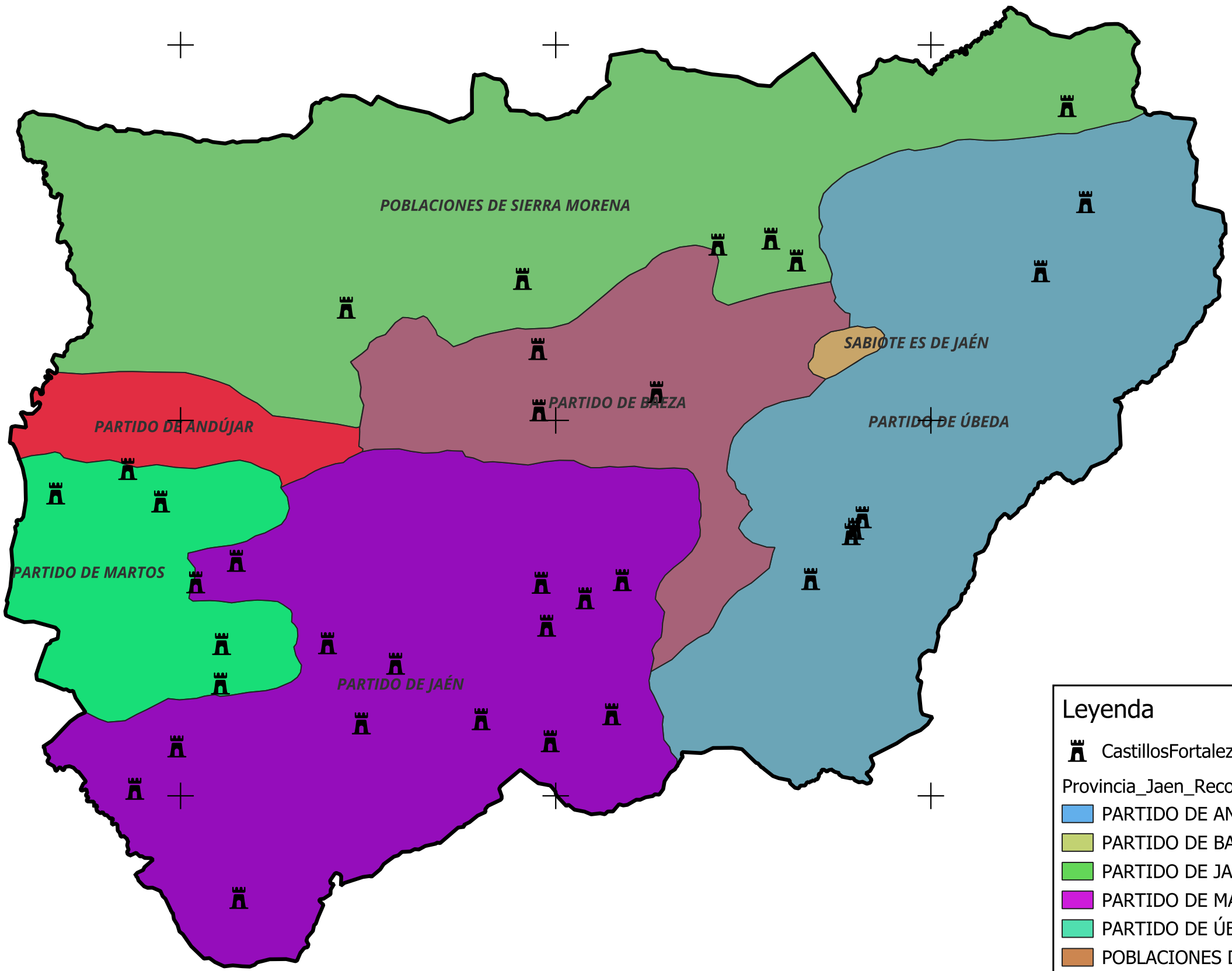
Leyenda

Otros_Castillos	
CastillosFortalezas_Jaen	
Sendas_Jaen	
Caminos_Jaen	
CarreterasJaen	
Red_Hidrografica_Jaen	
ViasPecuariasJaen	
Nucleos_Urbanos_Jaen	
UnidTerrit_AMA_JA	
MDT200_Provincia	
Banda 1 (Gray)	
2.095,665039	
159,326996	
Provincia_Jaen	



ANEXO 4: LÍMITES RECONQUISTA.

LOCALIZACIÓN DE CASTILLOS Y FORTALEZAS EN LOS REINOS DE LA PROVINCIA DE JAÉN EN EL PERIODO DE LA RECONSIQUSTA

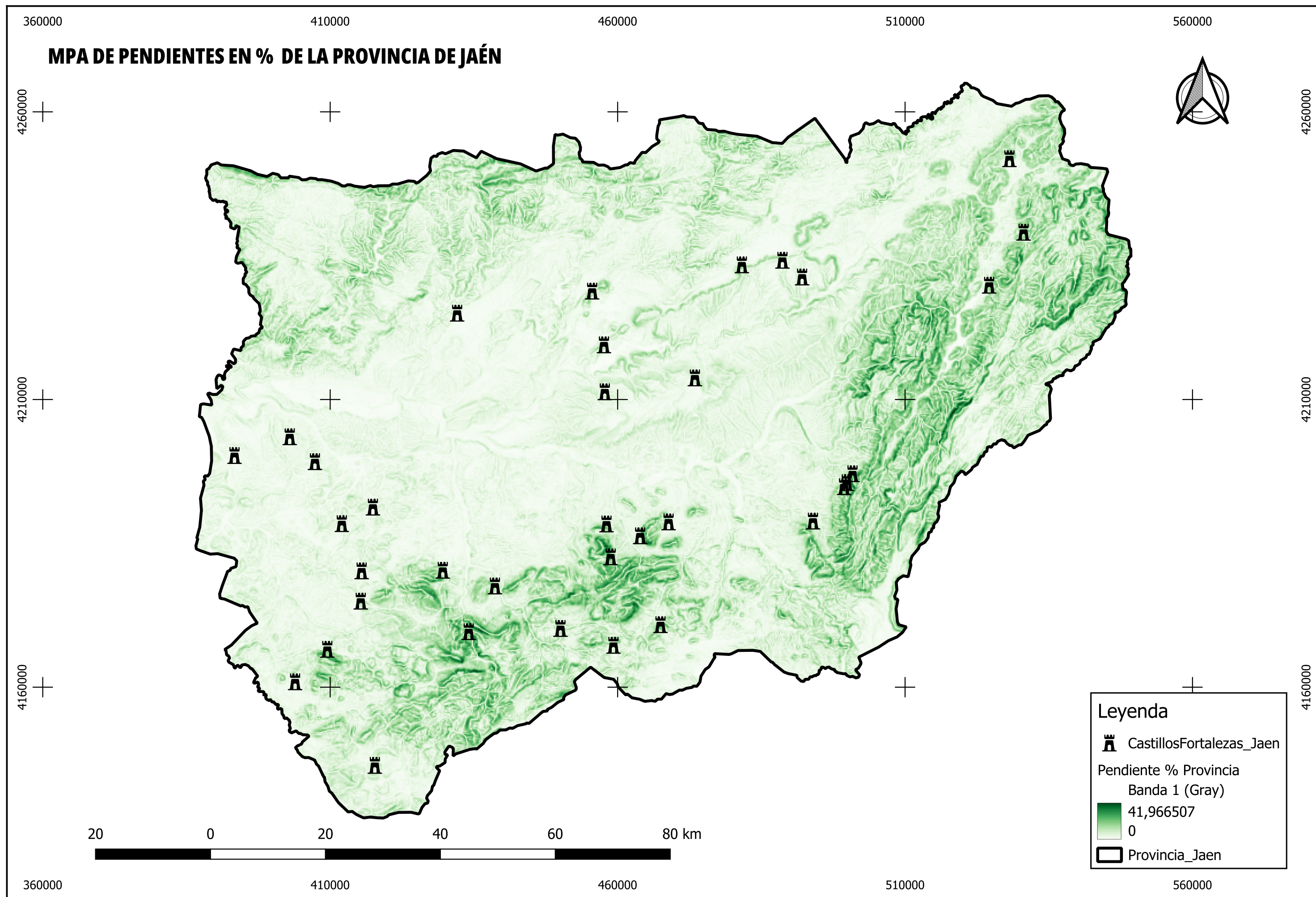


Leyenda

- CastillosFortalezas_Jaen
- Provincia_Jaen_Reconquista
- PARTIDO DE ANDÚJAR
- PARTIDO DE BAEZA
- PARTIDO DE JAÉN
- PARTIDO DE MARTOS
- PARTIDO DE ÚBEDA
- POBLACIONES DE SIERRA MORENA
- SABIOTE ES DE JAÉN
- Provincia_Jaen

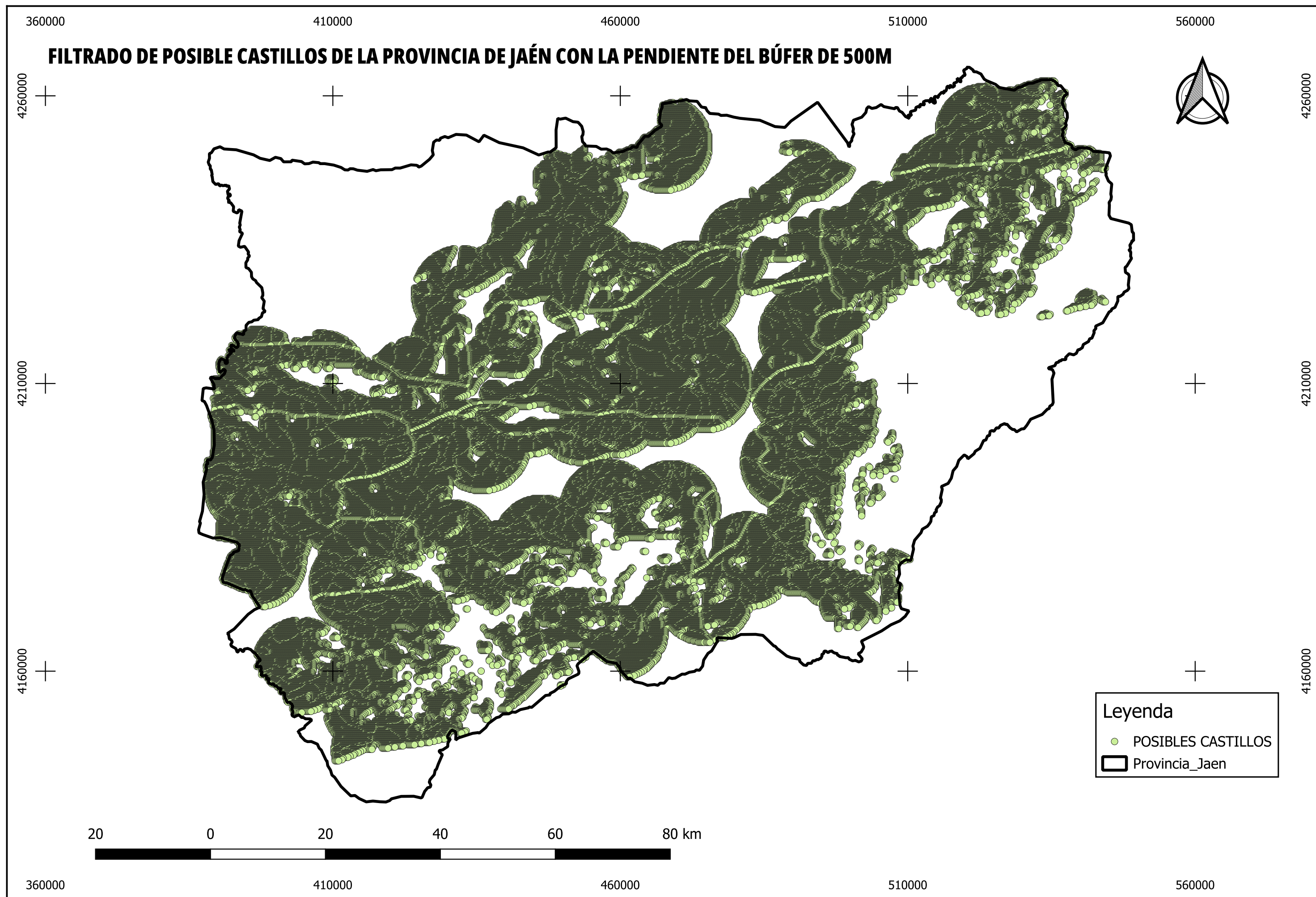


ANEXO 5: MAPA DE PENDIENTES DE LA PROVINCIA DE JAÉN.



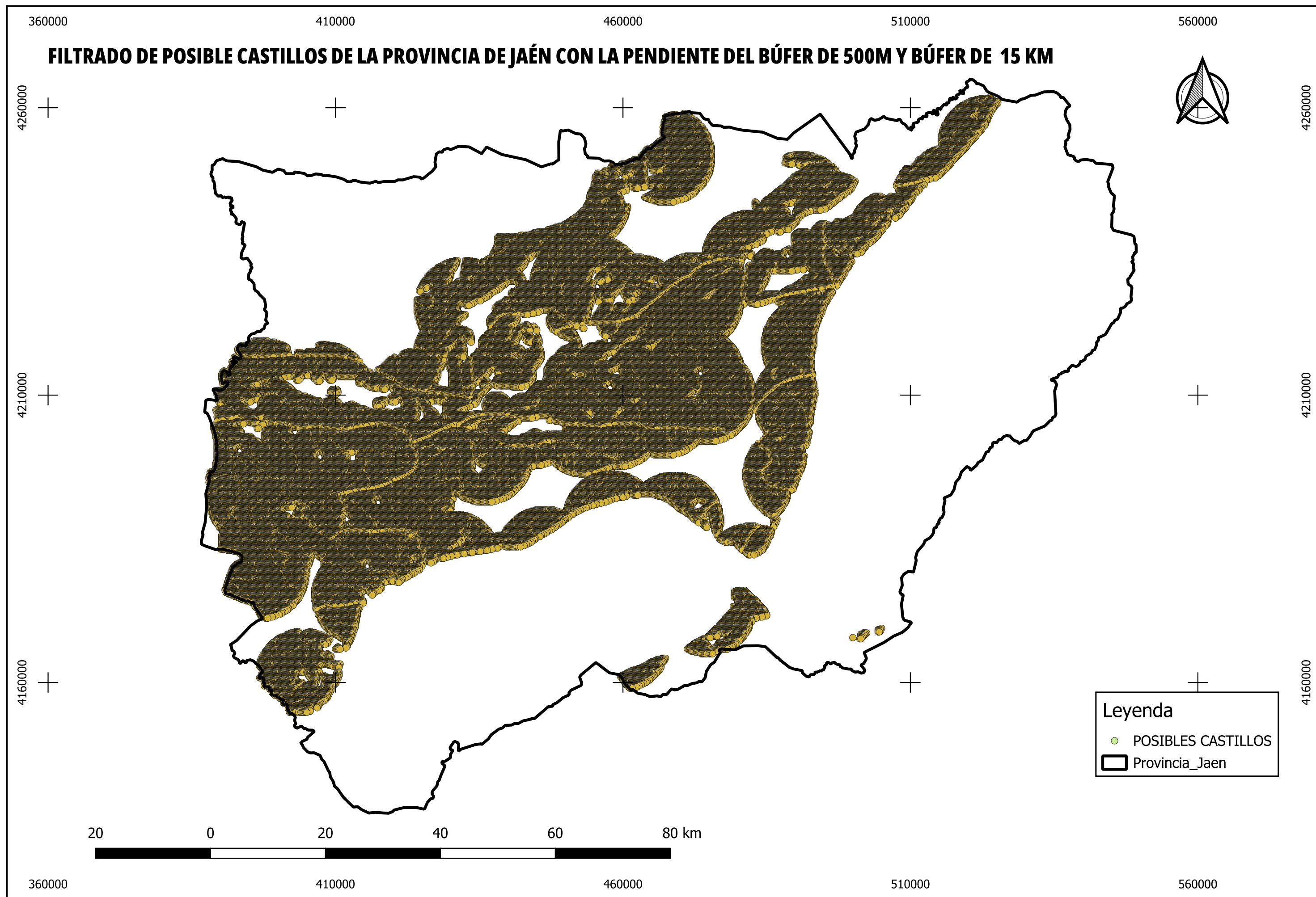


ANEXO 6: FILTRADO DE POSIBLES CASTILLOS CON BUFER DE 500M.



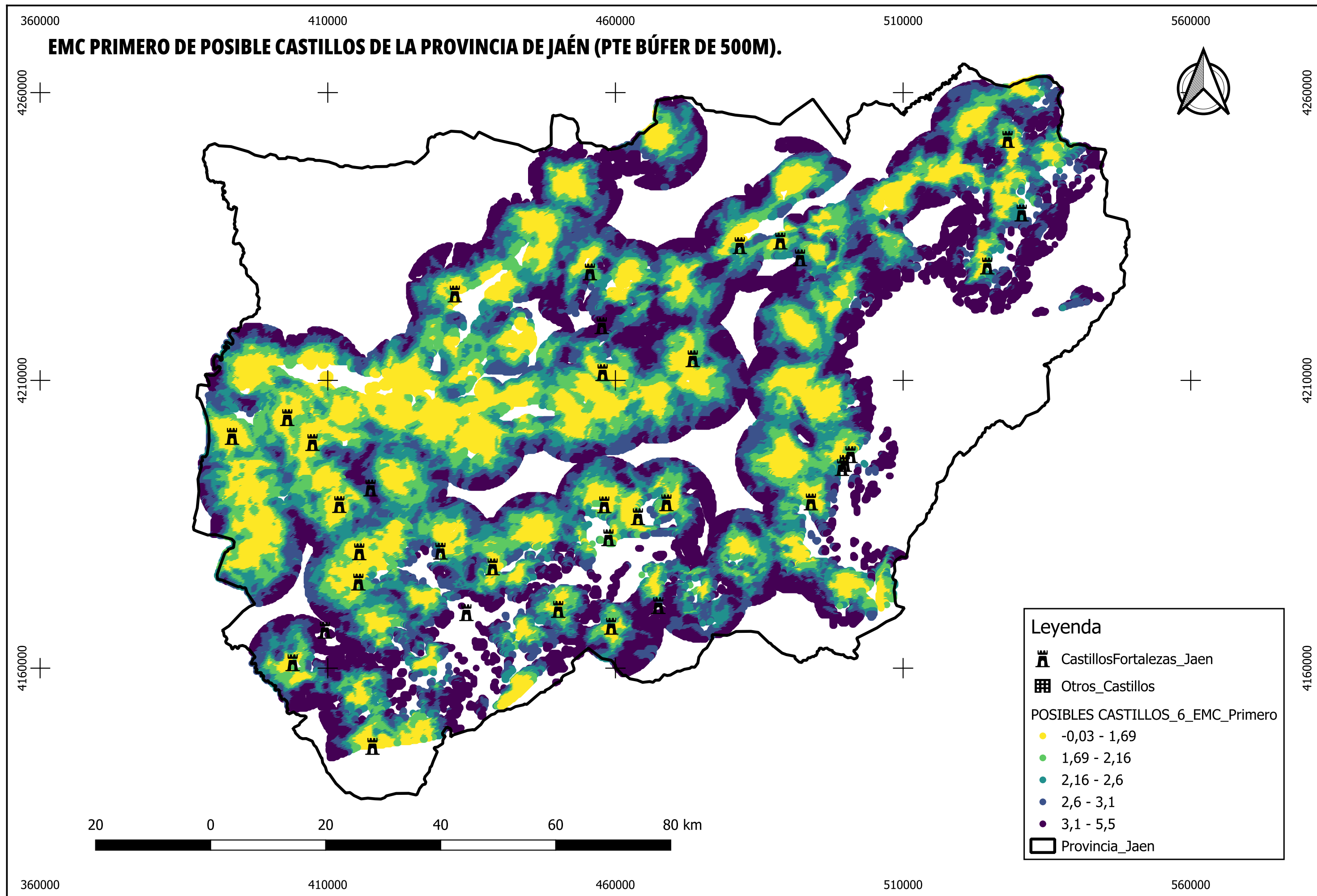


ANEXO 7: FILTRADO DE POSIBLES CASTILLOS (500M + 15 KM).



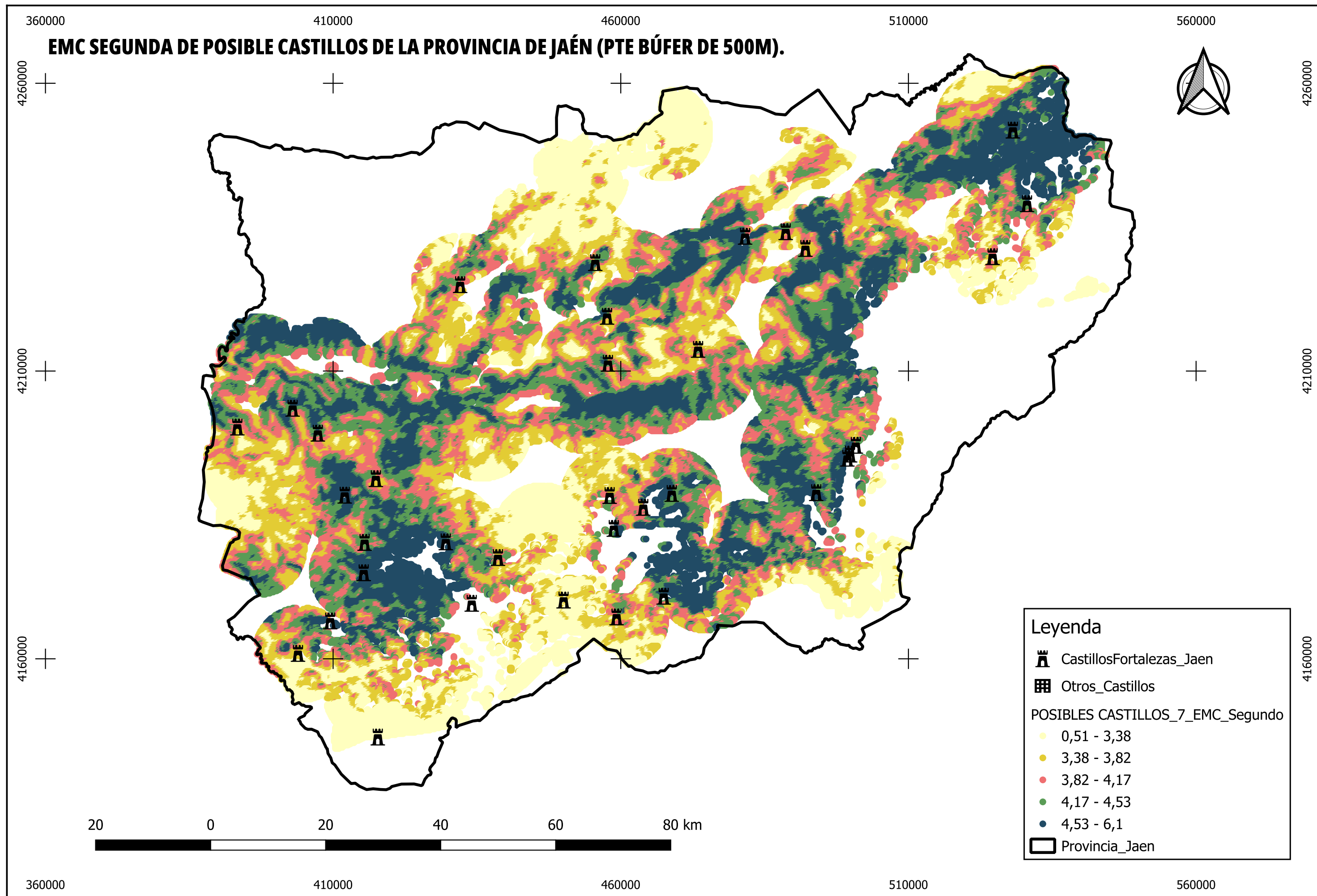


ANEXO 8: EMC PRIMERA POSIBLES CASTILLOS.



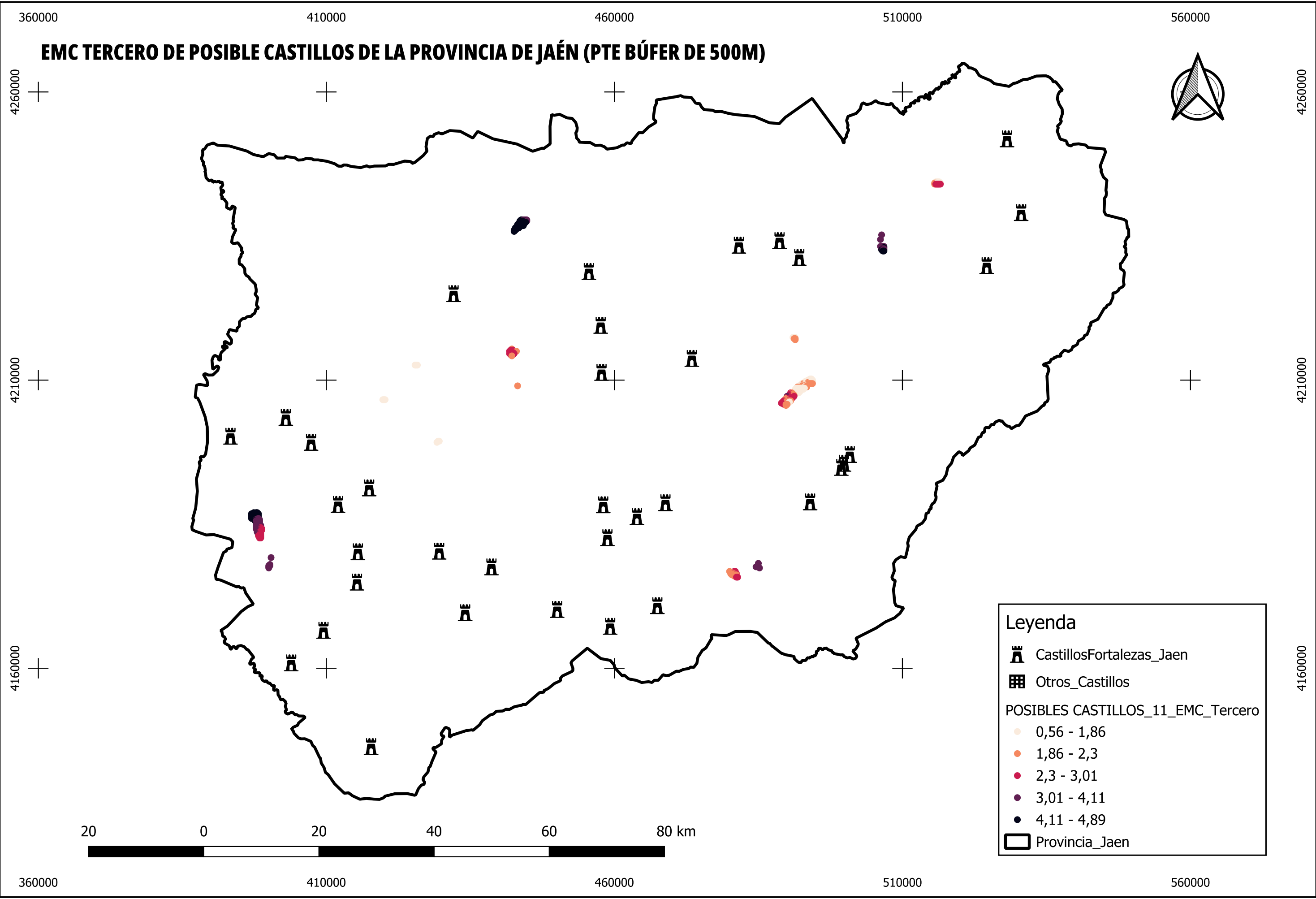


ANEXO 9: EMC SEGUNDA POSIBLES CASTILLOS.



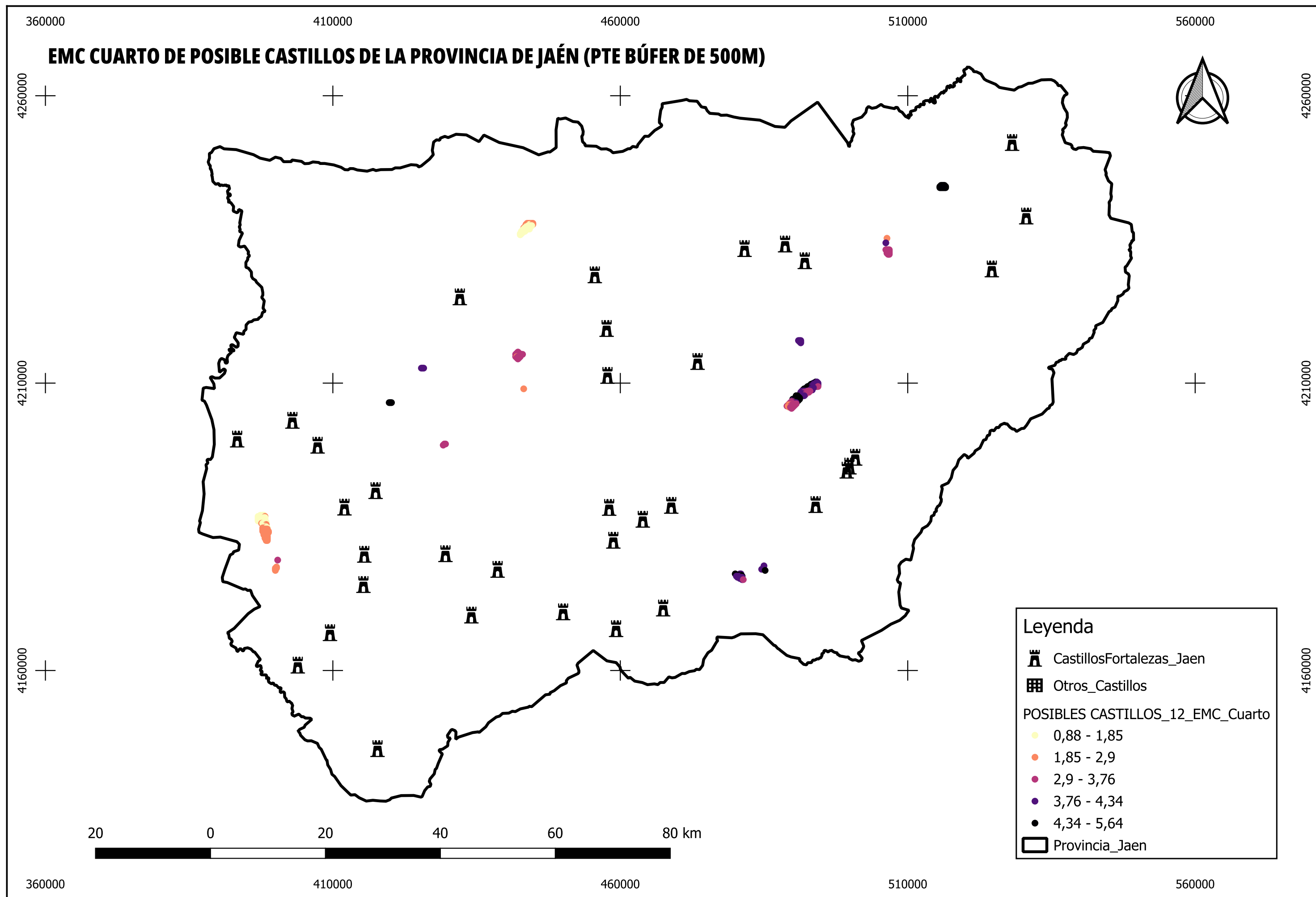


ANEXO 10: EMC TERCERA POSIBLES CASTILLOS.



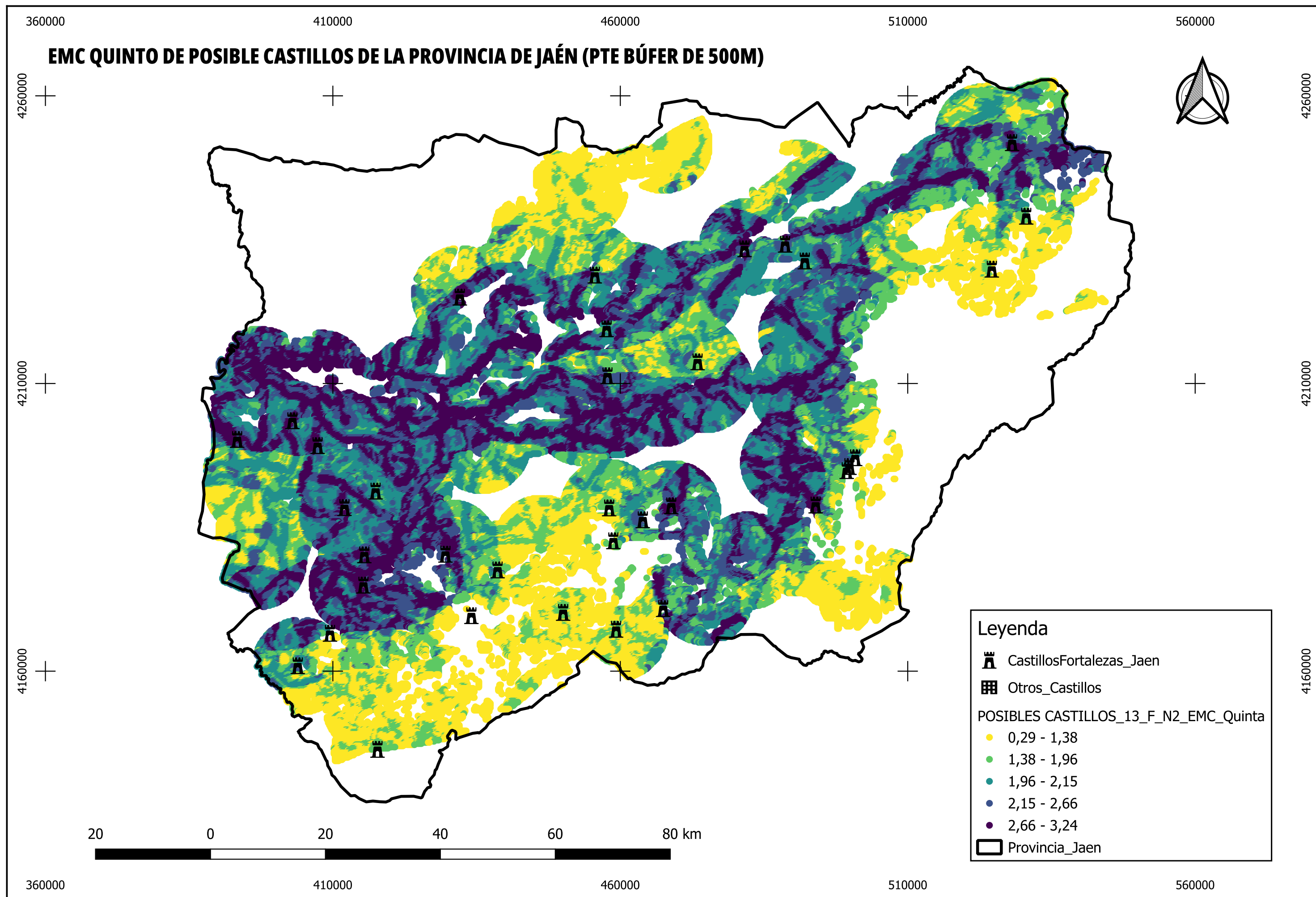


ANEXO 11: EMC CUARTA POSIBLES CASTILLOS.





ANEXO 12: EMC QUINTA POSIBLES CASTILLOS.





ANEXO 13: MOSAICO DE LOS 5 EMC DE POSIBLES CASTILLOS.

MOSAICO DE LAS CINCO EVALUACIONES MULTICRITERIO

