

# TRABAJO FIN DE MÁSTER

## **APROXIMACIÓN DE LA POTENCIALIDAD PRODUTIVA DE SAL EN EL TERRITORIO MONTAÑOSO DE LA CELTIBERIA HISTÓRICA DURANTE LA EDAD DE HIERRO**

***Jonatan Terán Manrique***

***Dr. Miguel Ángel Saz Sánchez***

**Máster Universitario en**

**Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del territorio: sistemas de información geográfica y teledetección**

**Noviembre de 2012**



**Universidad**  
Zaragoza

**Departamento de Geografía  
y Ordenación del Territorio**



## Resumen

*Pese al papel fundamental de la sal común en las sociedades preindustriales, el conocimiento que en la actualidad se dispone acerca de su producción en la península ibérica es deficitario. La tendencia historiográfica dominante presupone una producción mediante evaporación solar durante la Edad del Hierro. El presente trabajo propone una serie de cartografías de potencialidad productiva de una zona de gran tradición salinera, el Territorio Montañoso de la Celtiberia Histórica. La potencialidad productiva se ha obtenido a partir del cálculo y análisis multicriterio de las variables influyentes en el proceso productivo –geología, insolación, régimen de precipitaciones, temperatura, pendiente del terreno y altitud– de la Edad del Hierro. El análisis de las cartografías han mostrado diferencias considerables en la potencialidad productiva del área de estudio debidas a las variaciones en las condiciones climatológicas.*

**Palabras Clave:** *sal, producción, Edad del Hierro, Celtiberia, evaporación solar, SIG, análisis multicriterio.*

## Abstract

*Despite the essential role of common salt in preindustrial societies, our knowledge about its production on the Iberian Peninsula is currently deficient. The dominant historiographical tendency presumes solar evaporation production during the Iron Age. This paper puts forward a series of cartographies on productivity potential in an area of great salt-mining tradition: the Mountainous Territory of Historic Celtiberia. The productivity potential has been obtained based on the multi-criteria analysis and calculations of several variables that influence the production process –geology, insolation, precipitation index, temperature, incline and altitude– during the Iron Age. The analysis of cartographies has shown considerable differences in the productivity potential of the area of study due to differences in climatological conditions.*

**Key Words:** *salt, production, Iron Age, Celtiberia, solar evaporation, GIS, multi-criteria decision analysis.*

*Mi más sincero agradecimiento al director del presente estudio, el profesor Miguel Ángel Saz Sánchez por su tutela, paciencia y consejo. Asimismo aprovecho estas líneas para expresar mi gratitud al profesor Enrique Ruiz Budria por su ayuda en la obtención de datos y en la creación del modelo, y al profesor José Luis Peña Monné por su apoyo con el paleoclima. No sería justo olvidarme del profesor Francisco Burillo Mozota y de los arqueólogos Clemente Polo Cutando y Fernando Pérez Lambán por su ayuda con la documentación.*

## Índice

1. Introducción .....	pág. 1
1.1. La producción de sal durante la Edad del Hierro peninsular: estado de la cuestión y justificación del trabajo.....	pág. 1
1.2. Técnicas de extracción de cloruro sódico.....	pág. 3
1.2.1.La extracción por insolación .....	pág. 3
2. Objetivos .....	pág. 5
3. Área de estudio .....	pág. 5
4. Metodología.....	pág. 7
4.1. Localización de las explotaciones salineras .....	pág. 7
4.2. Integración de variables .....	pág. 8
4.2.1.Variables topográficas: Modelo Digital de Elevaciones y ráster de pendientes .....	pág. 9
4.2.2.Variable geológica .....	pág. 9
4.2.3.Variables climatológicas .....	pág.12
4.3. Variables climatológicas de temperatura, precipitaciones e insolación durante la Edad del Hierro.....	pág.15
4.4. Cartografía de potencialidad productiva de la segunda mitad del siglo XX .....	pág. 18
4.4.1.Reclasificación de rásters de variables.....	pág. 19
4.4.2.Valoración de variables y cartografía final .....	pág. 22
4.5. Cartografías de potencialidad productiva de la Edad del Hierro ...	pág. 23
5. Resultados .....	pág. 23
6. Conclusiones y discusión .....	pág. 25
Bibliografía .....	pág. 27
Recursos electrónicos .....	pág. 31
Anexos.....	pág. 33

## 1. INTRODUCCIÓN

El cloruro sódico o sal común se compone de la reacción de un metal inestable, el sodio, y un gas venenoso, el cloro. Sorprendentemente, el resultado es un mineral conocido como halita que los seres vivos no sólo pueden tolerar, sino que necesitan para su supervivencia.

Numerosos son los usos que los seres humanos han dado a la sal pero el primero y más importante de todos es su consumo. No en vano, el cloruro sódico es indispensable para el desarrollo de actividades vitales como el crecimiento o la reproducción y el buen funcionamiento de las funciones motrices, ya que el sodio permite la transmisión de los impulsos nerviosos y la absorción de nutrientes, especialmente la glucosa. Tanto los elevados niveles de sodio en sangre —hipernatremia— como los bajos —hiponatremia— pueden causar graves problemas de salud e incluso la muerte. Al igual que las personas, los animales también necesitan consumir sal. Esto es bien conocido por los ganaderos y pastores quienes facilitan el acceso de los herbívoros a los salegares.

El uso de la sal para la conservación de alimentos es quizá el más conocido de sus usos. La preservación gracias a las propiedades deshidratantes y antisépticas de la sal fue el método predominante hasta los inicios del siglo XIX, cuando N. Appert inventó el cierre hermético.

Otros muchos usos se documentan desde la Antigüedad. Así, la sal se usaba en las tareas de esquileo (Columela, *De Rusticae*, VII, 4-8), el curtido de pieles y la doma (*Ibid*, 2), la obtención de tinte de color púrpura a partir de los *Murex* (Plinio, *Historia Natural*, IX, 1), incluso para el proceso de templado del metal (Schulten, 1959: v.II: 333) y a partir del siglo XVI para facilitar la amalgamación de la plata y el oro en el sistema denominado de “Patio de caballos” (Menéndez, 2007). Asimismo, bloques de sal se han utilizado como material constructivo en lugares como Taghaza. En el Sahara occidental o Zipaquirá. En Colombia incluso la alfarería se ha beneficiado de las propiedades de la sal en la elaboración de pastas (Rye, 1976: 121-122; Alexianu *et al.*, 2007) y acabados (Orton *et al.*, 1997:102).

La sal tiene su lugar en la medicina tradicional contra la inflamación y la infección ocular (Plinio, *Historia Natural*, XXXI, 86), las cicatrices (Columela, *De Rusticae*, VI, 32-33), la cojera (*Ibid*, 12,1), la sarna (*Ibid*, 13,1) y las paperas (Columela, *De Rusticae*, VII, 10-3). No es casualidad que hoy en día, la sal sea uno de los elementos que componen los sueros contra el cólera.

La sal ha sido por tanto, un producto imprescindible en las sociedades preindustriales cuya obtención ha sido y es llevada a cabo siguiendo diversas técnicas en gran medida dependientes del estado natural en el que el cloruro sódico se encuentra en la naturaleza pero también de las condiciones climatológicas, topográficas y de factores socio-culturales.

### 1.1. La producción de sal durante la Edad del Hierro peninsular: estado de la cuestión y justificación del trabajo

La industrialización y las propias formas de vida que conlleva han provocado un fácil acceso al tiempo que una relativización de la importancia de ciertos productos. Tal es el caso de la sal, producto de necesidad fisiológica para los seres vivos y cuya diversidad de usos la hacen básica en la vida pre-industrial. Todavía hoy se encuentran largas caravanas de camellos cargados de bloques de sal etíope que cruzan el continente africano de este a oeste.

Con la industrialización, la extracción de sal se ha convertido en un proceso productivo muy barato, hasta el punto de que incluso los sectores más desfavorecidos de las sociedades industrializadas tienen acceso a ella. Valga como prueba de ello el hecho de que la Organización Mundial de la Salud recomienda la inclusión de yodo en la sal para evitar enfermedades como el bocio por ser ésta un medio efectivo para llegar a la inmensa mayoría de la población o la tremenda extensión de las patologías relacionadas con la hipertensión en el llamado primer mundo. Además, la sal ha sido desplazada en uno de sus más importantes usos tradicionales, la conservación.

Todo ello ha contribuido a que la sal haya caído en el olvido en los estudios históricos y haya sido ignorada en los arqueológicos. Como es lógico, el hecho de que la sal, al ser un bien de consumo, des-

aparezca del registro arqueológico no ha ayudado a que los investigadores tuvieran en cuenta esta sustancia en sus interpretaciones. Únicamente los espectaculares hallazgos de Ramsauer en Hallstatt a mediados del siglo XIX y las insatisfactorias explicaciones de los montones de *briquetage* descubiertas por R. A. de la Sauvagère en 1740 hicieron despertar, aunque tímidamente, el interés por la sal como aspecto a tener en cuenta en el desarrollo de las sociedades prehistóricas.

Hubo que esperar hasta la segunda mitad del siglo pasado para asistir al surgimiento de una verdadera Arqueología de la sal, fenómeno esencialmente franco-alemán cuyos ecos llegaron a la Arqueología británica que pronto llevó a cabo trabajos interesantes en el sur del país.

Por el contrario, en la península ibérica el interés por la sal ha llegado muy tarde. Existen algunas referencias a la sal a mediados de los ochenta y, ya en los noventa, se producen los primeros trabajos de campo con la sal como protagonista en Villafáfila, Cardona o La Marismilla. Por desgracia, la Arqueología española continúa adoleciendo de un cierto retraso. Pese al esfuerzo de auténticos pioneros como G. Delibes, A. Figuls, o J.L. Escacena, la información disponible sobre la sal ibérica es todavía hoy en día escasa, sobre todo si la comparamos con el volumen de información de otros países europeos.

Esta realidad se debe, como hemos indicado, al tardío interés por la sal prehistórica pero también a la extendida opinión de que debido a las condiciones climatológicas de la península, la extracción de sal se produciría casi exclusivamente por evaporación solar resultando prácticamente inadvertibles para la arqueología las evidencias del proceso. Si bien es cierto que la península goza de buenas condiciones para la aplicación de este método, debemos tener en cuenta que la utilización de uno u otro método no sólo responde a posibilidades medioambientales sino que los factores culturales tienen mucha incidencia. Muestras de ello nos llegan de la Etnografía, así como de los numerosos casos de ignición en la Prehistoria peninsular que están surgiendo desde hace algunos años. En algunos casos, en lugares donde la extracción de sal por insolación es posible como atestigua su producción salina en momentos ya históricos. Este es el caso de los yacimientos de Molino Sanchón II y Santioste en el entorno de las lagunas de Villafáfila (Delibes *et al.*, 2007; Abarquero *et al.*, 2010), del yacimiento madrileño de Espartinas en Ciempozuelos (Valiente y Ramos, 2009) y probablemente de Fuente Camacho en Loja, al oeste de la provincia de Granada (Terán y Morgado, en prensa).

El periodo que nos ocupa, la Edad del Hierro, es un periodo clave en esta problemática ya que se trata de un momento de especial intensificación de la producción salinera en todo el marco europeo (Terán, 2011). Además, como hemos visto, contamos con algunas referencias de autores clásicos sobre la producción de sal por evaporación solar en el ámbito mediterráneo. Sin embargo, existe un acusado vacío de conocimiento en lo que concierne a la producción de sal durante este periodo en la península ibérica. Apenas contamos con algunos testimonios de autores clásicos que informan sobre la existencia de sal en la península: Columela (6, 17, 7), Paladio (XIV, 3; XIV, 9), San Isidoro (16, 2, 3) Sidonio Apolinar (IX, 11), Plinio (*NH*, XXXI, 80); o sobre las famosas salazones de pescado del círculo del Estrecho: Estrabón (III, 1, 8; III, 4, 3), Plinio (*NH*, XXXI, 94). Arqueológicamente la información disponible es muy escasa. El hallazgo de varias alineaciones de ánforas púnicas y romanas formando estructuras de contención en las marismas de Camposoto y Los Cargaderos, en San Fernando, Cádiz, podrían ser indicativas de una producción de sal por insolación en la costa meridional (Alonso *et al.*, 2003).

Aún menor es el conocimiento para las zonas de interior. Incluso en zonas como el Sistema Ibérico en las que el recurso salino se presenta abundantemente, la información disponible es deficitaria. Algunas propuestas que relacionan poblamiento y recurso salino (Cerdeño y Pérez, 1992) y los hallazgos aislados de tres fragmentos cerámicos de forma rectangular y que presentan en una de sus caras un rebaje en diferentes yacimientos de la comarca caracense de Molina de Aragón que se han interpretado como moldes para sal (Arenas y Martínez, 1999), son los únicos aportes científicos sobre la producción de sal en el interior peninsular durante el I milenio a. C.

La tendencia actual y las referencias clásicas apuntan en la dirección de la insolación como método dominante para la Edad del Hierro mediterránea, pero es precisa la realización de un estudio riguroso de las técnicas extractivas que ratifique o por el contrario deseche esta hipótesis. En ese sentido, la

elección de un área de estudio en el que el recurso salino se presenta en abundancia y de forma dispersa pero que conforma un área montañosa de interior con las dificultades que entraña en lo relacionado con la propia producción y logística, toma especial relevancia. De confirmarse la producción por insolación en el Sistema Ibérico para estas cronologías, esta realidad podría extrapolarse con ciertas garantías a otras zonas de interior con afloramientos salinos que presentan una topografía más favorable. Por el contrario, de encontrar evidencias de extracción de sal por ignición en lugares en los que las condiciones climatológicas permitieron la evaporación solar, se pondría de manifiesto la complejidad del fenómeno productivo y su ligazón con aspectos sociales ante lo que no sirve un instrumento de análisis estrictamente funcionalista.

En cualquier caso, el presente estudio se conforma como una etapa inicial consistente en acotar las zonas más favorables para la producción por insolación dentro del área de estudio para los diferentes episodios culturales de la Edad del Hierro de forma que las estrategias de prospección arqueológica puedan planificarse y gestionarse de una manera más eficiente y rentable. Se trata del paso previo a la inclusión de información de carácter meramente arqueológica (localización de yacimientos, características de los mismos, tipos de materiales, etc.) en un Sistema de Información Geográfica (en adelante SIG) creado a tal efecto. Todo ello beneficiaría la localización de espacios productivos para momentos tanto protohistóricos como históricos y en definitiva el conocimiento de las técnicas productivas y su incidencia social.

## 1.2. Técnicas de extracción de cloruro sódico

De entre las técnicas de obtención de cloruro sódico, quizá la más sencilla sea la minería. Pese a que no es lo más frecuente, no es habitual encontrar cloruro sódico en estado sólido. En tal caso es conocido como sal gema o halita y constituye un elemento que puede ser extraído mediante actividades mineras. Éste es el caso de la *Muntanya de sal* de Cardona (Barcelona), Remolinos (Zaragoza) o las menos conocidas minas de Minglanilla en Cuenca. La Arqueología nos aporta información de este tipo de extracción precisamente en Cardona desde el Neolítico Medio (4500-3500 a. C.) (Figuls *et al.*, 2007; Figuls *et al.*, 2010) o en el paradigmático yacimiento austriaco de Hallstatt —literalmente “lugar de sal”— que ha dado nombre a todo un periodo de la Edad del Hierro de Europa Central (Nenquin, 1961) entre otros.

### 1.2.1.- La extracción por insolación

Mucho más frecuente en la naturaleza es la presencia de sal diluida en agua, bien sea agua marina o agua continental salada fruto del paso de corrientes de agua subterráneas por zonas ricas en halita. Conviene aquí recordar que el agua salada ocupa aproximadamente el 71% de la superficie de la Tierra. Por ello, el aprovechamiento de la sal a lo largo de la Historia se ha basado principalmente en procesos de lixiviación (Weller, 2010) mediante el tratamiento térmico de aguas saladas. Atendiendo a la naturaleza de la fuente de la energía calorífica podemos distinguir entre dos métodos fundamentales: la ignición y la insolación.

La extracción de sal por ignición ofrece la posibilidad de evitar en parte las limitaciones climatológicas, ya que la fuente calorífica es artificial. Esto explica que esta técnica haya sido usada en toda Europa continental desde el Neolítico. Como inconveniente, hay que señalar que requiere de una mayor inversión de trabajo y de grandes cantidades de combustible. El proceso de extracción por ignición no es extremadamente complicado. En primer lugar, el agua salada se introduce en grandes recipientes, generalmente de formas abiertas y base plana, y se calienta en hogares. El tratamiento calorífico potencia la concentración mediante la evaporación de agua, permitiendo así la precipitación del cloruro sódico. Una vez precipitado el cloruro sódico, y con una solución todavía muy acuosa de carácter semilíquido, habría dos posibilidades. Por un lado, la cocción podría prolongarse hasta que el agua restante se evaporara por completo, o bien, el producto se podría retirar del fuego, verter en pequeños recipientes —frecuentemente de barro crudo— que ejercerían de moldes y exponerlos de nuevo a calor, esta vez elevados de las brasas varios centímetros por soportes también llamados peanillas o pedestales. Una vez secada la salmuera, estos moldes deberían romperse para la extracción del producto

final lo que explicaría en parte las grandes acumulaciones de materiales cerámicos (*briquetage*) que se dan en este tipo de yacimientos.

La extracción de cloruro sódico mediante la exposición prolongada de agua salada a la energía solar es el método más extendido en la actualidad en gran medida por su gran rentabilidad dada la gratuidad de la fuente de calor. Por ello, no nos debe extrañar que ya los chinos se aprovecharan de ello en el III milenio a. C. (Nenquin, 1961) y que la mayoría de las explotaciones salineras desde la Protohistoria hasta la actualidad sean de este tipo. Sin embargo, los mismos motivos que las hacen altamente rentables las hacen al mismo tiempo “dependientes” y es que para poder producir sal de este modo es preciso que se den una serie de condicionantes climáticos.

Es condición absolutamente *sine qua non* para la efectividad de la evaporación solar la abundancia de horas de sol. Sólo de esta forma, el agua salada marina o continental estancada en piletas normalmente rectangulares, puede concentrarse hasta los 330g/l, momento en el que comienza a cristalizar el cloruro sódico. Para facilitar el proceso de concentración trata de primarse la superficie en detrimento de la profundidad. Así, estas piletas, también llamadas balsas, arcobotes, recocederos, *tolls*, pilones, etc.,<sup>1</sup> no son muy profundas y sí extensas —12/20 m<sup>2</sup> en el caso de Añana (Plata, 2009)— de forma que sufren mayor insolación.

A estos condicionantes hay que sumar la vulnerabilidad de este sistema en caso de lluvia dado que al tratarse de instalaciones a cielo abierto, las precipitaciones podrían dar al traste con horas de trabajo. Por todo ello, la utilización de este método parece circunscribirse en el viejo continente a la Europa mediterránea y presenta un carácter fuertemente estacional —verano.

Para minimizar estos riesgos, la etnografía nos muestra algunas soluciones entre las que destaca la separación del proceso de concentración y cristalización o las diferencias estrategias de finalización del proceso.

En la mayoría de las salinas de época histórica, mejor documentadas cuanto más modernas, existe una división entre la concentración de la salmuera y la cristalización de la sal. Arqueológicamente es difícilmente demostrable dado que los dos procesos se realizan en espacios prácticamente idénticos (Beltrán, 2007). Tanto las superficies de concentración antes referidas como las superficies de cristalización, denominadas cristalizadores o eras presentan plantas rectangulares, escasa profundidad y revueltas de arcilla o suelos de arcilla compactada o de cantos rodados en el caso de instalaciones posteriores al siglo XVI<sup>2</sup>. Se ha constatado que la transmisión del agua salada de unas piscinas a otras se realizaba mediante gravedad por canalizaciones constituidas por troncos huecos engarzados aprovechando la orografía del terreno.

En salinas como las de Poza de la Sal en Burgos (Sáiz, 2001) o Gerri de la Sal en Lleida (Beltrán, 2007) el riesgo de lluvia provocó un cambio de estrategia en el llenado de los cristalizadores. Aquí este llenado se realizaba “a riego”, es decir, salpicando con paladas de salmuera la superficie cada cierto tiempo en lugar de la técnica denominada “a lleno” que consistía en llenar los cristalizadores con la salmuera proveniente de los calentadores y dejar que los agentes atmosféricos cristalizaran el cloruro sódico. En ambas técnicas, tras la cristalización de la sal, ésta se escurría en montones para eliminar el agua sobrante y se almacenaba en chozas o almacenes en lo que se denomina como cosecha. Se pretendía de este modo garantizar un mínimo de producción y recortar riesgos a costa de una mayor inversión de tiempo y trabajo.

Como denota lo anterior, las salinas de evaporación solar de época histórica son las mejor conocidas. No obstante, los inicios de este método extractivo se remontan al menos a época protohistóri-

---

<sup>1</sup> La variedad de términos —eminente etnográficos— responde a cuestiones geográficas y no a diferencias en las características constructivas de las estructuras.

<sup>2</sup> En gran medida esto es debido a que en 1564 Felipe II instaura el llamado monopolio de la sal por el que el control de la producción se hace desde la Corona implantando algunos cambios como el empedrado de los fondos de las piletas que perseguían el aumento de la productividad y una mayor calidad del producto. Además, a principios del siglo XIX, la Dirección General de Rentas Reales impulsa de nuevo la implantación de pavimentos empedrados.

ca. Son famosas las factorías de salazones fenicias que como en el caso de Sexi, la actual Almuñécar, aprovecharon las enormes posibilidades salinas del mar. Referencias como la de Estrabón (III, 5, 11) que nos informa del comercio de los fenicios de Gadir que intercambiaban sal y productos manufacturados por estaño y plomo de las Cassitírides, dan buena cuenta del grado de importancia que la industria salinera debió alcanzar en el I milenio a. C.

Por su parte, Aristóteles informa de que los habitantes de Chaonia (*Meteorologica*, II, 359) y de Iliria (*De mirabilibus auscultationibus*, 138) producían sal mediante la evaporación solar.

También Tito Livio (*Historia romana*, 1-33) y Plinio (*Historia Natural*, XXXI: 41) relatan como Anco Marcio, cuarto rey de Roma, allá por la segunda mitad del siglo VII a. C. roturó en las marismas del delta del Tíber las salinas que aprovisionaban a Roma.

Llegados a este punto debemos subrayar que la cristalización de sal por insolación se produce tanto en salinas de interior como costeras aunque son estas últimas las más frecuentes por varios motivos: abundancia de materia prima, condiciones climatológicas y topográficas favorables y facilidad para una posterior distribución del producto. Como muestra y sin atender a especificaciones de método. En 1945, las salinas costeras españolas producían 975.000 toneladas, las de interior 50.000 y las minas 375.000 (Plata, 2009).

## 2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo es la realización de una cartografía de potencialidad productiva de sal, mediante la técnica de evaporación solar en el Sistema Ibérico durante la Edad del Hierro. El fin último es determinar qué zonas reunieron las características geológicas, climatológicas y topográficas que permiten la producción de cloruro sódico por esta técnica y en qué grado se cumplieron.

La consecución del objetivo principal pasa necesariamente por la obtención de varios objetivos subsidiarios que son enumerados a continuación:

- Integración en un Sistema de Información Geográfica de las explotaciones salineras conocidas del área de estudio así como de las variables geológicas, climatológicas y topográficas para la cuantificación de las condiciones necesarias en la producción de cloruro sódico.
- Cálculo de las variables climatológicas para la Edad del Hierro, integración en un Sistema de Información Geográfica y valoración de la influencia de las variaciones en la potencialidad productiva del área de estudio.
- Obtención de un mapa de potencialidad productiva para la segunda mitad del siglo XX, periodo en el que caen en desuso la mayor parte de las salinas del Sistema Ibérico, que facilite la localización de salinas históricas cuya ubicación es dudosa o desconocida.

## 3. ÁREA DE ESTUDIO

Puesto que el presente trabajo se enmarca en el proyecto encabezado por el catedrático de la Universidad de Zaragoza, Francisco Burillo Mozota, denominado “Serranía Celtibérica” que tiene como objetivo la dinamización socio-económico de la zona, el área de estudio se incluye en la considerada como Celtiberia Histórica, territorio definido a partir de la llegada de los romanos a las tierras próximas al Sistema Ibérico entonces habitadas por poblaciones que denominaron celtíberos. De hecho, los primeros estudios geológicos de la zona se refirieron al Sistema Ibérico como *keltiberischen Grundgebirges*, “Cordilleras Celtibéricas” (Lotze, 1929). Más concretamente, el área de estudio se circunscribe al territorio denominado como Territorio Montañoso de la Celtiberia Histórica o Sierras Celtibéricas (Burillo, inédito). Se trata éste de un territorio que cuenta con una superficie total de 63.957,41 km<sup>2</sup> repartidos administrativamente por cinco Comunidades Autónomas: Aragón, Castilla y León, Castilla-

La Mancha, La Rioja y Comunidad Valenciana y por un total de diez provincias: Burgos, Castellón, Cuenca, Guadalajara, La Rioja, Segovia, Soria, Teruel, Valencia y Zaragoza.

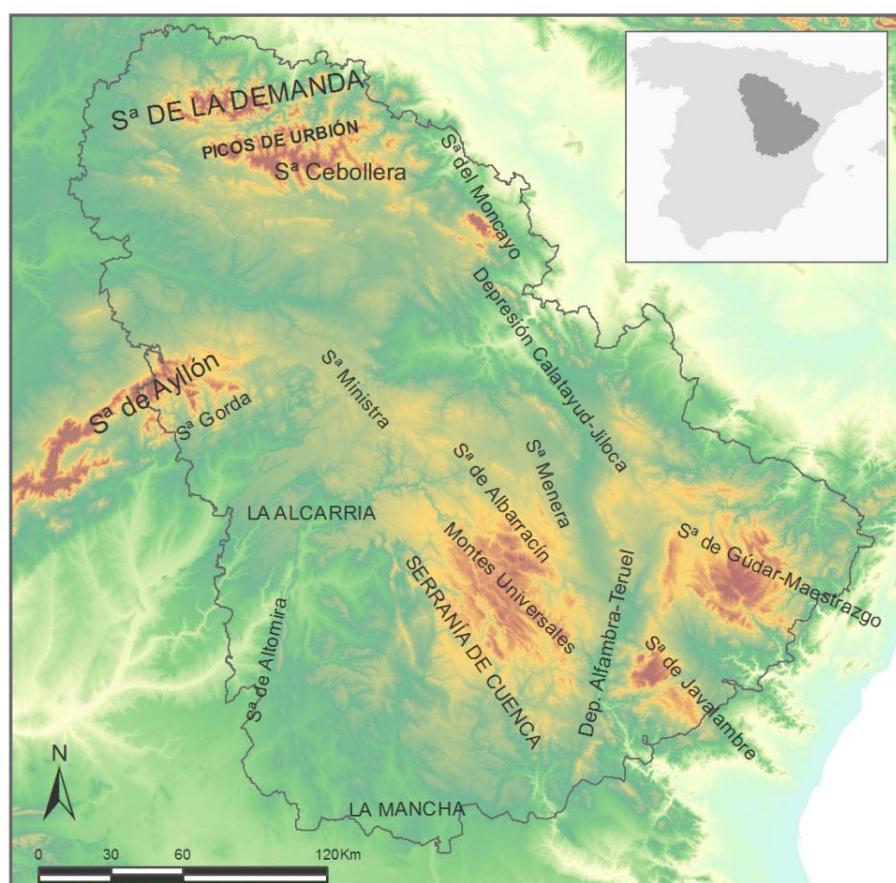
El Sistema Ibérico lo conforman una serie de entidades montañosas de gran envergadura entre las que destacan la Sierra de la Demanda (2.262 m), los Picos de Urbión (2.228 m), la Sierra Cebollera (2.142 m) y la Sierra de Moncayo (2.314 m) en la zona noroccidental; la Sierra de Gúdar-Maestrazgo (2.020 m), la Sierra de Javalambre (2.019 m) y la Sierra de Albarracín (1.856 m) en el sector suroeste. Aunque dentro del domino del Sistema Central, el área de estudio incluye la Sierra de Ayllón (2.272 m), puente entre el Sistema Ibérico y el Sistema Central.

Estas unidades montañosas jalonan grandes penillanuras de especial entidad en la zona central y este que se sitúan sobre las depresiones internas Calatayud-Jiloca y Alfambra-Teruel.

En cuanto a la hidrografía, el Territorio Montañoso de la Celtiberia Histórica se encuentra en la zona de contacto entre las cuencas del Duero, Ebro, Tajo y Guadiana. Además, el límite meridional del área de estudio incluye los tramos iniciales de los ríos Turia y Júcar.

El área de estudio incluye tres grandes unidades geológicas: la Zona Centroibérica del Macizo Ibérico, las Cuencas cenozoicas (cuenca de Duero y Almazán, cuenca del Tajo y cuenca del Ebro) y la Cordillera Ibérica que resulta ser la más interesante para el estudio que nos ocupa puesto que en ella afloran materiales del Triásico (Vera, 2004).

La estratigrafía de la unidad geológica Cordillera Ibérica incluye materiales que abarcan desde el Precámbrico hasta el Cuaternario. En la secuencia destaca la serie sedimentaria del Pérmico Superior y del Mesozoico. Sobre el basamento prepérnico existe un tegumento cuyo límite son las margas yesíferas del Triásico Superior (facies Keuper) y finalmente una cobertura con el resto de materiales mesozoicos (Guimera, 1988). Son los afloramientos del Triásico superior y en concreto, de la facies Keuper los que centrarán nuestra atención pues presentan sales acompañadas de margas y yesos que son susceptibles de explotación y por tanto, lugares potenciales de extracción de cloruro sódico, bien sea en estado sólido, halita o sal gema, o bien diluido en agua.



**Figura 1.** Territorio Montañoso de la Celtiberia Histórica

## 4. METODOLOGÍA

La realización de una cartografía de potencialidad productiva se ha efectuado mediante la creación de un modelo multicriterio a partir de los valores que ofrecen salinas tradicionales para las variables contempladas dado que el rastreo bibliográfico y la consulta a varias empresas del sector han concluido que en la actualidad no existe ningún estudio que cuantifique las variables influyentes en la producción salina por insolación.

### 4.1. Localización de las explotaciones salineras

La realización de un fichero con la localización de las salinas conocidas se ha llevado a cabo mediante la consulta de la bibliografía existente (Arroyo, 1961; Carrasco y Hueso, 2006; 2008; Hueso y Carrasco, 2006; De Jaime, 2004; Martín, 2009; Mata, 2006; Mata *et al.*, 2010; Melendo, 2010; Rubio, 1997; Polo, inédito; Trallero *et al.*, 2003) y el uso del visor SigPac para obtener las coordenadas de las salinas que aún pueden ser detectadas mediante ortofoto.

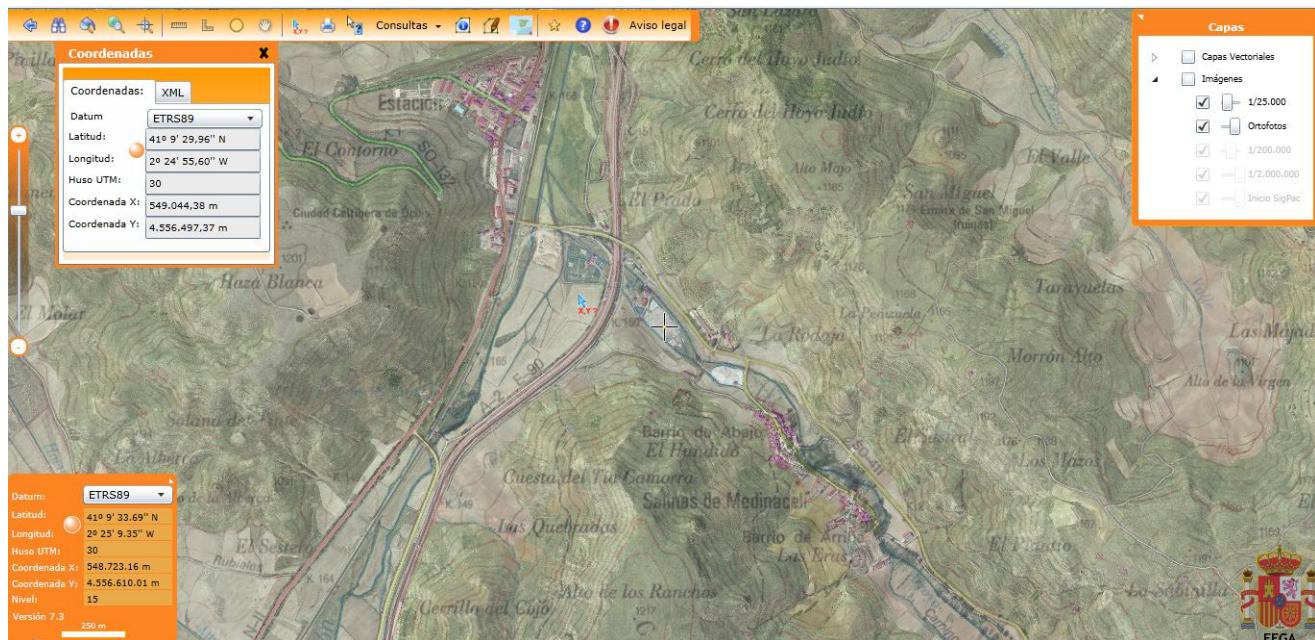


Figura 2. Obtención de las coordenadas (ETRS89) mediante el visor SigPac

De las 75 explotaciones salineras de las que se tienen noticia se ha podido conocer con garantías las coordenadas de 33 (Tabla 1). Otras 18 cuentan con coordenadas dudosas y no se conoce el emplazamiento de 25. En el estudio sólo se han incluido las salinas con localización exacta.

Tabla 1. Salinas localizadas y coordenadas en sistema de coordenadas ETRS89

NOMBRE	MUNICIPIO	PROVINCIA	COORD. X	COORD. Y
Salinas de Monteagudo	Monteagudo de las Salinas	Cuenca	596954,51	4404967,69
Salinas del Manzano	Salinas de Manzano	Cuenca	622981,88	4438702,75
Salinas de Valsalobre	Valsalobre	Cuenca	576660,79	4496498,13
Salinas de Belinchón	Belinchón	Cuenca	496413,58	4436532,77
Salinas de Almällá	Tierzo	Guadalajara	589015,40	4509839,87
Salinas de Selas	Anquela del Ducado	Guadalajara	573301,58	4535640,98
Salinas de Terzagá	Terzagá	Guadalajara	592710,35	4505329,23

Salinas de Traíd	Traíd	Guadalajara	601386,77	4504341,59
Salinas de Valsalobre	Corduente	Guadalajara	592464,25	4518914,90
Salinas de Imón	Sigüenza	Guadalajara	522894,14	4556500,44
Salinas de Bujalcayado	Sigüenza	Guadalajara	523182,74	4552678,89
Salinas de La Olmeda	La Olmeda de Jadraque	Guadalajara	522924,95	4551910,57
Salinas del Gormellón o Santamera	Río Frío del Llano	Guadalajara	519084,61	4554531,38
Salinas de Rienda/La Constancia	Paredes de Sigüenza	Guadalajara	524095,50	4564808,29
Salinas de Paredes de Sigüenza	Paredes de Sigüenza	Guadalajara	523243,41	4565273,60
Salinas de La Riba de Santiuste	Sigüenza	Guadalajara	525636,79	4561685,52
Salinas de Carabías o Malpica	Sigüenza	Guadalajara	522810,67	4550402,79
Salinas de Valdealmendras	Sigüenza	Guadalajara	529295,94	4555252,22
Salinas de Alcuneza	Sigüenza	Guadalajara	532430,73	4549461,04
Salinas de Saelices	Saelices de la Sal	Guadalajara	556342,62	4528072,68
Salinas de La Inesperada	Ocentejo	Guadalajara	553819,24	4514940,21
Salinas de Anguita	Anguita	Guadalajara	550763,29	4545099,69
Salinas de Medinaceli	Salinas de Medinaceli	Soria	549046,25	4556486,63
Salinas de Arcos de las Salinas	Arcos de las Salinas	Teruel	665495,08	4428687,86
Salinas de Ojos Negros	Ojos Negros	Teruel	624353,93	4511886,32
Salinas de La Hoyalda/Alda	Royuela	Teruel	624337,14	4472133,15
Salinas de Armillas	Vivel del Río Martín	Teruel	677370,14	4528098,57
Salinas de Griegos	Griegos	Teruel	610061,53	4481453,42
Valdetablado	Albarracín	Teruel	608789,29	4460945,34
Salinas de Villel	Villel	Teruel	652867,44	4458267,40
Salinas de Gallel o Alba	Alba	Teruel	637786,03	4493325,27
Salinas de Abanto	Abanto	Zaragoza	608176,54	4556610,82
Salinas de Valdehierro	Nuévalos	Zaragoza	605225,66	4562867,30

#### 4.2. Integración de variables

Las variables contempladas pueden dividirse en tres grupos. El primer grupo de variables puede denominarse como topográfico y lo conforma la altitud y la pendiente.

Por otro lado, otra variable a modelizar es la geológica, la cual, en consonancia con lo dicho anteriormente, se ha considerado como variable excluyente, es decir, la existencia en superficie o no de materiales del Triásico superior, sistema y serie en la que se encuadra la facies Keuper.

Por último, se han considerado la temperatura, el régimen de precipitaciones y la insolación como variables climatológicas.

#### 4.2.1. Variables topográficas: Modelo Digital de Elevaciones y ráster de pendientes

##### Modelo Digital de Elevaciones del área de estudio

La obtención del MDE del área de estudio se realizó a partir de los datos ofrecidos por la NASA provenientes del *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) que cuentan con una resolución de 90x90 metros. Para ello se descargaron los archivos correspondientes a España y se unieron con la herramienta *mosaic to raster*. El ráster resultante se reproyectó de WGS84 a ETRS89. Para obtener el MDE de la zona concreta que nos ocupa se utilizó la opción *clip* con el *shapefile* de polígonos MN\_Celtiberia –obtenido previamente mediante la descarga del *shapefile* de municipios de España del CNIG (dentro del BCN200), la selección por atributos de los municipios del área de estudio y la creación de un nuevo *shapefile* con la selección– (Anexo I).

##### Ráster de pendientes

Aplicando la herramienta *slope* dentro de las herramientas de análisis espacial y seleccionando en la unidad de medida la opción de tanto por ciento se obtuvo el ráster de pendientes (Anexo I).

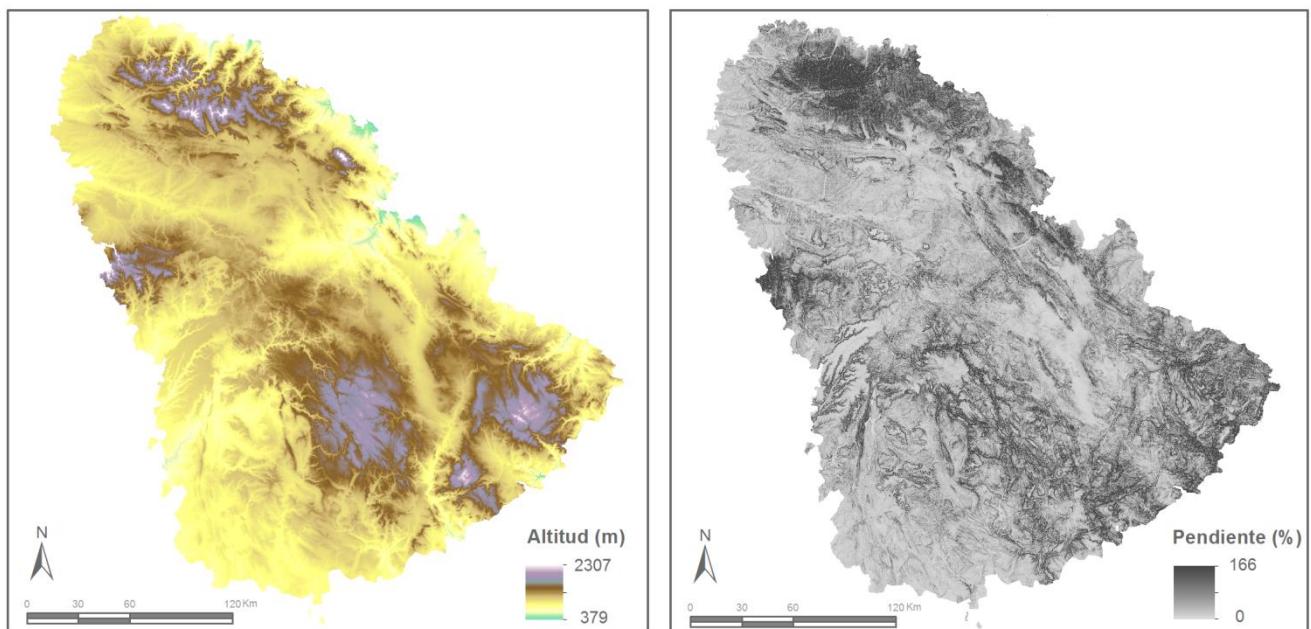


Figura 3. MDE –izquierda- y mapa de pendientes –derecha– del área de estudio

#### 4.2.2. Variable geológica

Para la obtención de la información geológica del área de estudio se descargaron los *shapefiles* correspondientes a las hojas MAGNA a escala 1:50000: 168, 200-204, 238-243, 279-282, 313-320, 346-353, 375-382, 403-411, 431-440, 458-467, 485-494, 510-520, 536-545, 561-570, 583-592, 607-615, 632-639, 660-666, 688-693, 716-717, 742; a través del geoportal SIGECO.

Estos *shapefiles* están organizados en ficheros de puntos (puntos de buzamiento y geológicos), líneas (ejes de pliegues, líneas del Cuaternario y líneas de contacto) y polígonos (clasificación geológica de la superficie) por lo que se procedió a unir (*merge*) los diferentes *shapefiles* conforme a su dimensión espacial. El fichero que nos interesa es el de polígonos puesto que entre sus atributos, nos ofrece el sistema y la serie geológica de los afloramientos. Por ello se le aplicó un *clip* con el *shapefile* de polígonos MN\_Celtiberia, tras reproyectarlo a ETRS89 (*Project ED 50-ETRS89*). El resultado es un fichero de polígonos del área de estudio. De todas las entidades del *shapefile*, nos interesan los códigos 129, 134, 139 que se corresponde con el Triásico Superior por lo que le aplicamos una selección por atributos para aislar las zonas susceptibles de contener cloruro sódico.

La proyección del fichero de salinas mostró que, pese a ser poco habitual, pueden existir salinas que se sitúan sobre niveles de relleno holoceno próximos a los afloramientos triásicos (Salinas de

La Olmeda) por lo que se aplicó a la selección un *buffer* de 100 metros de manera que tanto los propios afloramientos como las zonas más próximas entraran en el análisis (Trias\_100.shp).

Además de las superficies donde el Triásico Superior aflora, es preciso tener en cuenta que en el área de estudio existen varios cursos de agua salada que no están representados en los ficheros geológicos anteriores. Por ello, se ha realizado una búsqueda de cursos de agua salada mediante el estudio de la toponimia.

En primer lugar se descargaron las capas de hidrología de las confederaciones del Ebro, Duero, Tajo, Guadiana y Júcar, y se les aplicó un *clip* con el *shapefile* MN\_Celtiberia, de esta manera se obtuvo la hidrología del área de estudio.

El siguiente paso fue la selección por atributos de todas las entidades de las diferentes capas cuyo nombre pudiera ser indicativo de salinidad (salado, salobre, salido, amargo, etc.) variando las consultas debido a la heterogeneidad de campos que presentan los diferentes ficheros y depurando posteriormente los resultados.

**Tabla 2.** Selección por atributos de los cursos de agua

FICHERO	CONSULTA	RESULTADO (Nº entidades)
Cuenca del Ebro	[NOM_MASA] LIKE '*Sal*' OR [NOM_MASA] LIKE '*sal*' OR [NOM_MASA] LIKE 'Amarg*' OR [NOM_MASA] LIKE 'amarg*'	2
Cuenca del Duero	[NAME] LIKE '*Sal*' OR [NAME] LIKE '*sal*' OR [NAME] LIKE '*amarg*' OR [NAME] LIKE '*Amarg*' OR [NAME_WATER] LIKE '*Sal*' OR [NAME_WATER] LIKE '*sal*' OR [NAME_WATER] LIKE '*amarg*' OR [NAME_WATER] LIKE '*Amarg*'	2
Cuenca del Tajo	[NOMBRE1] LIKE '*Sal*' OR [NOMBRE2] LIKE '*Sal*' OR [NOMBRE1] LIKE '*sal*' OR [NOMBRE2] LIKE '*sal*' OR [NOMBRE1] LIKE '*Amarg*' OR [NOMBRE1] LIKE '*amarg*' OR [NOMBRE2] LIKE '*Amarg*' OR [NOMBRE2] LIKE '*amarg*'	114
Cuenca del Guadiana	[NOM] LIKE '*SAL*' OR [NOM] LIKE '*AMARG*'	5
Cuenca del Júcar	[NomMAgSup] LIKE '*Sal*' OR [NomMAgSup] LIKE '*sal*' OR [NomMAgSup] LIKE '*Amarg*' OR [NomMAgSup] LIKE '*amarg*'	2

Los *shapefiles* de hidrografía presentan el problema de que algunas de las entidades no tienen todos los atributos completos por lo que era posible que tras la operación de selección anterior no se recogieran algunos cursos fluviales salados. Para minimizar esto se procedió a la consulta toponímica del Nomenclátor Geográfico Conciso de España del Centro Nacional de Información Geográfica. Aquellos cursos de agua con topónimo indicativo de salinidad que no estaban incluidos en los resultados de la consulta de los ficheros hidrográficos o que carecían de información en alguno de sus atributos fueron editados con la ayuda del servicio WMS de ortofotos sin restricción de escala del Sistema de Información Territorial de Aragón que permite visualizar información gráfica del Plan Nacional de Observación Aérea con resolución de 0,5 metros (Figura 4).

Una vez depurados los resultados y finalizada la edición, las selecciones de cada *shapefile* de cuenca hidrográfica fueron exportadas a *shapefile* y finalmente unidas mediante la herramienta *merge*. Como en el caso de las superficies en las que aflora el Triásico Superior, al *shapefile* de cursos salados se le aplicó un *buffer* de 100 metros a cada lado (cursos\_salados100.shp), tras comprobar que la mayor distancia entre un curso de agua salado y un establecimiento salinero era menor a esta distancia (Figura 5).

Por último, se descargó la capa de humedales del SITAR, se reprojectó a ETRS89 y se le aplicó un *clip* con el *shapefile* correspondiente al área de estudio y del archivo resultante se seleccionaron las entidades saladas para crear un *buffer* de 100 metros en torno a ellos. A este nuevo *shapefile* (cuerpos\_salados100.shp) junto con los archivos de hidrografía (cursos\_salados100.shp) y de afloramientos geológicos (Triásico100.shp) se le aplicó un *merge* para obtener un único *shapefile* (superficies\_sal.shp) que englobara la totalidad de la zonas susceptibles de contener espacios de producción de sal.

Finalmente este *shapefile* fue convertido a ráster de 90 metros de tamaño de celda en consonancia con el MDE, seleccionando la opción Máximo en el tipo de asignación de celda y aplicándole la capa MN\_Celtiberia como máscara para obtener un ráster cuya extensión fuera exactamente el área de estudio. Los píxeles con valor 1 representan zonas geológicamente susceptibles de contener sal mientras que el resto de las zonas del área de estudio presentan valor *No Data* (Anexo II).

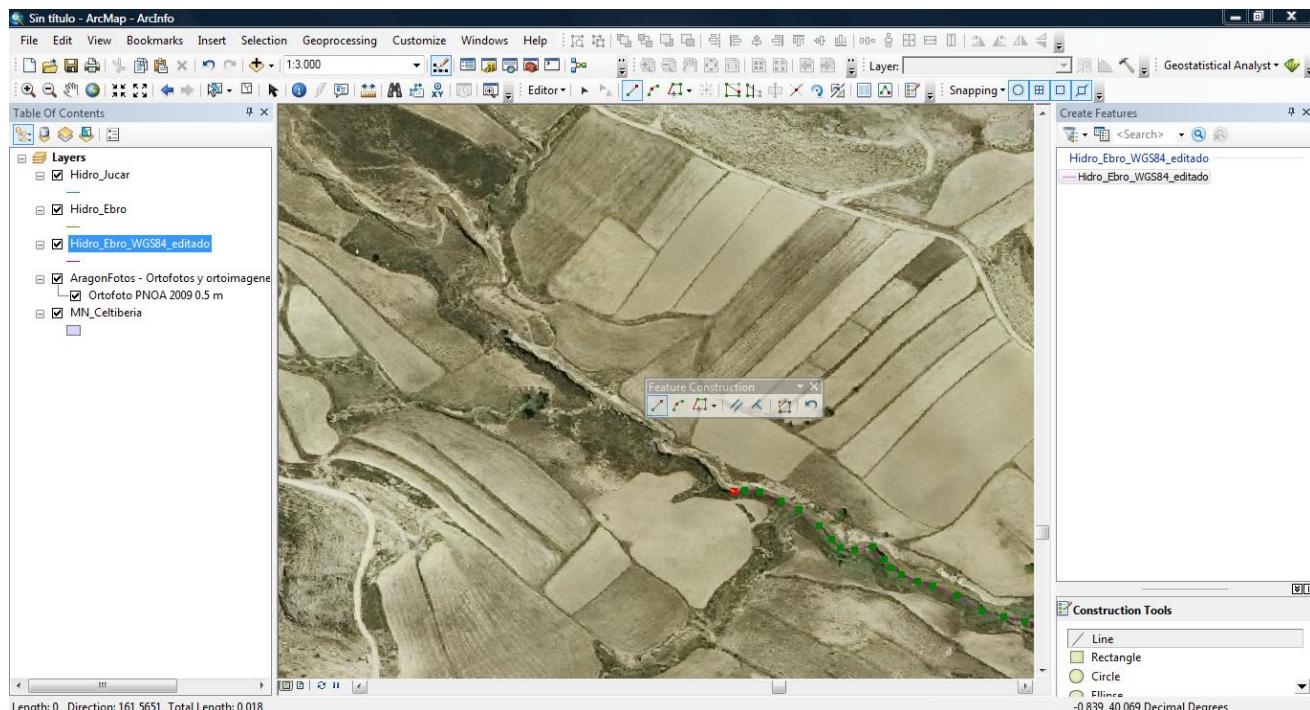


Figura 4. Edición del Barranco de los Salados, Herrera de los Navarros (Zaragoza)

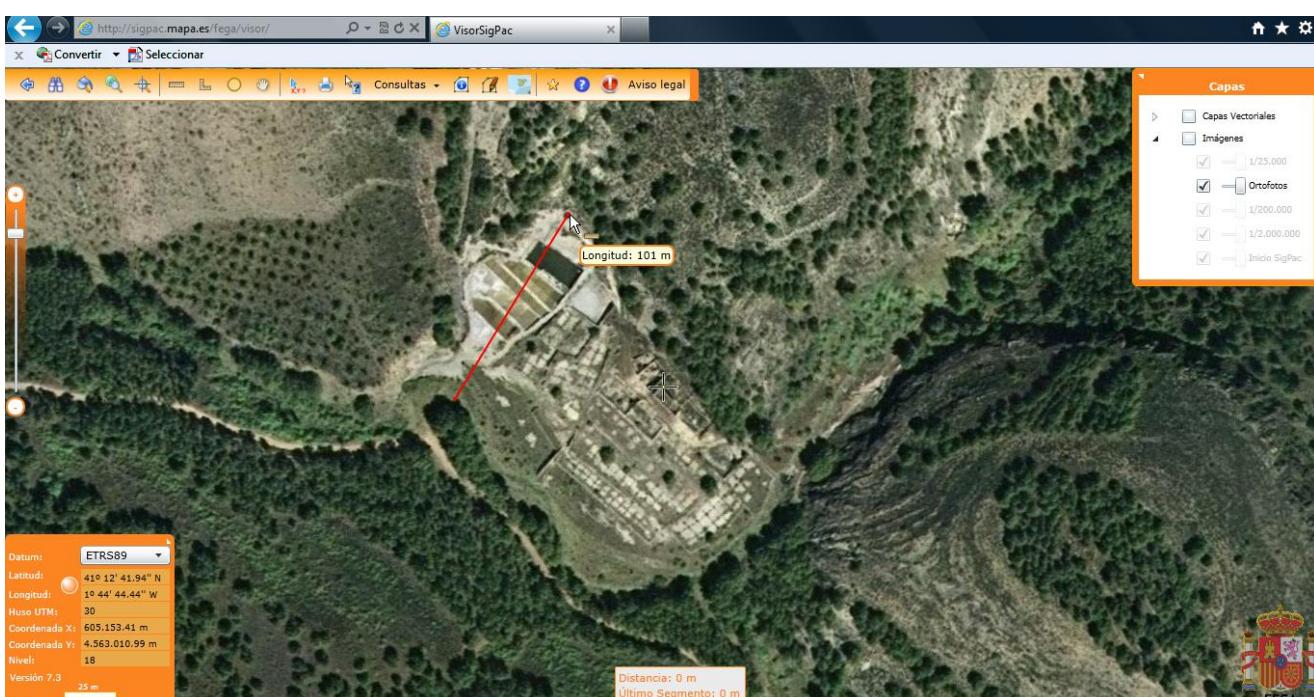


Figura 5. Distancia entre El Barranco de las Salinas y las Salinas de Nuévalos (Zaragoza)

#### 4.2.3. Variables climatológicas

Como se ha indicado anteriormente, la producción de sal por insolación es altamente dependiente de las condiciones climatológicas. Esto restringe su aplicación espacial y temporalmente. No existen lugares de producción de sal por insolación en la Europa continental y la producción de este tipo en la cuenca mediterránea se circunscribe al periodo estival en el ámbito mediterráneo.

##### Temperaturas y precipitaciones medias estivales actuales

El mapa de temperaturas se ha obtenido a partir de los datos del Banco Nacional de Datos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) situados dentro de un área de 20 kilómetros del área de estudio dentro del periodo comprendido entre 1961 y 1990 para las temperaturas y entre 1971 y 2000 para las precipitaciones. Los periodos tomados se relacionan con las series tomadas por las publicaciones de Ibáñez (1999) y Espinar y Voltás (2009) como referencia actual. Se han depurado los datos eliminando los meses con más de 3 días sin dato y aquellos observatorios que no ofrecían datos para al menos 20 años. El promedio se ha realizado tomando los datos relativos a los meses de junio, julio, agosto y septiembre por ser los meses en los que se desarrolla tradicionalmente la actividad propiamente productiva en el interior peninsular (Plata *et al.*, 2008; 55; Alba y Aso, 2003;4). Un total de 79 observatorios para temperaturas y 373 observatorios para precipitaciones entraron en el proceso de interpolación espacial aplicado (Anexo III).

El método de interpolación empleado fue la regresión múltiple con corrección de residuales, técnica ampliamente utilizada en análisis climatológicos y de probada validez (Vicente y Saz, 2002; Vicente *et al.*, 2003; Saz *et al.*, 2010). Se trata de un método mixto que permite combinar la utilización que hacen los métodos globales de interpolación de toda la información disponible sobre la variable a hallar –precipitación y temperatura en este caso– con la exactitud entre el valor real registrado en los observatorios y el valor estimado de los métodos locales como el IDW (*Inverse Distance Weighting*) o el RBF (*Radial Basis Functions*).

Los modelos de regresión posibilitan el conocimiento y la utilización de la correlación entre la variable a estimar y un conjunto de variables independientes que funcionan como predictores del comportamiento espacial de la variable estudiada. La influencia de estos factores o variables independientes son muy evidentes en el caso del clima. Para el caso de la temperatura y las precipitaciones tienen gran incidencia variables independientes como la topografía, la distancia a cuerpos de agua y la altitud. La ventaja de los modelos de regresión múltiple es que integran variables que por sí solas no podrían explicar la variabilidad espacial de la variable estudiada.

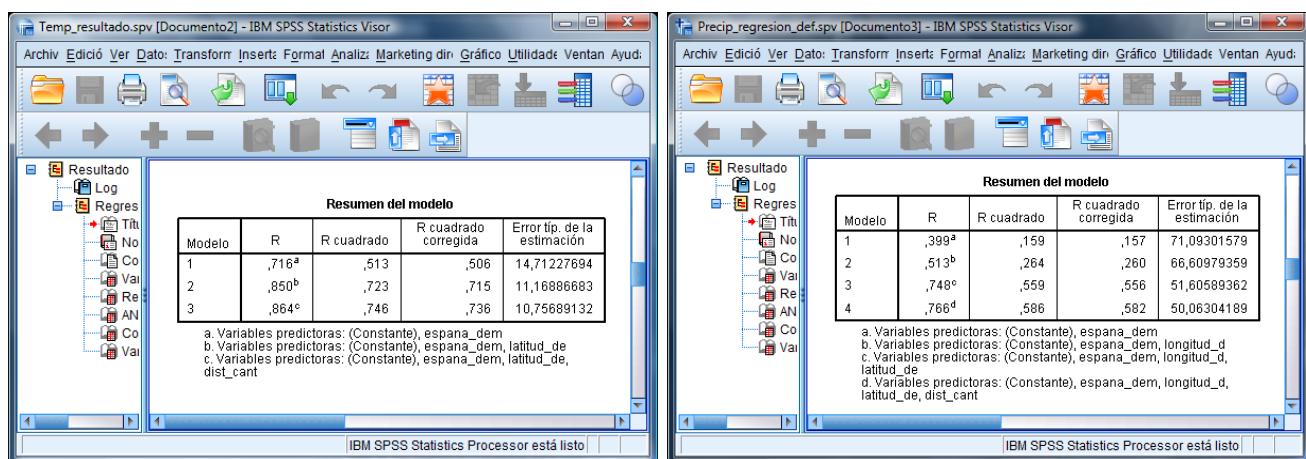
Por su parte, los métodos de interpolación local se basan en la supuesta intercorrelación espacial entre datos y toman la información de los puntos más próximos al punto a interpolar para calcular el valor de la variable estudiada aplicando una media ponderada que da más peso a los puntos observados cuanto más cercanos al punto a interpolar se encuentren.

Las variables integradas en el análisis de regresión de temperatura y precipitación fueron la altitud (MDE), latitud, longitud, distancia al mar Mediterráneo y distancia al mar Cantábrico. Los rásters de estas últimas cuatro variables fueron hallados con anterioridad. Por un lado, los rásters de longitud y latitud se hallaron mediante la interpolación por el método local de funciones radiales (RBF) de las columnas X e Y respectivamente del *shapefile* observatorios de precipitaciones. Por su parte, los rásters de distancia al mar Mediterráneo y al mar Cantábrico se obtuvieron mediante la aplicación de la herramienta *Euclidean Distance* a partir de los *shapefiles* de línea de Mediterráneo y línea del Cantábrico respectivamente. En consonancia con el MDE, todos los rásters se obtuvieron con un tamaño de celda de 90x90 metros (Anexo III).

Una vez hallados los rásters se extrajeron los valores de los mismos para los puntos del *shapefile* observatorios de temperatura por un lado y de puntos de observatorios de precipitaciones por otro.

Tras la conversión de las tablas de atributos de los *shapefile* de precipitaciones y de temperaturas \*.dbf a formato \*.xls, se cargaron en el *software* IBM SPSS Statistics 19 donde se aplicó un análisis de regresión por pasos sucesivos (*stepwise*) que ofreció tres posibles modelos de interpolación para el caso de las temperaturas y cuatro para las precipitaciones. Atendiendo a los coeficientes de error para

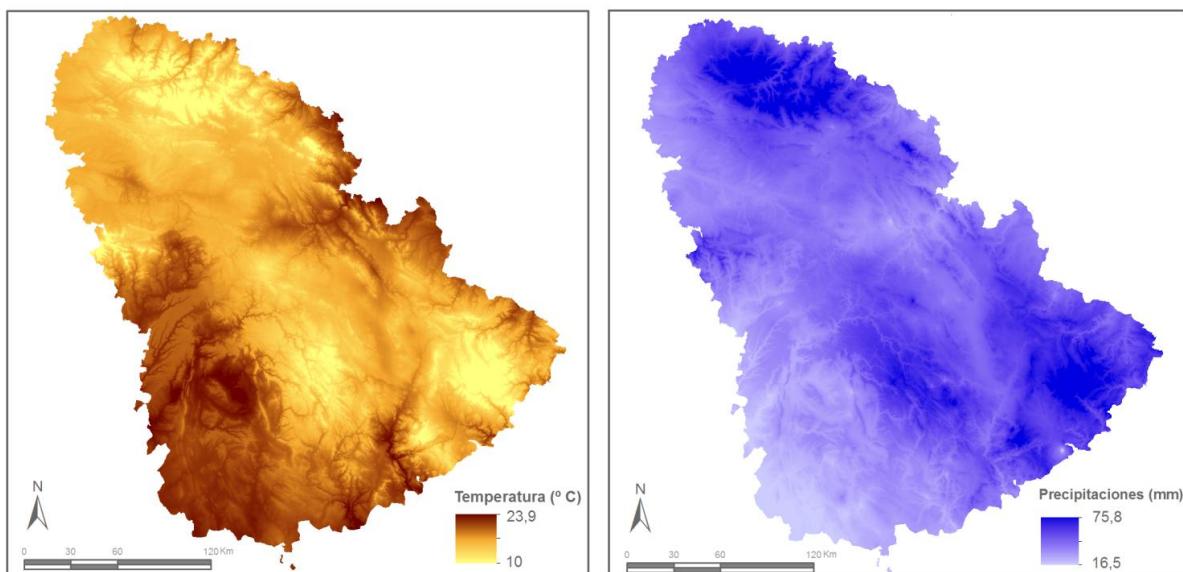
cada modelo se tomó el modelo 3 para las temperaturas y el modelo 4 para las precipitaciones (Figura 6).



**Figura 6.** Modelos resultados de la regresión de temperatura –izquierda– y precipitaciones –derecha– con coeficientes de error

El modelo número tres de regresión integra como variables predictoras la altitud (MDE), la latitud y la distancia al Cantábrico y explica el 74,6 % de la variabilidad de la temperatura. Por otro lado, el modelo número 4 de las precipitaciones integra la altitud (MDE), la longitud, la latitud y la distancia al Cantábrico como variables predictoras y explica el 58,6% de la variabilidad de las precipitaciones.

Una vez obtenidos los coeficientes, mediante su introducción en la calculadora ráster se halló el ráster de regresión para precipitaciones y para temperatura. Posteriormente, se extrajeron los valores de regresión de los puntos donde existen datos medidos de estas variables (observatorios\_temperatura.shp y observatorios\_precipitaciones.shp) y con ellos se calcularon los residuales (dato predicho menos observado) con la ayuda de una hoja de cálculo Excel. Esta columna de residuales se interpoló por el método local de funciones radiales (RBF) hallando así un ráster de errores de temperatura y otro de precipitaciones<sup>3</sup>, rásters que fueron restados a los rásters de regresión de temperatura y precipitaciones respectivamente realizando así la corrección por residuales y obteniendo los rásters de temperatura media estival y precipitación media estival actual del área de estudio.



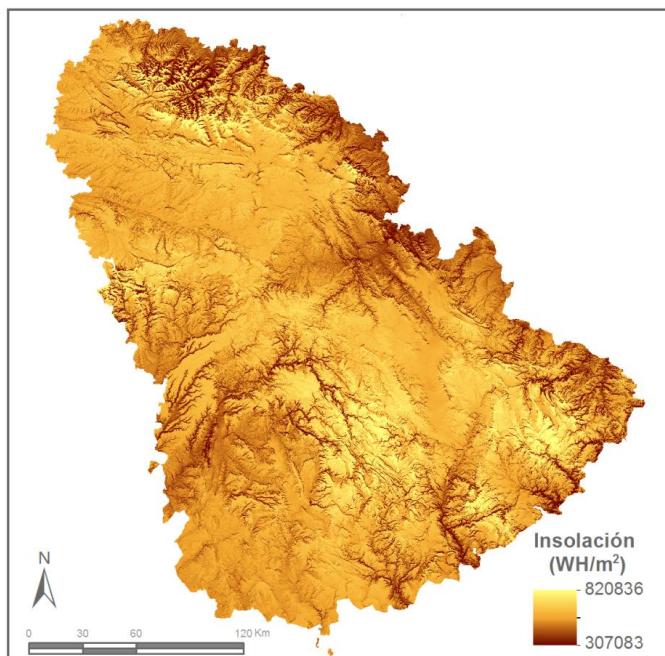
**Figura 7.** Mapa de temperatura y precipitaciones medias estivales actuales

<sup>3</sup> La interpolación de los residuales de temperaturas se obtuvo con la participación de un máximo de 15 y un mínimo de 10 vecinos obteniéndose un RMSE de 1,02° C. La interpolación de los residuales de precipitaciones se obtuvo con la participación de un máximo de 20 y un mínimo de 15 vecinos obteniéndose un RMSE de 4,08mm.

## Insolación estival actual

El mapa de insolación se obtuvo a través de la herramienta *Area Solar Radiation* dentro de las herramientas de análisis espacial. Esta herramienta se basa en los trabajos de Rich *et al.* (1994), Fu (2000) y Fu y Rich (2000; 2002) sobre métodos de algoritmo de cuenca visual hemisférica y permite calcular la radiación difusa, directa, global (directa más difusa) y la duración de la radiación directa de una superficie para un periodo concreto de tiempo a partir de un MDE<sup>4</sup>. Se optó por la opción varios días al año seleccionando como día de inicio el 152 (día juliano correspondiente al 1 de junio) y como día final el 273 (30 de septiembre) del año 1950 –año en el que todavía estaban en funcionamiento muchas de las salinas de la zona de estudio– y un intervalo de cálculo de 30 días. El intervalo horario escogido para el cálculo del mapa solar fue de 60 minutos. El tamaño de cielo representa la resolución de los rásters necesarios para el cálculo de la radiación (cuenca visual, mapa del cielo y mapa del sol). Se optó por la mayor resolución permitida para aumentar la exactitud del cálculo, 100 metros. El parámetro de latitud es automáticamente completado al cargar el MDE como *input*. Respecto a los parámetros topográficos, se designó el cálculo de la pendiente y la orientación en base al MDE *input* y dado que tanto las coordenadas como la altitud estaban expresadas en metros, no fue necesario incluir factor Z. Se configuró un valor 32 de ángulos de horizonte dada la complejidad de la topografía del área de estudio. En cuanto a los parámetros de radiación, se definió un modelo de radiación difusa nublada estándar (*standard overcast sky*) de manera que el flujo de radiación difusa entrante varía con el ángulo cénit. Dada la ausencia de datos sobre las condiciones atmosféricas concretas, se optó por una proporción de flujo de radiación difusa y una transmitividad estándar para condiciones de cielo generalmente claro, coeficientes 0,3 y 0,5 respectivamente.

El resultado es un ráster por cada intervalo especificado hasta completar el periodo temporal configurado. Los ráster expresan la suma de las radiaciones globales (directa más difusa) en  $W/m^2$  recibidas en cada intervalo (30 días). Es decir, el valor de un píxel de uno de los rásters resultado, representa la cantidad de radiación difusa y directa recibida por esa superficie del área de estudio (90x90 metros) en 30 días. Se obtuvo por tanto, un ráster para la radiación global del 1 al 30 de junio, del 1 al 30 de julio, del 31 de julio al 29 de agosto, del 30 de agosto al 28 de septiembre y, por último, del 29 al 30 de septiembre. Para hallar la radiación global total estival de la zona de estudio se sumaron los rásters (Anexo III).



**Figura 8.** Mapa de insolación actual

<sup>4</sup> La función *Area Solar Radiation* utiliza la constante  $1.367 W/m^2$ , recomendada por el *World Radiation Centre*

### 4.3. Variables climatológicas de temperatura, precipitaciones e insolación durante la Edad del Hierro

La modelización de las variables climatológicas de temperatura, precipitaciones e insolación durante la Edad del Hierro resulta esencial para determinar la potencialidad productiva de las diferentes zonas del área de estudio durante los últimos siglos antes del cambio de era. El conocimiento sobre estas variables para estas cronologías es limitado. Si bien contamos con una gran diversidad de fuentes de información entre las que se encuentran la geomorfología, los estudios polínicos, los sondeos isotópicos, la dendrocronología y el crecimiento de estalagmitas, el estado actual del conocimiento es fundamentalmente cualitativo, lo que influye negativamente en la operatividad de cálculo de estas variables.

El periodo cronológico que nos ocupa es un momento de cambio desde el punto de vista climático. Siguiendo la periodización de carácter global que Blytt y Sernander establecieron estudiando las capas de las turberas danesas, la Edad del Hierro peninsular se enmarca entre el periodo Subboreal (3000-500 a. C.) y el periodo Subatlántico (500 a. C.-actualidad).

El periodo Subboreal se caracteriza por el predominio de las circulaciones meridianas sobre las zonales, lo que generó un enfriamiento general y una recuperación de las superficies de hielos polares tras el aumento térmico del periodo anterior (periodo Atlántico 5000-3000 a. C.). La variabilidad e inestabilidad debió ser más acusada que durante el periodo Atlántico tanto en términos generales como en términos interanuales. Prueba de ello es la gran subida del nivel que se documenta en los lagos europeos tras el 2500 a. C., la tendencia hacia un régimen más seco en la Europa meridional, el hecho de que en África del Norte se imponga una tendencia hacia un régimen más seco y la existencia entre 1500/1300 – 800 a. C. de un episodio neoglaciado en Europa y América del Norte favorecido por la explosión volcánica de Santorini (Font, 1988; Mayewski *et al.*, 2004). Hacia el final del Subboreal europeo se producen varios periodos cálidos de aproximadamente un siglo cada uno (Font, 1988). Tanto el deterioro climático como la posterior recuperación son documentados por Van Geel y sus colaboradores (1996) quienes relacionan los datos provenientes del polen de *corylus* con los índices de  $^{14}\text{C}$ . La situación de la península ibérica debió favorecer que los cambios en las condiciones climáticas fueran más extremos. Los fenómenos anticiclónicos con marcadas sequías fueron dominantes (excepto en el marco atlántico-cantábrico) debido a la disminución de la actividad borrascosa y de la influencia de las perturbaciones atmosféricas subtropicales (Font, 1988). Esta tendencia cambia en los últimos siglos del periodo, durante el desarrollo de la Edad del Bronce, puesto que aumenta la pluviosidad y desciende la temperatura (Bartolomé *et al.*, 2011; Peña *et al.*, 2011). Los estudios de geomorfología subrayan acumulaciones y regularizaciones de laderas favorecidas por un desarrollo edáfico y una cobertura vegetal provocada por esta fase húmeda de transición entre el Subboreal y el Subatlántico en la Cordillera Ibérica y el valle del Ebro (Burillo *et al.*, 1985; Gutiérrez y Peña, 1990; Peña *et al.*, 1993; 2004; 2005; 2011; Ángeles *et al.*, 2004; Constante *et al.*, 2009; 2010). El aumento en las precipitaciones también es detectado en el crecimiento de estalagmitas en el Pirineo central (Bartolomé *et al.*, 2011) y por el crecimiento de los depósitos de turba también en la península ibérica (Torres, 2010; 81).

Centrándonos en la temperatura de nuestra área de estudio, Ibáñez (1999) se apoya en Magny (1995) quien subrayaba la relación inversa entre las oscilaciones climáticas y la variación de contenido de  $^{14}\text{C}$  en la atmósfera para ofrecer datos cuantificados sobre la variación de la temperatura durante la Edad del Hierro. Ibáñez mide las variaciones de curva de  $^{14}\text{C}$  residual para momentos en los que hay datos observados de temperatura y extrae las variaciones de la curva de  $^{14}\text{C}$  residual correspondientes a la Edad del Hierro para obtener temperaturas estivales estimadas. Así pues, para mediados del siglo VIII a. C., momento más frío del I milenio a. C., una desviación de  $^{14}\text{C}$  del 2,6% indicaría que la temperatura media estival pudo ser 1,8° C inferior a la actual. Lo que coincide *grosso modo* con la propuesta de Lamb (1977) de 2° C por debajo de la actual. Para inicios del siglo VI a. C. la temperatura propuesta estaría un 0,4° C por debajo de la actual. Esta variación se iría reduciendo a lo largo del siglo.

Por lo que respecta al régimen de precipitaciones, Espinar y Voltás (2009) se basan en un modelo de inferencia climática que mide la respuesta diferencial frente a la sequía de dos especies: la encina

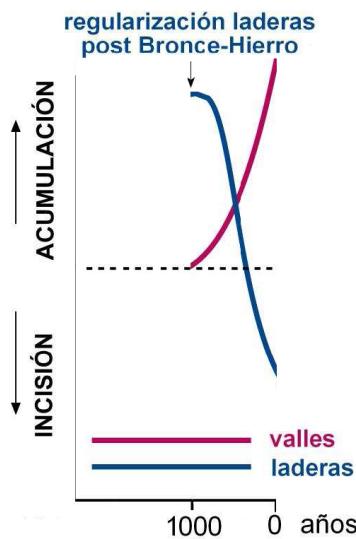
(*Quercus ilex* L.) y el pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) y en las muestras arqueológicas obtenidas durante la excavación de El Cabezo de la Cruz (Muela, Zaragoza) para afirmar que las precipitaciones entre el siglo IX y VI a. C. debieron rondar los 700 mm anuales, 300 mm más que las media anual actual. Además, el estudio de isótopos estables en carbonos concluye que la mayor divergencia en el régimen de precipitaciones debió darse entre septiembre y diciembre mientras que las precipitaciones alcanzarían los 350 mm entre enero y septiembre, lo que significaría una diferencia en torno al centenar de mm. El mayor número de lluvias invernales y otoñales respecto de las primaverales y estivales para estos momentos también es defendido por Davis (1994; 278) y Gutiérrez y Peña (1992; 119).

El periodo Subatlántico se inicia hacia el 500 a. C. y se caracteriza porque las posiciones latitudinales medias de los cinturones de altas presiones subtropicales y de las depresiones subboreales han fluctuado siempre alrededor de sus posiciones actuales (Font, 1988). Las desviaciones latitudinales medias de los cinturones de la circulación general han sido menos acusadas especialmente en lo respectivo a las situaciones de los grandes centros de bajas y altas presiones (Font, 1988). Desde su inicio y aproximadamente hasta cien años antes al cambio de era. En la cuenca mediterránea el clima es más frío y con mayores precipitaciones invernales que en la actualidad. Muestra de ello es que en Roma llega a helarse el Tíber. Las sequías (476 a. C., 427 a. C. 224-198 a. C.), alternadas con episodios de precipitaciones intensas (181-180 a. C.), no debieron dejar de ser habituales como indican algunas referencias de autores clásicos entre los que se encuentra Diodoro Sículo (siglo I a. C.). Sin embargo la diferencia cronológica entre la vida de los mismos y las fechas sobre las que informan obligan a tomar las noticias *cum grano salis* (Font, 1988).

A inicios del último siglo antes del cambio de era –quizá algo antes para el noreste peninsular– comienza el conocido como Episodio Cálido Romano que se extenderá durante 500 años. Aumenta la frecuencia de veranos cálidos y secos, y escasean los inviernos extremos como indica el lento ascenso del nivel del mar (1 metro en 300 años). Esto tiene su reflejo en la Europa continental con temperaturas más suaves que posibilitan el cultivo de vid en Alemania o Inglaterra (Font, 1988). Lucano (siglo I a. C.) informa sobre la fuerte sequía del año 75 a. C. en Hispania que debió poner en graves dificultades al ejército de Pompeyo. Ptolomeo de Alejandría (siglo II d.C.) expresa en su diario la calidez y frecuencia de tormentas propias del estío y la frecuencia de lluvias en todos los meses excepto agosto (Font, 1988).

Para el periodo Subatlántico, Ibáñez propone unas temperaturas similares a las actuales para la primera mitad del siglo V a. C. a tenor de la mínima variación de los niveles de  $^{14}\text{C}$  residual (Ibáñez, 1999). La segunda mitad del siglo viene acompañada por una variación del -1,6% que correspondería con una temperatura 1,2° C por debajo de la temperatura actual. Paralelo a lo que ocurre en el siglo V a. C. ocurrirá en el IV a. C. con temperaturas similares a las actuales para la primera mitad y 1,2° C por debajo para la segunda (Ibáñez, 1999). Éste último descenso de la temperatura parece también detectarse por los estudios de dendrocronología de los robles centroeuropeos (Büntgen *et al.*, 2011). En los tres últimos siglos la temperatura variará entre los 0,6° y 0,3° C por debajo de la actual (Ibáñez, 1999).

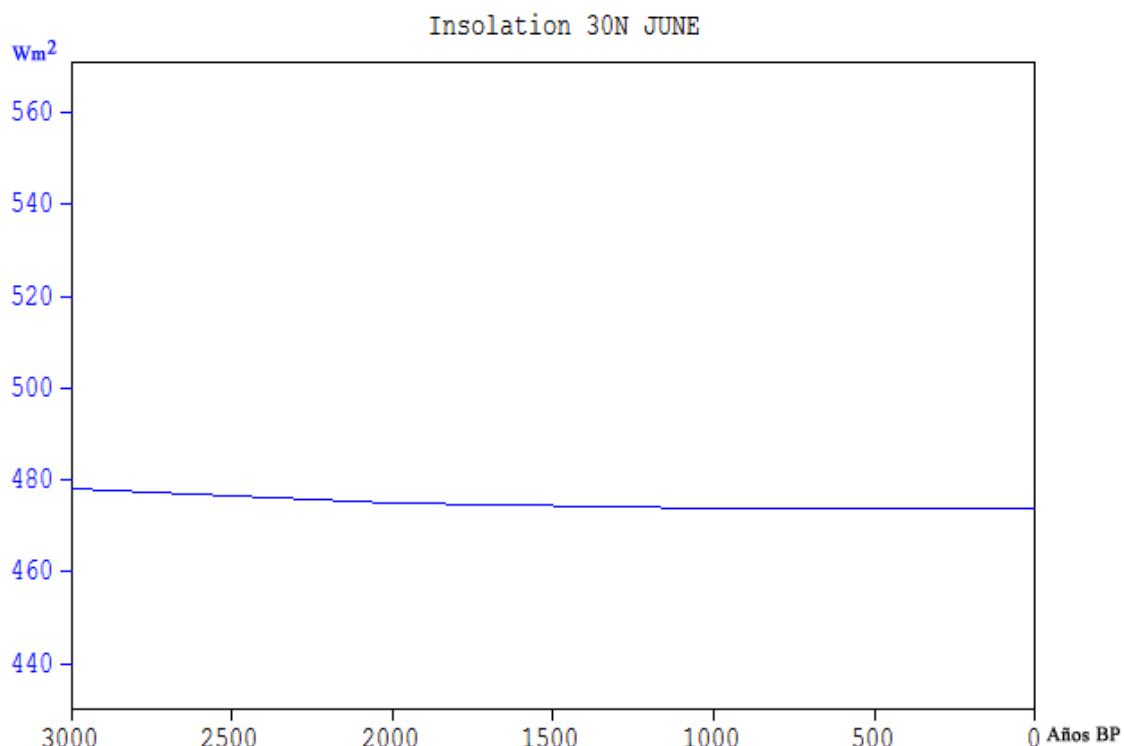
Conocemos con menor precisión el régimen de precipitaciones del Subatlántico. El registro de El Cabezo de la Cruz no cuenta con niveles correspondientes a los últimos siglos a. C. por lo que no contamos con cifras de precipitaciones estimadas para estos momentos. Los estudios de geomorfología y geoarqueología en el noreste peninsular sugieren que hacia mediados del primer milenio a. C. concluye la fase de acumulación y regularización de laderas que había sido favorecida por el desarrollo de una cobertura vegetal estable como consecuencia de las condiciones húmedas y frescas de finales del Subboreal y comienza una periodo de erosión de laderas y sedimentación en fondos de valle indicativo de condiciones de mayor aridez (Peña, 1998; Peña *et al.*, 2005).



**Figura 9.** Procesos de acumulación y erosión durante el primer milenio a. C. en el noreste peninsular  
(Fuente: Peña *et al.*, 2005)

Además de las temperaturas y las precipitaciones, otra variable climatológica de gran influencia en el proceso productivo de sal es la insolación o cantidad de energía radiada por el sol que recibe una zona durante un periodo de tiempo. Normalmente es medida en  $W\text{m}^2$ . Se trata de la fuente de calor que permite la evaporación de agua y la consiguiente concentración del cloruro sódico hasta su precipitación.

Se conoce que en el hemisferio norte, tanto la insolación estival como invernal han decrecido en los últimos milenios (Kutzbach y Ruddiman, 1993). Esto indica que la cantidad de energía que llegaría en un verano del primer milenio a. C. a una zona del área de estudio y la cantidad de energía que llega en la actualidad, aunque mínimamente, difieren. Según Kutzbach y Ruddiman (1993), la radiación solar para el meridiano 30N en junio del año 1000 a. C. sería un 0,867% mayor que la actual y un 0,255% hacia el cambio de era.



**Figura 10.** Insolación de junio de los últimos 3000 años en el paralelo 30N (Fuente: Berger y Loutre, 1991. Obtenido mediante el software CalPal)

Atendiendo al estado del conocimiento de las variables climatológicas que influyen en la producción y dado que, como se ha señalado, los datos disponibles tienen como referencia los datos actuales, se calcularon los rásters de cada una de las variables para cada momento cronológico concreto según la información disponible. En este sentido el primer milenio a. C. se dividió en dos grandes períodos: Subboreal y Subatlántico que a su vez se desligaron en períodos de menor duración (Tabla 3).

El cálculo de la precipitación del período Subboreal se basó en un coeficiente (1,4) expresivo de la diferencia entre datos estimados y actuales (350/250mm) ofrecidos por Espinar y Voltás (2009) para el entorno del yacimiento del Cabezo de la Cruz (La Muela, Zaragoza). Para el período Subatlántico se optó por un coeficiente intermedio (1,2) entre los datos actuales y los del período anterior siguiendo las informaciones cualitativas de Peña *et al.* (1998, 2005).

Los rásters de temperatura pudieron completarse de manera más específica siguiendo los datos de Ibáñez (1999). Dentro del período Subboreal se distinguieron los siglos VIII a. C. ( $\nabla 1,8^\circ C$ ) y VI a. C. ( $\nabla 0,4^\circ C$ ) y dentro del Subatlántico la primera mitad del siglo V a. C. ( $\sim 0^\circ C$ ), la segunda mitad ( $\nabla 1,2^\circ C$ ), la primera mitad del siglo IV a. C., la segunda mitad ( $\nabla 1,2^\circ C$ ) y finalmente los siglos III-I a. C. para los que se crearon dos rásters ( $\nabla 0,6^\circ C$  y  $\nabla 0,3^\circ C$ ).

Para el cálculo de la insolación se optó por incrementar para todo el período un 0,557% a los valores de radiación actuales, porcentaje representativo del incremento medio entre el aumento para el 3000 a. C. -0,857– y para el 2000 a. C. -0,255– según Kutzbach y Ruddiman (1993) debido a que la relación entre cronología e incremento de radiación no es lineal y que la variación es muy reducida.

A partir de los rásters actuales y operando con la calculadora ráster fue posible obtener los rásters de precipitaciones, temperatura y radiación correspondientes con las condiciones de la Edad del Hierro (Anexo IV).

**Tabla 3.** Resumen rásters calculados

PERÍODO	CRONOLOGÍA	TEMPERATURA (respecto actual)	PRECIPITACIONES (respecto actual)	INSOLACIÓN (respecto actual)	
SUBBOREAL (3500-500 a. C.)	s. VIII a. C.	-1,8° C	Coeficiente 1,4	Coeficiente 1,00557	
	s. VI a. C.	-0,4° C			
SUBATLÁNTICO (500 a. C.-BP)	1 <sup>a</sup> mitad s. V a. C.	Igual	Coeficiente 1,2		
	2 <sup>a</sup> mitad s. V a. C.	-1,2° C			
	1 <sup>a</sup> mitad s. IV a. C.	Igual			
	2 <sup>a</sup> mitad s. IV a. C.	-1,2° C			
	III-I a. C.	-0,3° C -0,6° C			

#### 4.4. Cartografía de potencialidad productiva de la segunda mitad del siglo XX

Una vez obtenidos los rásters de geología, pendientes, MDE, radiación global estival y temperaturas y precipitaciones medias estivales del área de estudio se proyectó el *shapefile* de salinas con el objetivo de conocer los valores que las salinas conocidas presentan de estas variables. Para ello se utilizó la herramienta *Extract multi values to points*, dentro de las herramientas de análisis espacial. Los valores son añadidos a la tabla de atributos del *shapefile* de salinas posibilitando su conocimiento estadístico (Anexo V y IX).

**Tabla 4.** Resumen estadístico de los valores de altitud, pendientes, geología, temperaturas, precipitaciones e insolación de las salinas localizadas

VARIABLES	VALOR MÁXIMO	VALOR MÍNIMO	MEDIA	REFERENCIA
Geología	1	1	1	Debe cumplir 1
Insolación (Wh·m <sup>-2</sup> )	755642	651027	685262,66	Insolación mínima
Precipitación media estival (mm)	45,81	21,13	35,92	Precipitación máxima
Temperatura media estival (° C)	22,37	15,12	18,99	Temperatura mínima
Pendiente (%)	28,27	0,62	6,83	Pendiente máxima
MDE_altitud (m)	1629	626	1050	Altitud máxima

Estos valores para las diferentes variables permiten establecer unos umbrales en los que se encuadra la producción de sal por insolación en el área de estudio. Atendiendo a las características de cada una de las variables se llevó a cabo una reclasificación de los rásters con el objetivo de facilitar la interpretación de los valores y la representación de los mismos. En este sentido, dependiendo de la variable, se ha asignado un número (1, 2 ó 3) a cada píxel de los diferentes rásters según el valor influya negativa o positivamente en la producción de sal, multiplicando dicho valor por 100.000 en el caso de la variable geológica, por 10.000 la insolación, por 1.000 la precipitación, por 100 la temperatura y por 10 la pendiente (Anexo VI).

#### 4.4.1. Reclasificación de rásters de variables

##### Reclasificación ráster de variable geológica

La variable geológica es la más simple y la más influyente de las variables contempladas. Tras la preparación de datos geológicos se ha obtenido un ráster del área de estudio en el que las celdas con valor uno representan áreas susceptibles de producción, bien por su propia geología o por estar muy próximas (100 m) a afloramientos del Triásico Superior o a cuerpos de agua salada mientras que aquellas celdas del área de estudio con valor *No Data*, indican áreas sin capacidad productiva por la ausencia de materia prima. La reclasificación de esta variable únicamente se basó en dos valores 200.000 para el valor original 1 y 100.000 para valores originales *No Data*.

**Tabla 5.** Reclasificación de la variable geológica

VARIABLE	VALOR ORIGINAL	VALOR RECLASIFICADO	SIGNIFICADO
Geología	No Data	100.000	Inexistencia de materia prima
	1	200.000	Existencia de materia prima

##### Reclasificación ráster de variable de insolación estival

Tras la geológica, la variable de insolación es el factor más influyente en el proceso productivo puesto que el sol es la fuente de energía calorífica que permite la evaporación del agua, el incremento en la concentración de sales en ella y la consiguiente precipitación de las mismas según su solubilidad. –precipitación fraccionada. En el caso del cloruro sódico son necesarias concentraciones en torno a los 330 g/l para que comience a precipitar.

Según los valores que las salinas localizadas presentan de esta variable se reclasificaron los valores del ráster original en tres valores. Por un lado, valores por debajo del valor mínimo documentado

–Salinas de la Inesperada,  $651027 \text{ WH m}^2$ – se reclasificaron con valor 10.000. Por otro lado, a los píxeles con valores superiores al mínimo y menores que la media de los valores de insolación de las salinas localizadas  $-685262,66 \text{ WH m}^2$ – se les adjudicó el valor 20.000. Finalmente, a las celdas con valor superior a la media se les dio un valor de 30.000.

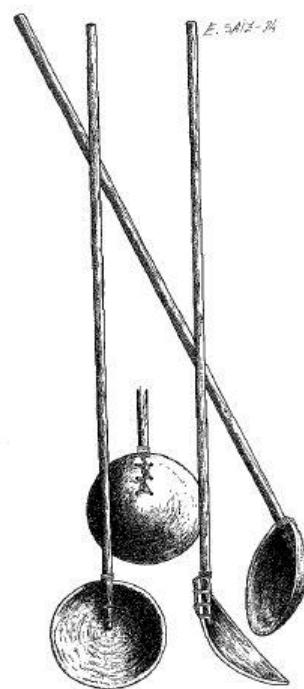
**Tabla 6.** Reclasificación de la variable de insolación estival

VARIABLE	VALOR ORIGINAL (WH m <sup>2</sup> )	VALOR RECLASIFICADO	SIGNIFICADO
Insolación estival	< 651027	10.000	No alcanza el valor mínimo
	651027 - 685262,66	20.000	Cumple el valor mínimo pero por debajo de la media
	>685262,66	30.000	Valor superior a la media

#### Reclasificación ráster de variable de precipitaciones estivales

Si bien las precipitaciones pueden beneficiar la disponibilidad de materia prima, la lluvia es un factor muy perjudicial para el proceso propiamente productivo ya que limita la insolación y puede dar al traste con la producción al incrementar la cantidad de agua en la materia prima. El propio hecho de que la producción se ajuste al verano es significativo de que las precipitaciones son un claro factor limitante incluso si el resto de variables tienden a ser favorables como por ejemplo en primavera.

Ante estos inconvenientes, las estrategias de producción han debido adaptarse. Un claro ejemplo de ello es el caso de las salinas de Poza de la Sal (Burgos) en las que el llenado de las eras de cristalización no se hacía de una vez “a lleno”, sino poco a poco “a riego” con la ayuda de palas de madera de manera que la llegada de precipitaciones no arruinara la producción (Sáiz, 2001).



**Figura 11.** Riego de las eras –izquierda– y “regaderas” – derecha. (Fuente: Sáiz, 2010)

Por ello, la reclasificación del ráster de precipitación media estival se hizo en función del valor máximo de precipitaciones obtenido que presentan las salinas – Salinas de Valdetablado; 45,81mm. Los píxeles con valores superiores al máximo se reclasificaron con valor 1.000. Aquéllos con valor inferior al máximo y superior a la media –35,92 mm– obtuvieron un valor de 2.000 y por último, dado que las celdas con valores inferiores a la media representan las zonas con menores precipitaciones y mayores posibilidades productivas, se reclasificaron con valor 3.000.

**Tabla 7.** Reclasificación de la variable de precipitación media estival

VARIABLE	VALOR ORIGINAL (mm)	VALOR RECLASIFICADO	SIGNIFICADO
Precipitación media estival	>45,81	1.000	Superior al valor máximo
	35,92 - 45,81	2.000	No sobrepasa el valor máximo pero están por encima de la media
	<35,92	3.000	Valor inferior a la media

#### Reclasificación ráster de variable de temperaturas estivales

Temperaturas elevadas favorecen la producción. Por ello, se adjudicó un valor de 100 para los valores inferiores a la mínima registrada para las salinas (Salinas de Griegos; 15,12° C), 200 a los valores superiores a la mínima e inferiores a la media (18,99° C) y 300 para las celdas con valores superiores a la media.

**Tabla 8.** Reclasificación de la variable de temperatura media estival

VARIABLE	VALOR ORIGINAL (° C)	VALOR RECLASIFICADO	SIGNIFICADO
Temperatura media estival	<15,12	100	Inferior al valor mínimo
	15,12 – 18,99	200	Superior al valor mínimo e inferior al valor medio
	>18,99	300	Valor superior a la media

#### Reclasificación ráster de variable de pendientes

La pendiente del terreno es un factor que, si no imposibilita, sí dificulta la construcción de las instalaciones necesarias para la producción de sal. La excesiva pendiente puede enmendarse pero ello requiere un esfuerzo humano y temporal. Se reclasificaron las pendientes superiores a la máxima (Salinas de Armillas; 28,27%) pendiente con valor 10, las pendientes entre el valor máximo y la media (6,83%) con valor 20 y las pendientes inferiores a la media con valor 30 dado que son áreas que entrañan menores dificultades a la hora de preparar el terreno.

**Tabla 9.** Reclasificación de la variable de pendientes

VARIABLE	VALOR ORIGINAL (%)	VALOR RECLASIFICADO	SIGNIFICADO
Pendientes	>28,27	10	Superior al valor máximo
	28,27 – 6,83	20	Inferior al valor máximo y superior a la media
	<6,83	30	Valor inferior a la media

#### Reclasificación ráster de variable de altitud (MDE)

Al igual que la pendiente, la altitud no es un factor determinante pero sí influye en el emplazamiento de las instalaciones productivas. Como es lógico, pese a que sea posible la producción a elevada altitud, esto entraña dificultades tanto en la construcción de las instalaciones como en la distribución del producto. Las salinas del área de estudio situadas a mayor altitud son las Salinas de Griegos situadas a 1629 metros sobre el nivel del mar. A las áreas situadas a mayor altitud se les asignó un valor de 1, a aquéllas a menor altitud pero por encima de la media (1050 m) 2 y finalmente a los píxeles con valor por debajo de la media, 3.

**Tabla 10.** Reclasificación de la variable de altitud

VARIABLE	VALOR ORIGINAL (m)	VALOR RECLASIFICADO	SIGNIFICADO
Altitud (MDE)	>1629	1	Superior al valor máximo
	1050 – 1629	2	No sobrepasa el valor máximo y superior a la media
	<1050	3	Valor inferior a la media

#### 4.4.2. Valoración de variables y cartografía final

Una vez reclasificados los rásters de variables se sumaron en la calculadora ráster. El resultado es un nuevo ráster en el que cada celda posee un valor de 6 dígitos, uno por variable, que varían entre 1 y 3 –1 y 2 en el caso del primer dígito. La posición del dígito es indicativa de la variable y su valor indica que el área representada cumple o no los valores mínimos de esa variable y, si lo cumple, en qué grado –favorablemente; 2 o de manera óptima; 3. Un píxel con valor 132322 indica que el área que representa no tiene una geología favorable (1), tiene una insolación estival óptima (3) ya que está por encima de la media de insolación de las salinas localizadas, un régimen de precipitaciones favorables (2) puesto que están por debajo de la máxima y por encima de la media, unas temperaturas medias estivales por encima de la media y en consecuencia óptima (3), una pendiente igualmente favorable (2) pues se encuentra entre la máxima y la media, y por último una altitud entre los 1.050 m. que representan la media y los 1.629 m. de la máxima y por ello, favorable (2). Cuanto más alto sea el valor de un píxel, mayor potencialidad productiva tiene el área que representa. El mayor valor posible es 233333 y el menor 111111.

Se trata, por tanto, de un ráster que permite hacer una clasificación del área de estudio según zonas más o menos aptas para la producción de sal. Con el objetivo de facilitar la elaboración de la clasi-

ficación se extrajeron de nuevo los valores de las salinas localizadas respecto del ráster que integra todas las variables (Anexo VII).

La clasificación de potencialidad se ha realizado por intervalos de valores aprovechando que la reclasificación facilita una interpretación rápida de los valores. El límite superior del primer intervalo lo establece el mínimo valor de una salina (Salina de Armillas; 221212). Todos los píxeles que presentan un valor inferior a 221212 son considerados como No Aptos. Este intervalo asegura que para que una celda sea considerada como apta, presente al menos unas condiciones geológicas, de insolación y de temperaturas estivales favorables (22#2##). El siguiente intervalo, Probabilidad Baja, viene determinado por el valor 222222, condiciones favorables en todas las variables. El límite entre la Probabilidad Media y la Probabilidad Alta lo marca el valor 223222 que da gran importancia a las condiciones de precipitaciones sobre una base favorable en las variables de geología e insolación. Por último el valor que marca el cambio de Probabilidad Alta a Óptima es 232222 que exige una insolación óptima y unos valores al menos favorables para el resto de variables (Anexo IX).

#### 4.5. Cartografías de potencialidad productiva de la Edad del Hierro

Siguiendo la misma metodología empleada para la realización de la cartografía de potencialidad relativa a la segunda mitad del siglo XX, se han realizado un total de seis cartografías de potencialidad, que se corresponden con los diferentes períodos dentro de la Edad del Hierro, para las que existe información cuantitativa (Tabla 3).

La reclasificación de los rásters con valores correspondientes a la Edad del Hierro se basó en los mismos umbrales (valor mínimo, máximo y media) obtenidos a partir de los valores de las salinas localizadas y descritos en el apartado anterior. Tras la reclasificación se obtuvieron los rásters que integran los valores reclasificados de cada periodo mediante su suma en la calculadora ráster. Finalmente, el ráster se clasificó por intervalos siguiendo de nuevo los umbrales establecidos para la cartografía de la segunda mitad del siglo XX de manera que todos los mapas resultantes pudieran ser comparados (Anexo VIII).

### 5. RESULTADOS

Los objetivos planteados han sido alcanzados. La documentación bibliográfica, la obtención de los datos de partida, su integración en un SIG, la elección de las funciones de análisis pertinentes y el cálculo de las variables influyentes en la producción de sal por evaporación solar han permitido cuantificar los umbrales límite en las condiciones de producción beneficiando la plasmación de ello en una cartografía de potencialidad productiva de sal mediante la evaporación solar en el Territorio montañoso de la Celtiberia Histórica tanto para la Edad del Hierro como para la segunda mitad del siglo XX (Anexos X-XVI). Esta cartografía permite conocer la potencialidad de las diferentes zonas del área de estudio en los diversos momentos cronológicos de la Edad del Hierro para los que existen datos cuantitativos.

De la comparación entre cartografías se extrae que las diferencias entre posibilidad de producción en términos de superficie son mínimas durante todo la Edad del Hierro –30 km<sup>2</sup>– pero especialmente reducidas a partir del siglo VI a. C. Las condiciones más propicias se dan en la primera mitad de los siglos V y IV a. C. dado que presentan la mayor superficie con posibilidad de producción (2.265 km<sup>2</sup>). Sin duda, las temperaturas medias estivales más elevadas y el descenso de las precipitaciones conformaron un periodo más favorable que en siglos anteriores y posteriores. Cabe destacar que únicamente la fuerte variación térmica (▼1,8° C) del siglo VIII a. C. marca considerables diferencias entre en el total de área potencialmente productiva del primer milenio a. C.

Las variaciones en las precipitaciones estivales de la Edad del Hierro no alcanzan suficiente entidad como para variar significativamente el tamaño del área total potencialmente productivo como denota la comparación entre las estimaciones para el siglo VI a. C. (coeficiente de precipitaciones 1,4 y temperatura ▼0,4° C) y los siglos III-I con variación en la temperatura de 0,3° C (coeficiente de precipitaciones 1,2).

Si se comparan los datos para períodos con la misma variación de precipitaciones estimadas, siglo VIII a. C. y siglo VI a. C. por un lado y siglos V al III a. C. por otro, se observa que las variaciones térmicas se presuponen ligeramente más influyentes que las relativas a las precipitaciones.

Por último, cabe destacar que el periodo de mayor dificultad productiva de los estudiados es precisamente aquel sobre el que contamos con más información, y que ofrece menor número de precipitaciones y mayor temperatura media estival, la segunda mitad del siglo XX d.C. Esta contradicción sólo se explica si tenemos en cuenta los menores valores de insolación de estos momentos respecto de los referidos al primer milenio a. C. Esto es indicativo de la importancia de esta variable en la potencialidad productiva.

**Tabla 10.** Áreas totales ( $\text{km}^2$ ) según potencialidad productiva

Producción	s.VIII a. C.	s.VI a. C.	1 <sup>a</sup> mitad ss.V y IV a. C.	2 <sup>a</sup> mitad ss.V y IV a. C.	s.III-I a. C. (▼0,6°C)	s.III-I a. C. (▼0,3°C)	2 <sup>a</sup> mitad s.XX d.C.
Possible	2235	2263	2265	2254	2261	2263	2219
No possible	61683	61655	61653	61664	61657	61655	61699

Si entramos en las diferencias internas dentro de las áreas potencialmente productivas (Tabla 11), se observa que pese a ser el periodo con menos superficie apta para la producción, la segunda mitad del siglo XX d.C. es el periodo con mayor superficie con potencial óptimo  $-1177 \text{ km}^2$ . Durante la Edad del Hierro, la primera parte del siglo V y del siglo IV a. C. son los periodos con mayor potencial óptimo presentando valores muy similares a los del resto del periodo Subatlántico. Hay grandes diferencias entre las áreas de potencial alto entre el periodo Subboreal y el Subatlántico. En los siglos VIII a. C. y VI a. C. existe gran divergencia entre la magnitud de las superficies de potencialidad alta y óptima mientras que desde el siglo V a. C. hasta el cambio de era, el número de  $\text{km}^2$  de una y otra categoría están más equilibrados. Algo similar aunque menos acentuado ocurre respecto a las categorías media y baja.

Dentro de las diferencias internas entre los periodos Subboreal y Subatlántico. En otras palabras, atendiendo a la influencia de las variaciones en la temperatura, las diferencias son muy reducidas.

Todo ello indica la considerable incidencia del régimen de precipitaciones en el potencial productivo del área de estudio.

**Tabla 11.** Área ( $\text{km}^2$ ) según niveles de potencialidad

Potencial	s.VIII a. C.	s.VI a. C.	1 <sup>a</sup> mitad ss.V y IV a. C.	2 <sup>a</sup> mitad ss.V y IV a. C.	s.III-I a. C. (▼0,6°C)	s.III-I a. C. (▼0,3°C)	2 <sup>a</sup> mitad s.XX d.C.
Bajo	592	616	368	366	369	369	83
Medio	141	145	337	329	333	335	439
Alto	1380	1377	739	750	746	743	520
Óptimo	122	125	820	809	813	816	1177
Total	2235	2263	2264	2254	2261	2263	2219

Tras un análisis general de los resultados, es conveniente examinar cómo estos datos se distribuyen espacialmente. Podemos distinguir tres zonas dentro del área de estudio.

Por un lado, contamos con la zona norte que administrativamente se corresponde con La Rioja. Este sector presenta una potencialidad durante la Edad del Hierro fundamentalmente baja aunque con el paso a las condiciones más secas de los últimos siglos del primer milenio a. C. las zonas más septentrionales mejoran hasta alcanzar potencialidad media gracias en buena medida a su menor altitud.

El sector central del área de estudio es el más interesante desde el punto de vista productivo. Se trata de las zonas de contacto entre la provincia de Soria y la de Guadalajara, y las provincias de Zaragoza y Teruel. Es especialmente interesante la parte más occidental. En concreto la zona arraciense de Atienza y Sigüenza. Estos territorios presentan la mayor concentración de salinas localizadas del área de estudio. En un área de 254 km<sup>2</sup> encontramos 10 salinas. La potencialidad en este sector central varía entre un equilibrio entre la media y alta durante los siglos VIII-VI a. C., hasta el predominio de la potencialidad óptima frente a la alta con escasa presencia de la potencialidad media a partir del siglo V a. C. Es preciso reseñar que esa área occidental del sector central del área de estudio en el que en el siglo XX abundan las explotaciones salineras, presenta condiciones óptimas incluso en los momentos en los que las condiciones son menos idóneas como en el siglo VIII a. C.

Por último tenemos el sector meridional del área de estudio integrado *gross modo* por el noreste de la provincia de Cuenca, el sur de Teruel y los municipios más occidentales de Castellón y Valencia. Se trata de la zona que presenta más heterogeneidad probablemente por su compleja orografía. Durante los siglos VIII-VI a. C. potencialidad media y alta están equilibradas y los valores óptimos aparecen en algunas áreas occidentales. Durante los siglos V-I a. C. la mejora en las condiciones permite un incremento en la presencia de las zonas óptimas en detrimento de las de alta potencialidad y un descenso de la potencialidad baja en favor de la media.

En cuanto a la distribución espacial de la potencialidad en el siglo XX hay que destacar el dominio de la potencialidad óptima en el sector septentrional y sobre todo en el central. Si bien es el momento cronológico en el que menos superficie del área de estudio es apta para la producción de sal por evaporación solar, es el periodo con mayor potencialidad óptimo. Este hecho puede ser indicativo de que la mejora en las condiciones de temperatura y precipitaciones y la disminución de la insolación ha podido provocar una tendencia a extremar la potencialidad productiva, de manera que las superficies con buenas condiciones durante la Edad del Hierro son durante el siglo XX zonas con mayores posibilidades productivas y aquéllos lugares con condiciones no demasiado favorables antes del cambio de era son zonas de baja potencialidad o no aptos durante la segunda mitad del siglo XX.

Un último aspecto que cabe reseñar es el escaso número de salinas localizadas en la parte occidental del sector sur. Algo que resulta extraño a tenor del predominio de las superficies con potencialidad óptima. Por ello, esta zona resulta interesante en cuanto a la localización de salinas recogidas en la bibliografía pero cuyo emplazamiento exacto es en la actualidad desconocido. Esto adquiere considerable importancia dado que repercute muy positivamente en la gestión de programas de puesta en valor como el que se está llevando a cabo en Castilla La Mancha (Proyecto Etnosal) y en la puesta en marcha de nuevos proyectos de recuperación del patrimonio histórico.

## 6. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Mediante la documentación bibliográfica, consulta de Infraestructuras de Datos Espaciales y de otras fuentes de datos como la Agencia Española de Meteorología se ha obtenido la información necesaria para cuantificar las condiciones necesarias en la producción de cloruro sódico por evaporación solar en el Territorio Montañoso de la Celtiberia Histórica. Esto ha sido posible gracias a la capacidad de los Sistemas de Información Geográfica de aglutinar y operar con datos de diferente naturaleza y provenientes de diferentes fuentes. Los resultados obtenidos son el fruto de un proceso de análisis de la realidad geográfica. La primera etapa del proceso la ocupa la definición de objetivos concisos que determinan la obtención de los datos necesarios para alcanzar tales objetivos mediante una serie de métodos concretados en la aplicación de funciones implementadas en el *software*. Los resultados crean conocimiento. En este caso en concreto permiten descubrir estructuras espaciales, asociaciones y relaciones entre datos. Ejemplo de ello es que el análisis informa de que la mayor concentración de salinas históricas se encuentran en un área de aproximadamente 254 km<sup>2</sup> y además explica la razón de ello. Tal área reúne las mejores condiciones geológicas, climatológicas y topográficas del área de estudio incluso cuando las condiciones sufren variaciones como las que se estiman para el primer milenio a. C.

El análisis también permite orientar la toma de decisiones. Si bien, el presente trabajo representa únicamente la primera fase de un análisis que integre información arqueológica como el poblamiento

prehistórico o las líneas de comunicación y otras de cáliz geológico como la salinidad de algunas sur-  
gencias saladas, los resultados están indicando qué lugares *a priori* tienen más posibilidad de ofrecer  
resultados en una ulterior prospección arqueológica ya que señalan algunas zonas como óptimas para  
la producción de cloruro sódico por evaporación solar.



**Figura 12.** Proceso de análisis

El periodo cronológico estudiado más apto para la producción de sal por evaporación solar en términos de superficie es la primera mitad del siglo V a. C. y del siglo IV a. C. con  $2.265\text{ km}^2$  de superficie apta. Sin embargo no existen grandes diferencias entre períodos a este respecto. La mayor diferencia estimada para la Edad del Hierro son  $30\text{ km}^2$ , teniendo en cuenta la estimación para la segunda mitad del siglo XX d.C. la diferencia se amplia a  $46\text{ km}^2$ . Esto es fruto de la disminución de la insolación, dado que las condiciones de temperatura y precipitaciones son más favorables.

El periodo menos favorable de la Edad del Hierro para la actividad salinera es el siglo VIII a. C. dado el mayor número de  $\text{km}^2$  no aptos con  $66183 \text{ km}^2$ . Además, este periodo es el que presenta la menor superficie óptima  $122 \text{ km}^2$ .

La influencia de la precipitación se hace patente en la comparación entre las cartografías del Subboreal y el Subatlántico, especialmente aquella con variación mínima en la temperatura –siglo VI a. C. y siglos I a. C. ▶0,3– El cambio a condiciones menos húmedas se refleja en las cartografías de manera cualitativa, especialmente en el sector central y sur en el que gran parte de la superficie con potencialidad alta en condiciones húmedas pasa a potencialidad óptima en momentos más áridos.

Al margen de la insolación, de las precipitaciones y de la variable geológica que es excluyente en cuanto marca la presencia de materia prima. El resto de variables tiene una incidencia muy limitada como indican las mínimas diferencias entre mapas con el mismo régimen de precipitaciones.

Espacialmente, los sectores central y sur son los más benignos para el proceso productivo independientemente del momento cronológico por lo que dependiendo de las posibilidades, la prospección arqueológica deberá centrarse en esas zonas.

Para finalizar y a modo de reflexión, es preciso señalar algunas advertencias en cuanto a la validez del modelo. Los problemas de modelización de variables para un periodo cronológico para el que hay escasez de datos requiere tomar los resultados con cautela. No en vano, como su título indica, este trabajo es una aproximación a la potencialidad productiva.

Resulta imposible modelizar variables como el viento sin datos y difícil concretar con exactitud otras como la altitud y las pendientes para momentos pasados. En el caso de éstas últimas, las imprecisiones que se presuponen de extrapolar un MDE actual del área de estudio, se matizan y en cierto modo minimizan por el menor peso que se ha dado a estas variables en la clasificación de potencialidad final.

No se puede dejar de hacer referencia a la variable geológica, variable de extrema importancia pero que presenta algunas imprecisiones ya que la definición de zonas con geología favorable se ha realizado en base a la cartografía geológica disponible. En concreto 1:50000 de la serie MAGNA que diferencia pisos dentro del Triásico Superior –Carniense y Noriense. Estas edades efectivamente corresponden a la facies Keuper, que como formación evaporítica es profusa en sales pero no menos abundante en otros materiales tales como arcillas, yesos o lutitas. Por ello, hay que tener en cuenta que

en áreas consideradas como aptas bajo el criterio geológico no tiene porqué existir necesariamente cloruro sódico.

Por todo ello, los resultados de este análisis deben tomarse *cum grano salis*, especialmente si, como se ha señalado anteriormente, este trabajo representa sólo la base sobre la cual se integrarán otros datos de carácter arqueológico y geológico que permitan obtener nuevas conclusiones acerca de la producción de sal durante la Edad del Hierro. En cualquier caso, la validez del análisis será determinada por la prospección arqueológica. En especial en los resultados que eventualmente se obtengan en la localización de salinas documentadas cuya ubicación exacta es desconocida.

## BIBLIOGRAFÍA:

- Abarquero Moras, F. J.; Guerra Doce, E.; Delibes De Castro, G.; Palomino Lázaro, A. L. y Val Recio, J. Del (2010): “Excavaciones en los «cocederos» de sal prehistóricos de Molino Sanchón II y Santioste (Villafáfila, Zamora)”. En Abarquero Moras, F. J. y Guerra Doce, E. (eds): *Los yacimientos de Villafáfila (Zamora) en el marco de las explotaciones salineras de la prehistoria europea*. Actas de la VII Bienal de la Restauración y Gestión del Patrimonio, Valladolid, 2010, pp. 85-118.
- Alba Molina, R. y Aso Pérez, C. (2003): “Historia y técnica de una obra pública singular. Las salinas de Armallá (Provincia de Guadalajara)”, *Cimbra: Revista del Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas*, 351, 99.22-31.
- Alexianu, M. T.; Weller, O. y Brigand, R. (2007): “Approche ethnoarchéologique de l’exploitation des sources sales de Moldavie: les enquêtes récentes”. En N. Morère (Ed.) *Las salinas y la sal de interior en la Historia: Economía, medioambiente y sociedad*, Actas del Congreso Internacional de Sigüenza coord. por Nuria Morère Molinero, Vol. 1, pp. 407-434.
- Alonso Villalobos, C.; Gracia Prieto, F. J. y Menanteau, L.; (2003): “Las salinas de la Bahía de Cádiz durante la Antigüedad: visión geoarqueológica de un problema histórico” SPAL: Revista de prehistoria y arqueología de la Universidad de Sevilla, nº 12, pp. 317-332.
- Ángeles, G. R., Peña Monné, J. L. y Longares, L. A. (2004): “Cartografías de reconstrucción paleoambiental y riesgo geomorfológico del Holoceno Superior en el valle del río Huerva (Depresión del Ebro)”. En *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*, eds. Peña Monné, J. L., Longares, L. A. y Sánchez Fabre, M., Departamento de Geografía. Universidad de Zaragoza, Zaragoza.
- Arenas Esteban, J. y Martínez Naranjo, J. (1999): “La explotación de la sal durante la Edad del Hierro en el Sistema Ibérico”. En Burillo, F. (dir.): *IV Simposium sobre los Celtíberos. Economía*. Institución Fernando el Católico, Zaragoza.
- Arroyo Ilera, R. (1961): “La sal en Aragón y Valencia durante el reinado de Jaime I”, Saitabi, XI, pp. 253-262.
- Bartolomé, M., Moreno, A., Sancho, C., Hellstrom, J. y Belmonte, A. (2011): “Cambios climáticos cortos en el Pirineo central durante el final del Pleistoceno superior y el Holoceno a partir del registro estalagmítico de la cueva de Seso (Huesca)”, *Geogaceta*, 51.
- Beltrán Costa, O. (2007): “Las técnicas tradicionales en las salinas de interior”. En N. Morère (Ed.) *Las salinas y la sal de interior en la Historia: Economía, medioambiente y sociedad*, Actas del Congreso Internacional de Sigüenza coord. por Nuria Morère Molinero, Vol. 2, pp. 899-923.
- Berger, A. y Loutre, M.F. (1991): “Insolation values for the climate of the last 10 million years”, *Quaternary Science Reviews*, 10, pp.297-317
- Büntgen, U., Tegel, W., Nicolussi, K., Frank, D., Trouet, V., Kaplan, J.O., Herzig, F., Heussner, K-U., Wanner, H., Luterbacher, J. y Esper, J. (2011). “2500 Years of European Climate Variability and Human Susceptibility.” *Science*, 331, pp.578-582.

- Burillo Mozota, F., Gutiérrez Elorza, M. y Peña Monné, J. L. (1985): "Las acumulaciones holocenas y su datación arqueológica en Mediana de Aragón (Zaragoza)", *Cuadernos de Investigación Geográfica*, XI (1-2), pp.193-207.
- Burillo Mozota, F. (inédito): "Instituto Universitario de Investigación (CeDeRuPa). Celtiberia Desarrollo Rural y Patrimonio".
- Carrasco, J-F. y Hueso Kortekaas, K. (2006): "Etnosal, un intento de recuperar la memoria salinera de Castilla-La Mancha", *Oppidum*, 2, pp. 85- 106.
- Carrasco, J-F. y Hueso Kortekaas, K. (2008): "Realización de un censo de las salinas de Castilla – La Mancha", *A articulação do sal portugués aos circuitos mundiais - Antigos e novos consumos*, Porto, pp. 291-298.
- Cerdeño M. L. y Pérez De Inestrosa, L. (1992): "La explotación de sal en época celtibérica en la región de Sigüenza (España)", *Actes du Colloque International du sel. Salies-de-Béarn*, pp.167-175.
- Constante Orrios, A., Peña Monné, J. L., Muñoz, A. y Picazo, J. (2010): "Climate and anthropogenic factors affecting alluvial fan development during the late Holocene in the central Ebro Valley, northeast Spain", *Holocene*, 21 (2), pp.275-286.
- Constante Orrios, A., Dossche, R., Peña Monné, J. L., Sancho Marcén, C. y De Dapper, M. (2009): "Holocene Evolution and Geoarchaeology in the Ebro Valley around Zaragoza (Northern Spain)". En De Dapper, M., Vermeulen, F., Deprez, S. y Taelman, D. *Ol'man river Geoarchaeological aspects of rivers and river plains*, eds., Akademia Press, Ghent, pp. 241-256.
- Davis, B.A.S. (1994): Paleolimnology and Holocene environmental change from endorheic lakes in the Ebro Basin, north-east Spain. Ph. D. Thesis, University of Newcastle upon Tyne.
- Espinar, C. y Voltas, J. (2009): "El marco paleoclimático. Aproximación a partir del análisis de isótopos estables en carbonos de especies forestales". En *Los poblados del Bronce Final y Primera Edad del Hierro: Cabezo de la Cruz, La Muela, Zaragoza*, eds. Picazo Millán, J. V. y Rodanés Vicente, J. M., Gobierno de Aragón, Departamento de Educación, Cultura y Deporte, Zaragoza, pp. 100-107.
- Fíguls, A.; Weller, O.; Bonache, J. y González, J. (2007): "El método de producción minera durante el Neolítico Medio en la "Vall Salina" de Cardona (Cataluña, España). Estudio del utensilio lítico y prácticas experimentales de explotación minera en N. Morère (Ed.) *Las salinas y la sal de interior en la Historia: Economía, medioambiente y sociedad*, Actas del Congreso Internacional de Sigüenza coord. por Nuria Morère Molinero, Vol. I, pp.73-99.
- Fíguls, A.; Weller, O. y Grandía, F. (2010): "La «Vall Salina» de Cardona: los orígenes de la minería de la sal gema y las transformaciones socioeconómicas en las comunidades del neolítico medio catalán". En Abarquero Moras, F. J. y Guerra Doce, E. (eds): *Los yacimientos de Villafáfila (Zamora) en el marco de las explotaciones salineras de la prehistoria europea*. Actas de la VII Bienal de la Restauración y Gestión del Patrimonio, Valladolid, pp. 49-84.
- Font Tullot, I. (1988): *Historia del clima de España. Cambios climáticos y sus causas*. Instituto Nacional de Meteorología. Madrid.
- Fu, P. (2000): *A Geometric Solar Radiation Model with Applications in Landscape Ecology*. Ph.D. Thesis, Department of Geography, University of Kansas, Lawrence, Kansas, EE.UU.
- Fu, P. y Rich, P.M. (2000): *The Solar Analyst 1.0 Manual*. Helios Environmental Modeling Institute (HEMI), EE.UU.
- Fu, P. y Rich, P.M. (2002): "A Geometric Solar Radiation Model with Applications in Agriculture and Forestry". *Computers and Electronics in Agriculture*, 37, pp.25-35.
- Guimera, J. (1988). "Rasgos principales de las estructuras compresivas y distensivas alpinas de los "iberides" orientales", II Congreso Geológico de España, Granada, 2, pp. 149-152.
- Gutiérrez, M. y Peña, J.L. (1992): "Evolución climática y geomorfológica del Holoceno Superior (Cordillera Ibérica, Depresión del Ebro y Pre-Pirineo)". En Ciarreta, A. y Ugarte, F.M. (Eds.): *Actas The Quaternary in the Western Pyrenean Regions*, Univ. del País Vasco, pp. 109-124.

- Hueso Kortekaas, K. y Carrasco, J-F. (2006): "Las salinas de interior, un patrimonio desconocido y amenazado". En *De Re Metallica*, 6-7, pp. 23-28.
- Ibáñez J. (1999): "Evolución de la potencialidad agrotérmica en la Celtiberia durante la Edad de Hierro". En Burillo Mozota, F. (coord): *Simposio sobre los celtíberos: Economía*, 4, pp.11-46.
- Jaime Lorén, J.M. De. (2004): "Censura a una censura de la *Geografía* de Isidoro de Antillón, con nuevas noticias sobre el gran geógrafo y liberal Turolense", *Cuadernos de Ilustración y Romantismo*, 12, pp. 79-106.
- Kutzbach, J.E. y Ruddiman , W.F. (1993): "Model description, external forcing and surface boundary conditions". En H.E. Wright, Jr, J.E. Kutzbach, T. Webb III, W.F. Ruddiman, F.A. Street-Perrott, and P.J. Bartlein, (Eds.), *Global Climates since the Last Glacial Maximum* University of Minnesota Press, Minneapolis, MN, pp. 12-23.
- Lamb, H. H. (1977): "Climate: Present, Past and Future", 2, *Climatic history and the Future*, Londres.
- Lotze, F. (1929): *Stratigraphie und tektonik des keltiberischen grundgebirges (Spanien)*, abh. ges. wiss. Göttingen, Math.-Phys. kl. [n.f.], 14, pp. 143-462. (Traducido al español en *Publ. Extr. Geol. Esp.*, 8, pp. 1-313).
- Magny, M. (1995): *Une histoire du climat. Des derniers mammouths au siècle de l'automobile*. Errance, Paris.
- Martín Domingo, F. (2009): "Las salinas de Ojos Negros", *Cuadernos del Baile de San Roque*, 22, pp. 61-72. Disponible en [www.xiloca.com/data/Bases%20datos/Cuadernos/C\\_22\\_61\\_72.pdf](http://www.xiloca.com/data/Bases%20datos/Cuadernos/C_22_61_72.pdf) revisado 3/11/2012 (Revisado 3/11/2012).
- Martínez Parra, M. y Alonso Marín, E. (2008): "Las salinas de interior de la provincia de Cuenca: una parte del Patrimonio Hidrogeológico y minero de España". En *De Re Metallica*, 10-11, pp. 57-67. Disponible en [http://www.sedpgym.es/descargas/Metallica/n10-11\\_57.pdf](http://www.sedpgym.es/descargas/Metallica/n10-11_57.pdf) (Revisado 3/11/2012)
- Mata Perelló, J.M. (2006): "Algunos datos para el conocimiento de las salinas ibéricas de Aragón". En *La explotación histórica de la sal: investigación y puesta en valor*, Ciempozuelos, SEHA, pp. 53-58.
- Mata Perelló, J.M., Restrepo Martínez, C. y Vilaltella Farrás, J. (2010): "Las salinas continentales, lagunas saladas y las fuentes saladas de la ibérica de Aragón" en *Primer Congreso Iberoamericano sobre Geología, Minería, Patrimonio y Termalismo (IV simposio ibérico)*, Ariño, 22-24 octubre, pp. 163-172.
- Mayewsky, P. A., Rohling, E. E., Stager, J. C., Karlén, W., Maasch, K. A., Meeker, L. D., Meyerson, E. A., Gasse, F., Kreveld, S. v., Holmgren, K., Lee-Thorp, J., Rosqvist, G., Rack, F., Staubwasser, M., Schneider, R. R. y Steig, E. J. (2004): "Holocene climate variability". En *Quaternary Research*, 62(3), pp. 243-255.
- Melendo Pomareta, J. (2010): "La sal y el Monasterio de Piedra en el Medievo". En *VIII Encuentro de Estudios Bilbilitanos, Calatayud 12, 13 y 14 de noviembre de 2010*, Tomo II, pp. 75-93.
- Menéndez Pérez, E. (2007): "La sal en América Latina: de la época colonial a la actualidad". En N. Morère (Ed.) *Las salinas y la sal de interior en la Historia: Economía, medioambiente y sociedad*, Actas del Congreso Internacional de Sigüenza coord. por Nuria Morère Molinero, Vol. 2, pp. 835-856.
- Monah, D. (2007): "Le sel dans la Préhistoire de la Roumanie". En N. Morère (Ed.) *Las salinas y la sal de interior en la Historia: Economía, medioambiente y sociedad*, Actas del Congreso Internacional de Sigüenza coord. por Nuria Morère Molinero, Vol. 1, pp. 121-164.
- Nenquin, J. (1961): *Salt. A study in Economic Prehistory*, *Dissertaniones Archaeologicae Gandenses VI*. Brugge.
- Orton, C.; Tyers, P. y Vince, A. (1997): *La cerámica en Arqueología*, Crítica, Barcelona, 309 pp.

- Peña Monné, J. L., Echeverría Arnedo, M. T., Petit-Maire, N. y Lafont, R. (1993): "Cronología e interpretación de las acumulaciones holocenas de la val de Las Lenas (Depresión del Ebro, Zaragoza)". En *Geographicalia*, 30, pp. 321-332.
- Peña Monné, J.L., Julián, A., Chueca, J. y Echeverría, M.T. (1998): "Los estudios geoarqueológicos en la reconstrucción del paisaje. Su aplicación en el valle bajo del río Huerva". En *Arqueología Espacial*, 19-20, pp. 169-183.
- Peña Monné, J. L., Julián, A., Chueca, J., Echeverría Arnedo, M. T. y Ángeles, G. R. (2004): "Etapas de evolución holocena en el valle del río Huerva: Geomorfología y Geoarqueología". En Peña Monné, J. L., Longares Aladrén, L. A. y Sánchez Fabre, M. (Eds), *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*, Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico, Zaragoza, pp. 289-302.
- Peña Monné, J. L., Sancho Marcén, C., Rubio Fernández, V. y Longares Aladrén, L. A. (2005). "Aportaciones desde la geomorfología y la geoarqueología al conocimiento de los paleoambientes holocenos del NE de España". En *A Geografia ibérica no contexto europeo (X Coloquio Ibérico de Geografía, 22-24 de Setembro de 2005 Évora)* Universidade De Evora, Évora.
- Peña Monné, J. L., Pérez Lambán, F., Picazo Millán, J. V. y Fanlo Loras, J. (2011): "Secuencias paleoclimáticas y Geoarqueología en laderas holocenas del Valle del río Huerva (Depresión del Ebro)". En Turu, V. y Constante Orrios, A. (Eds), *El Cuaternario en España y áreas afines. Avances en 2001 (Actas de la XIII Reunión Nacional del Cuaternario, Andorra, 4-7 de julio de 2011)*, AEQUA, M. Chevalier, Colegi de Tècnics en Ciències de la Terra d'Andorra, Andorra, pp.217-219.
- Plata Montero, A. (2006): El ciclo productivo de la sal y las salinas reales a mediados del siglo XIX, Vitoria-Gasteiz, Diputación Foral de Navarra, 310 pp.
- Plata Montero, A., Landa Esparza, M., Gómez Lasagabaster, J.I. (2008): "Salinas de Añana, Álava". En Vayá Carrasco, J.F., Hueso Kortekaas, K. (Coords.): *Los paisajes ibéricos de la sal. 1. Las salinas de interior*, Guadalajara, pp. 45-57. Disponible en: [www.ehu.es/arqueologiadelaarquitectura/portal/index.php/publicaciones/libros-y-monografias/134-plata-montero-a-landa-esparza-m-gomez-lasagabaster-ji-2008-salinas-de-anana-alava-vaya-carrasco-jf-hueso-kortekaas-k-coords-los-paisajes-ibericos-de-la-sal-1-las-salinas-de-interior-guadalajara-pp-45-57](http://www.ehu.es/arqueologiadelaarquitectura/portal/index.php/publicaciones/libros-y-monografias/134-plata-montero-a-landa-esparza-m-gomez-lasagabaster-ji-2008-salinas-de-anana-alava-vaya-carrasco-jf-hueso-kortekaas-k-coords-los-paisajes-ibericos-de-la-sal-1-las-salinas-de-interior-guadalajara-pp-45-57). (Revisado 5/11/2012)
- Polo Cutando, C. (Eds) (inédito): Catálogo plan general de ordenación urbana. Villel.
- Rich, P. M., Dubayah, R., Hetrick, W. A., y Saving. S. C. (1994): "Using Viewshed Models to Calculate Intercepted Solar Radiation: Aplicaciones en Ecología", *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers*, pp. 524-529.
- Rich, P. M. y Fu, P. (2000): "Topoclimatic Habitat Models". *Proceedings of the Fourth International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling*.
- Rubio Navas J. (1997): *Inventario Nacional de recursos minerales, de cloruro sódico y sales potásicas*, Madrid, ITGME, 455 pp.
- Rye, O. S. (1976): "Keeping your temper under control: materials and manufacture of Papuan pottery", *Archaeology and Physical Anthropology in Oceania*, nº 11 (2), pp. 106-137.
- Sáiz Alonso, E. (2001): Las salinas de Poza de la Sal. Excma. Diputación Provincial de Burgos, Burgos, 116 pp.
- Saz, M.A., Serrano Notivoli, R., De Luis Arrillaga, M. y Longares Aladrén, L.A. (2010): "Comparación de métodos de interpolación y de regresión para la cartografía de temperaturas máximas y mínimas absolutas: el caso de Navarra (Norte de España) en 2009". En Fernández F., et al. Clima, Ciudad y Ecosistemas. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Serie A, nº 7. Ediciones del Serbal, Barcelona, 586 pp.
- Schulten, A. (1959): *Geografía y Etnografía antiguas de la Península Ibérica*, Vol. II, Madrid, CSIC.

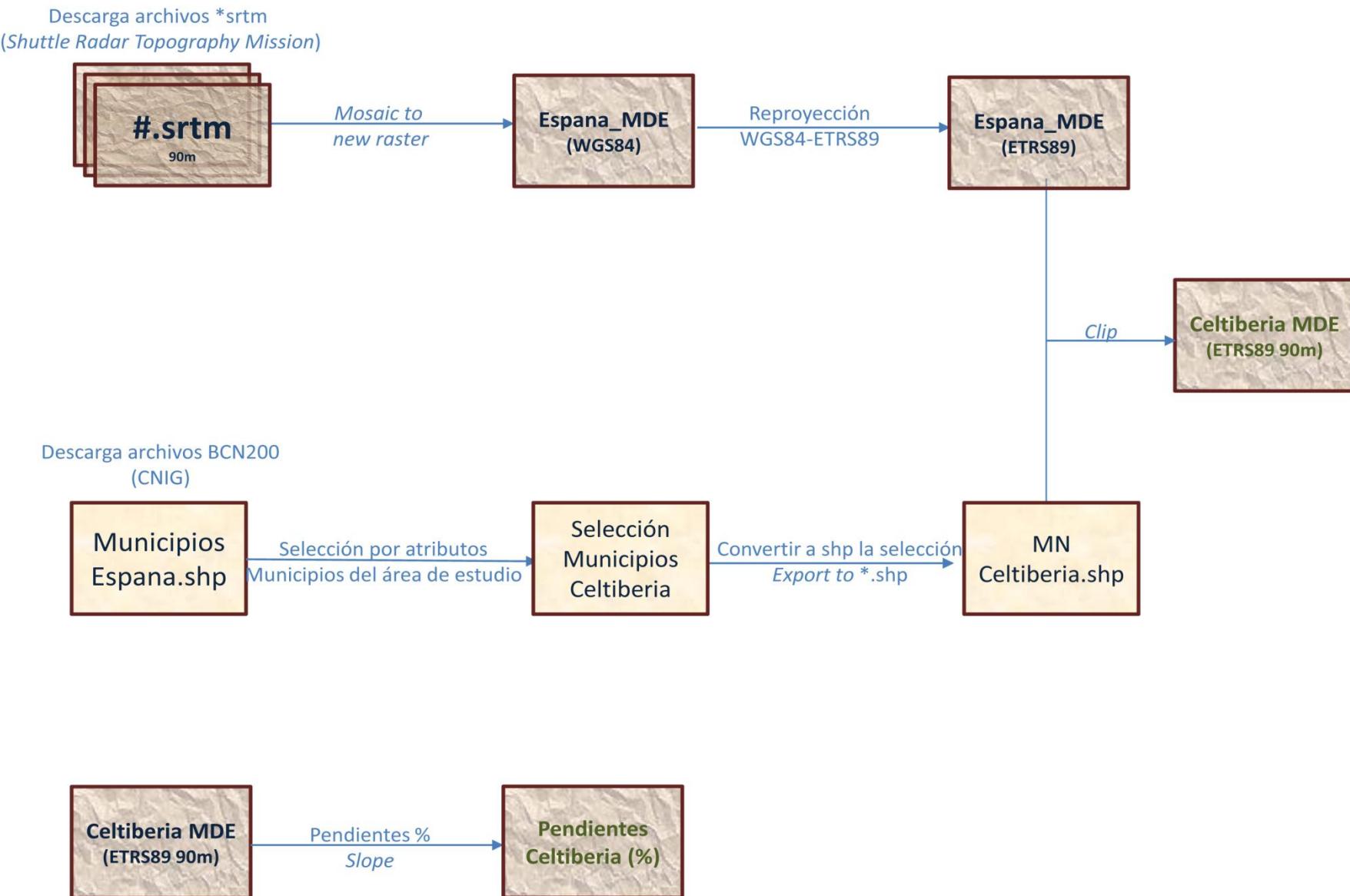
- Terán Manrique, J. (2011): “La producción de sal en la Prehistoria de la península ibérica: estado de la cuestión”. En *Arqueología y Territorio*, 8, pp. 71-84. Disponible en <http://www.ugr.es/~arqueologyterritorio/PDF8/Teran.pdf> (revisado el 31/10/2012)
- Terán Manrique, J. y Morgado Rodríguez, A. (En prensa): “La producción de sal en el sureste peninsular durante el calcolítico: las salinas de Fuente Camacho (Loja, Granada)”.
- Torres Martínez, J.F. (2010): “El medio ambiente en la “construcción” del territorio y la obtención de recursos en la Edad del Hierro en Cantabria”. En Mariano Luis Serna Gancedo, Antxoka Martínez Velasco, Virgilio Fernández Acebo (Coords), *Castros y castra en Cantabria: fortificaciones desde los orígenes de la Edad del Hierro a las guerras con Roma: catálogo, revisión y puesta al día*, Acanto, pp. 74-109.
- Trallero Sanz, A., Arroyo San José, J. y Martínez Señor, V. (2003): *Las Salinas de la Comarca de Atienza*, Tierra de Guadalajara, 41, AACHE, Guadalajara, 128 pp.
- Valiente Cánovas S. y Ramos P. (2009): “Las salinas de Espartinas: un enclave prehistórico dedicado a la explotación d la sal”. En SEHA (Ed.): *La explotación histórica de la sal: investigación y puesta en valor*, Actas I Congreso Internacional Salinas de Espartinas, Ciempozuelos, Madrid, pp. 167-182.
- Van Geel, B., Buurman, J. y Waterbolk, H.T. (1996): “Archaeological and palaeoecological indications of an abrupt climate change in The Netherlands, and evidence for climatological teleconnections around 2650 BP”, *Journal of Quaternary Science*, 11, pp. 451-460.
- Vera, J.A. (editor) (2004): *Geología de España*, SGE-IGME, Madrid, pp. 467-527.
- Vicente Serrano, S.M. y Saz, M.A. (2002): “Cartografía de precipitaciones y temperaturas en el valle medio del Ebro mediante la utilización de diferentes técnicas estadísticas”, *Geographicalia*, 42, pp. 73-92.
- Vicente Serrano, S.M., Saz, M.A. y Cuadrat, J.M. (2003): “Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro valley (Spain): application to annual precipitation and temperature”, *Climate Research* 24, pp.161–180.
- Weller, O. (2010): “Quelques grains de sel dans la Préhistoire européenne”. En Abarquero Moras, F. J. y Guerra Doce, E. (eds): *Los yacimientos de Villafáfila (Zamora) en el marco de las explotaciones salineras de la prehistoria europea*. Actas de la VII Bienal de la Restauración y Gestión del Patrimonio, Valladolid, pp. 17-36.

## RECURSOS ELECTRÓNICOS (revisados 29/10/2012):

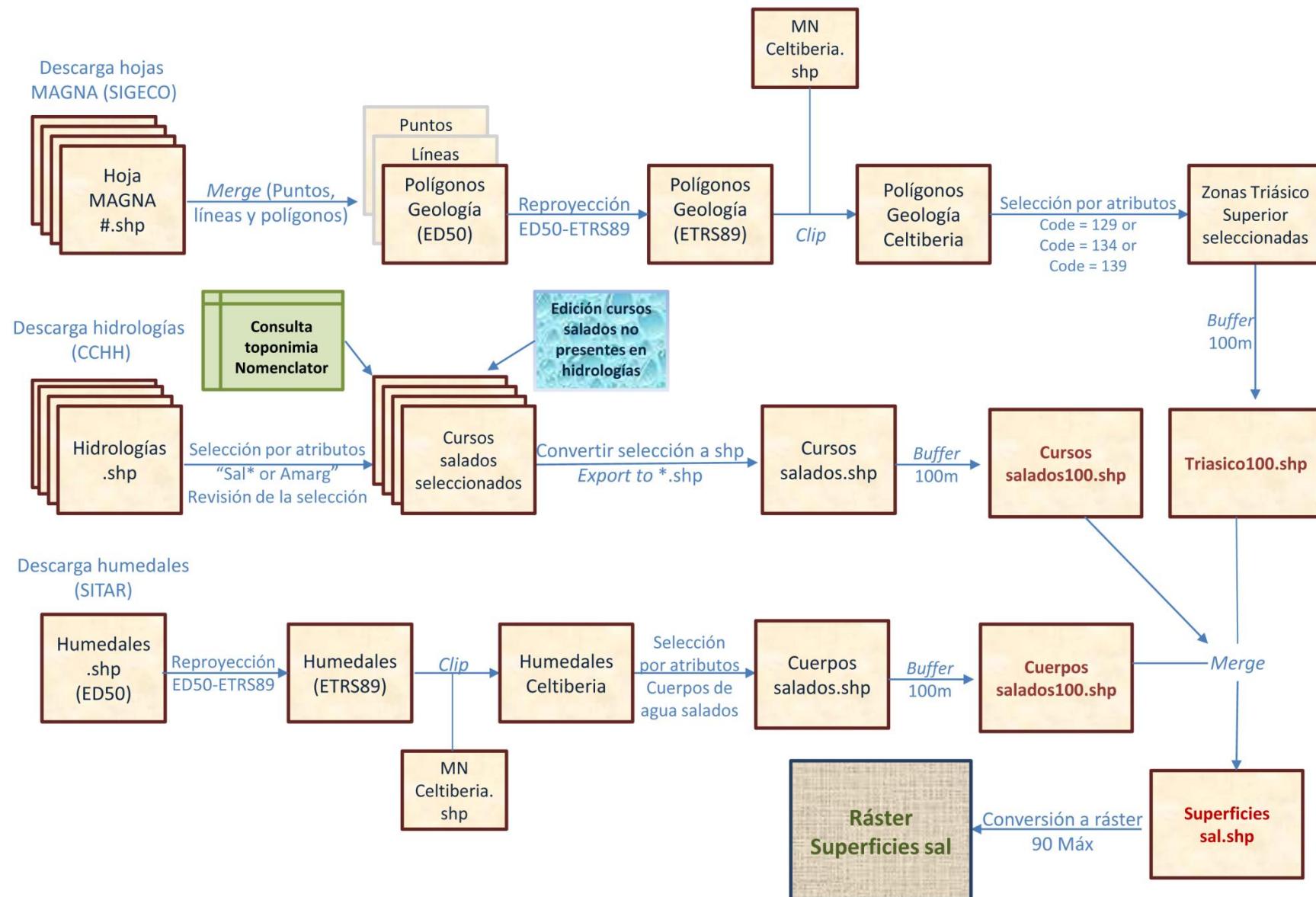
- Visor SIGPAC:
  - <http://sigpac.mapa.es/fea/visor/>
- Shuttle Radar Topography Mission de la NASA:
  - <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>
- Centro de descargas del CNIG:
  - <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/busadorCatalogo.do>
- SIGECO:
  - <http://cuarzo.igme.es/sigeco/default.htm>
- Nomenclátor Geográfico Conciso de España del Centro Nacional de Información Geográfica:
  - <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/equipamiento.do?method=descargarEquipamiento&codEquip=6>
- Servicio WMS de ortofotos (PNOA) del SITAR:
  - [http://sitarimagenes.aragon.es/ecwp/ecw\\_wms.dll?service=wms&ServiceName=AragonFotos&](http://sitarimagenes.aragon.es/ecwp/ecw_wms.dll?service=wms&ServiceName=AragonFotos&)
- Shapefile de Humedales de Aragón. Servicio descargas del SITAR:
  - <http://sitar.aragon.es/descargas-aragon.htm>

- *Shapefile* de hidrografía (Red fluvial 1:50000) de la cuenca del Ebro. Confederación Hidrográfica del Ebro:  
<http://oph.chebro.es/ContenidoCartoHidrologia.htm>
- *Shapefile* de hidrografía de la cuenca del Duero Confederación Hidrográfica del Duero a través del visor MIRAME:  
<http://www.mirame.chduero.es>
- *Shapefile* de hidrografía (Masas de agua superficial) de la cuenca del Tajo Confederación Hidrográfica del Tajo:  
<http://www.chtajo.es/Servicios/Paginas/DescargaDCapas.aspx>
- *Shapefile* de hidrografía (Red hidrográfica) de la cuenca del Guadiana Confederación Hidrográfica del Guadiana:  
<http://www.chguadiana.es/?chguadiana=394a0062ded1371ba43e6f85f87337ea&url=la+cuenca+hidrogr%E1fica+informaci%F3n+cartogr%E1fica+descarga+de+cartografi%EDa&corp=chguadiana&lang=es&mode=view>
- *Shapefile* de hidrografía (Aguas superficiales) de la cuenca del Júcar Confederación Hidrográfica del Júcar:  
<http://www.chj.es/es-es/medioambiente/sistemasdeinformacion/Paginas/ListaCartograficos.aspx>
- Base de datos del Banco Nacional de Datos de la AEMET:  
<ftp://ftpdatos.aemet.es/>

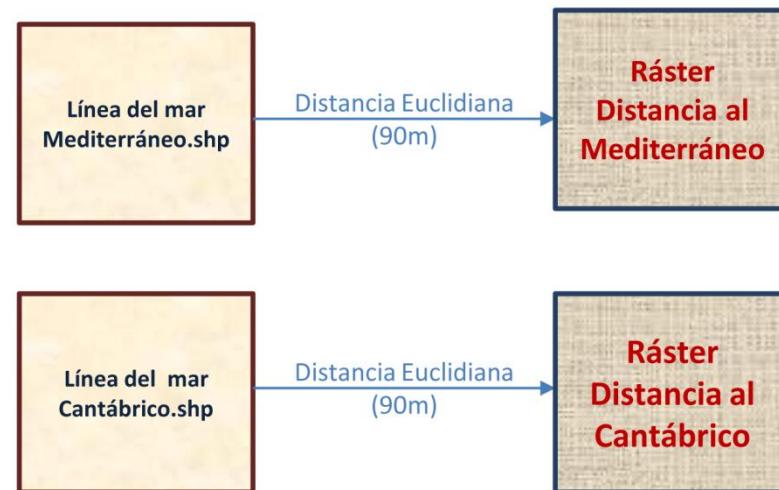
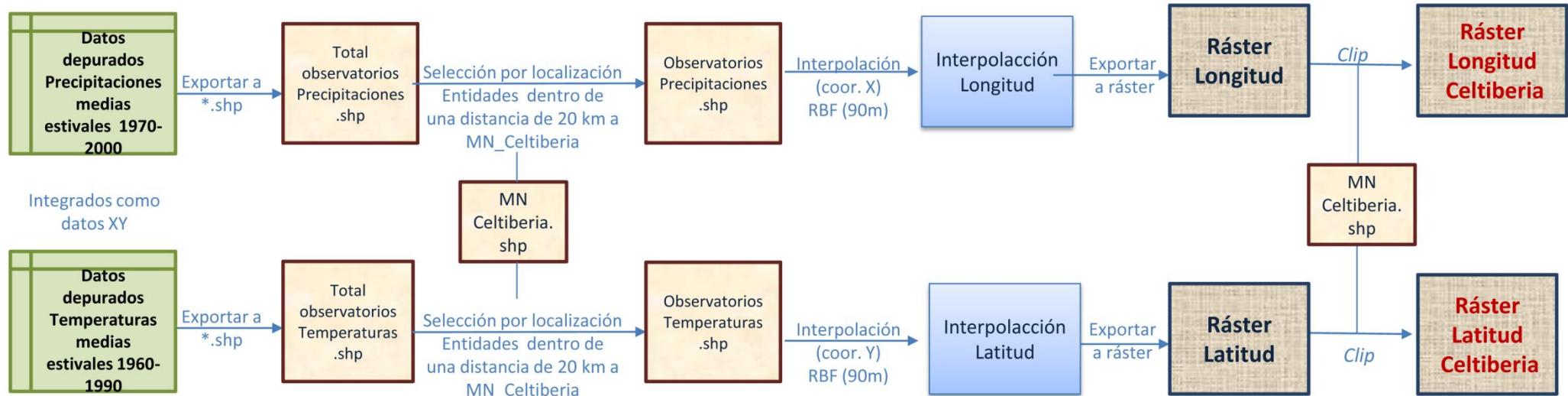
## Anexo I: Obtención de las variables topográficas: MDE y ráster de Pendientes

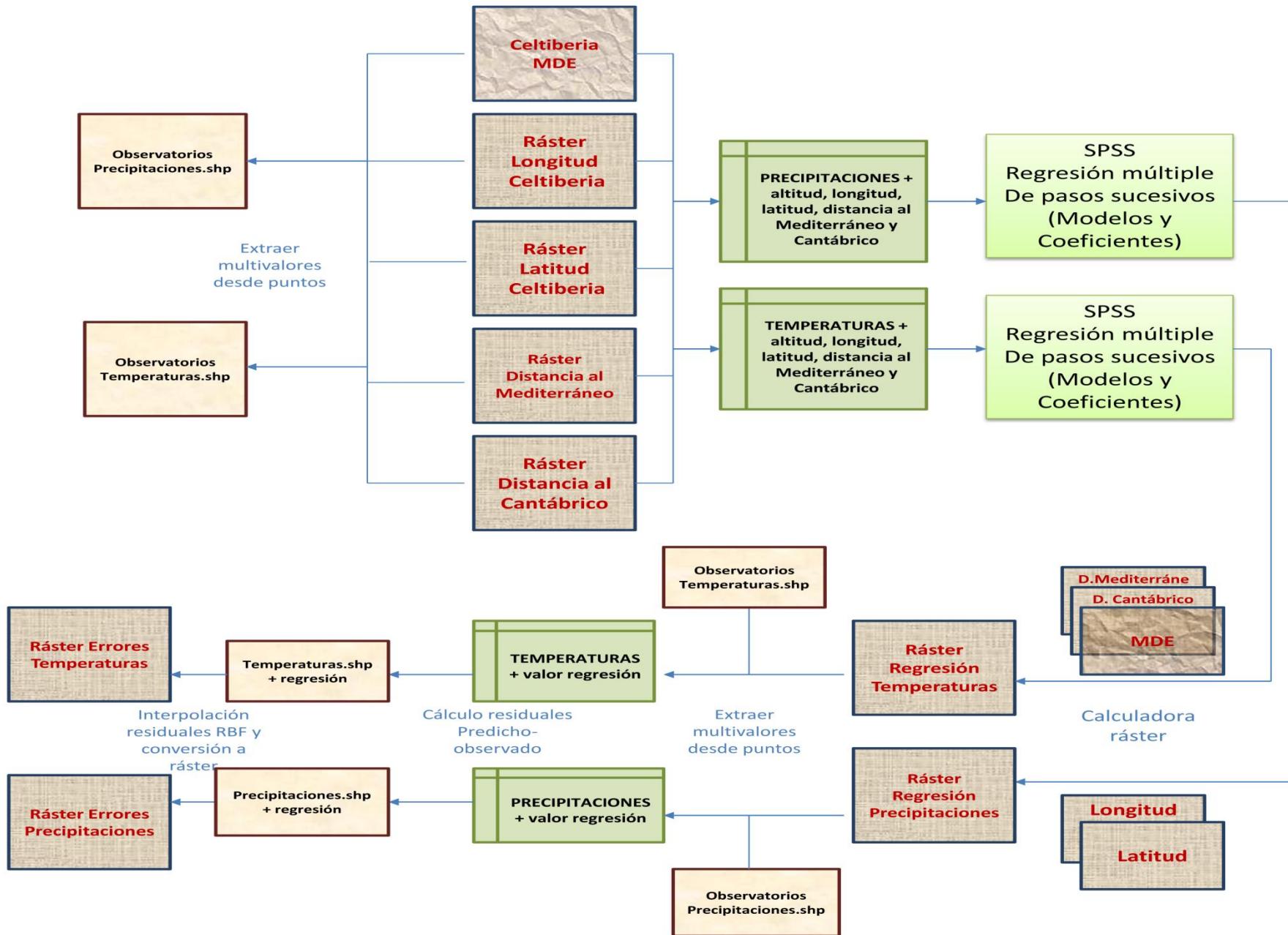


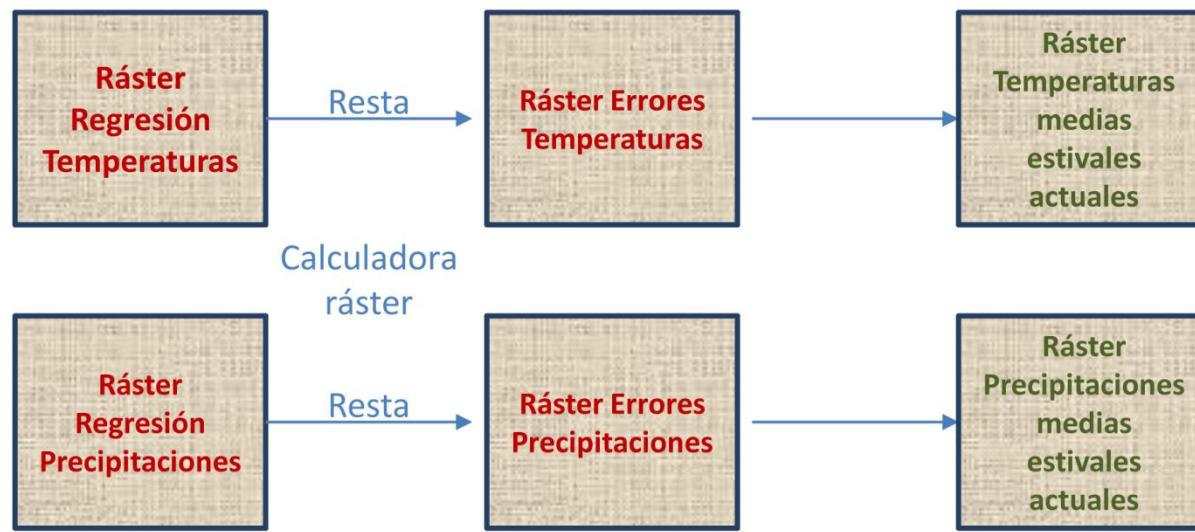
## Anexo II: Obtención de la variable geológica:

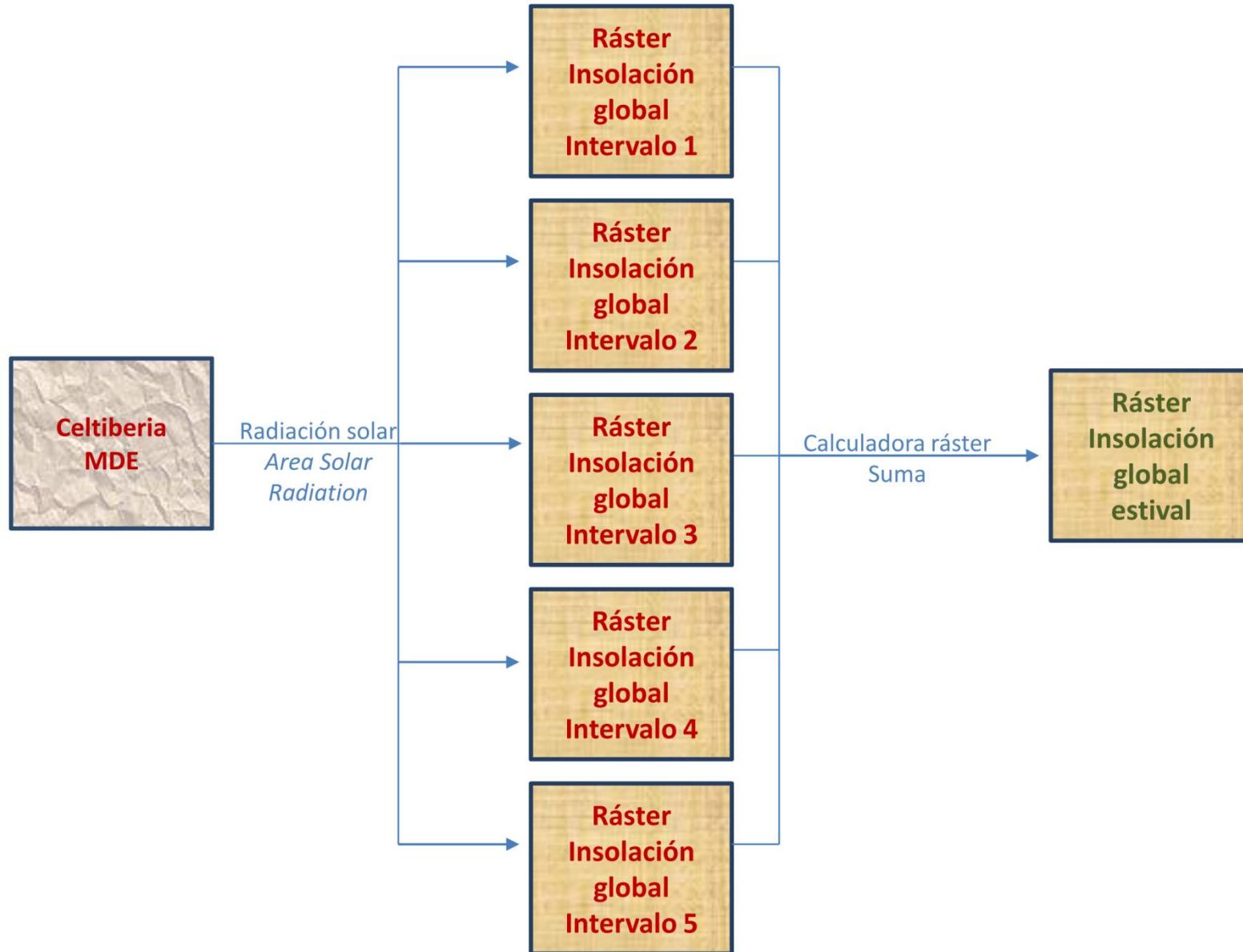


### Anexo III: Obtención de las variables climatológicas: precipitaciones, temperaturas e insolación

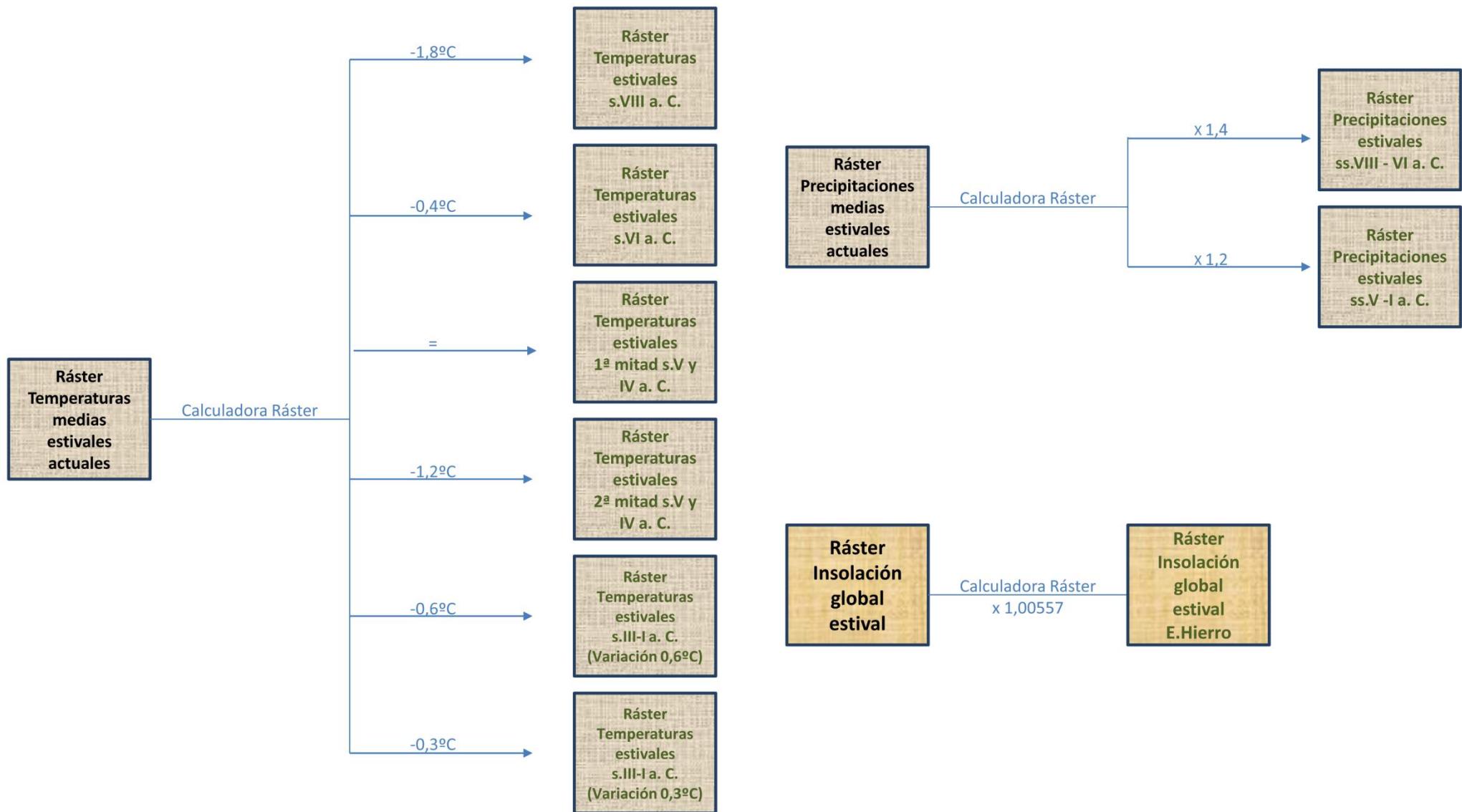




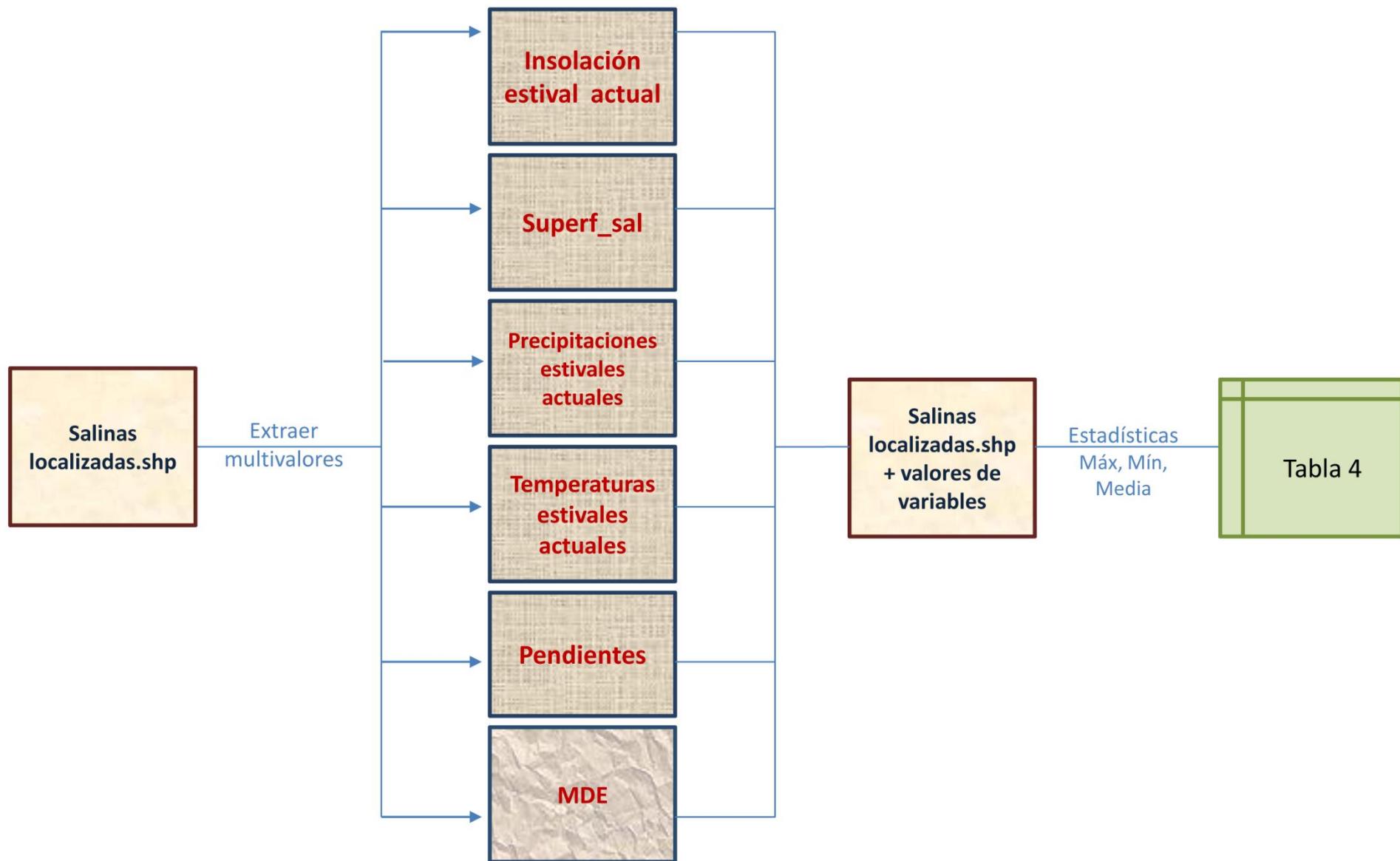




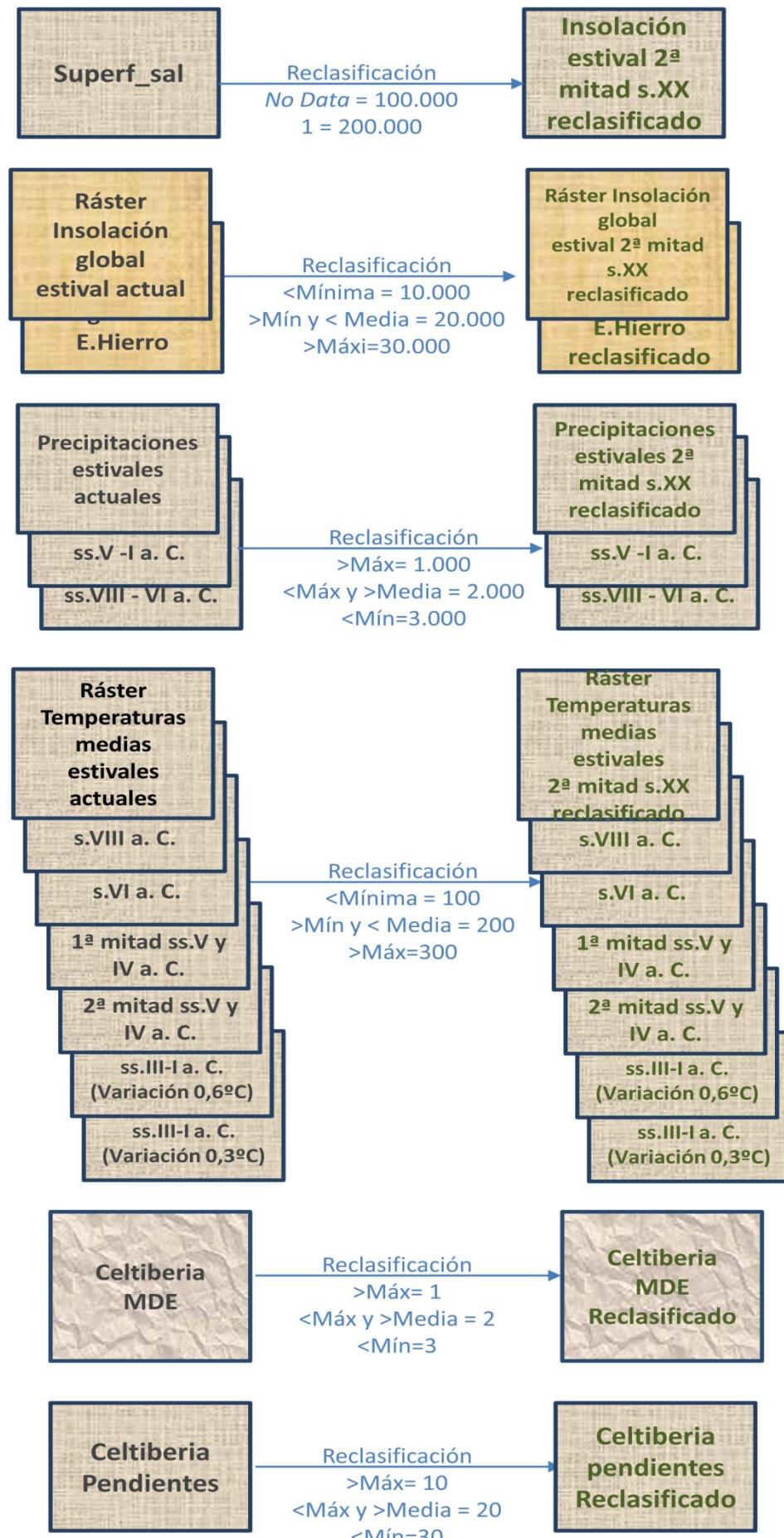
Anexo IV: Obtención de las variables climatológicas: precipitaciones, temperaturas e insolación de la Edad del Hierro



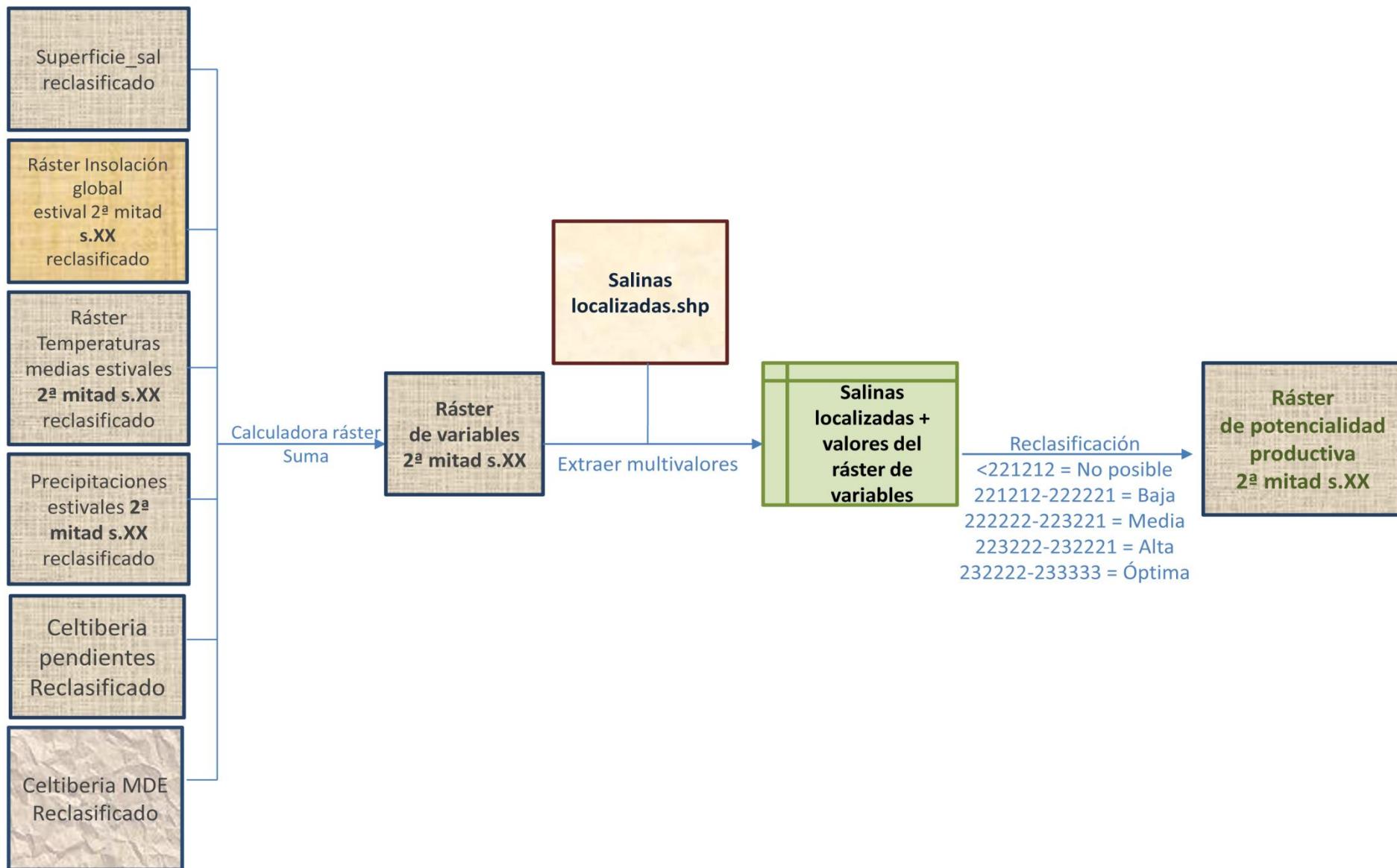
Anexo V: Extracción de valores de las salinas localizadas para las variables



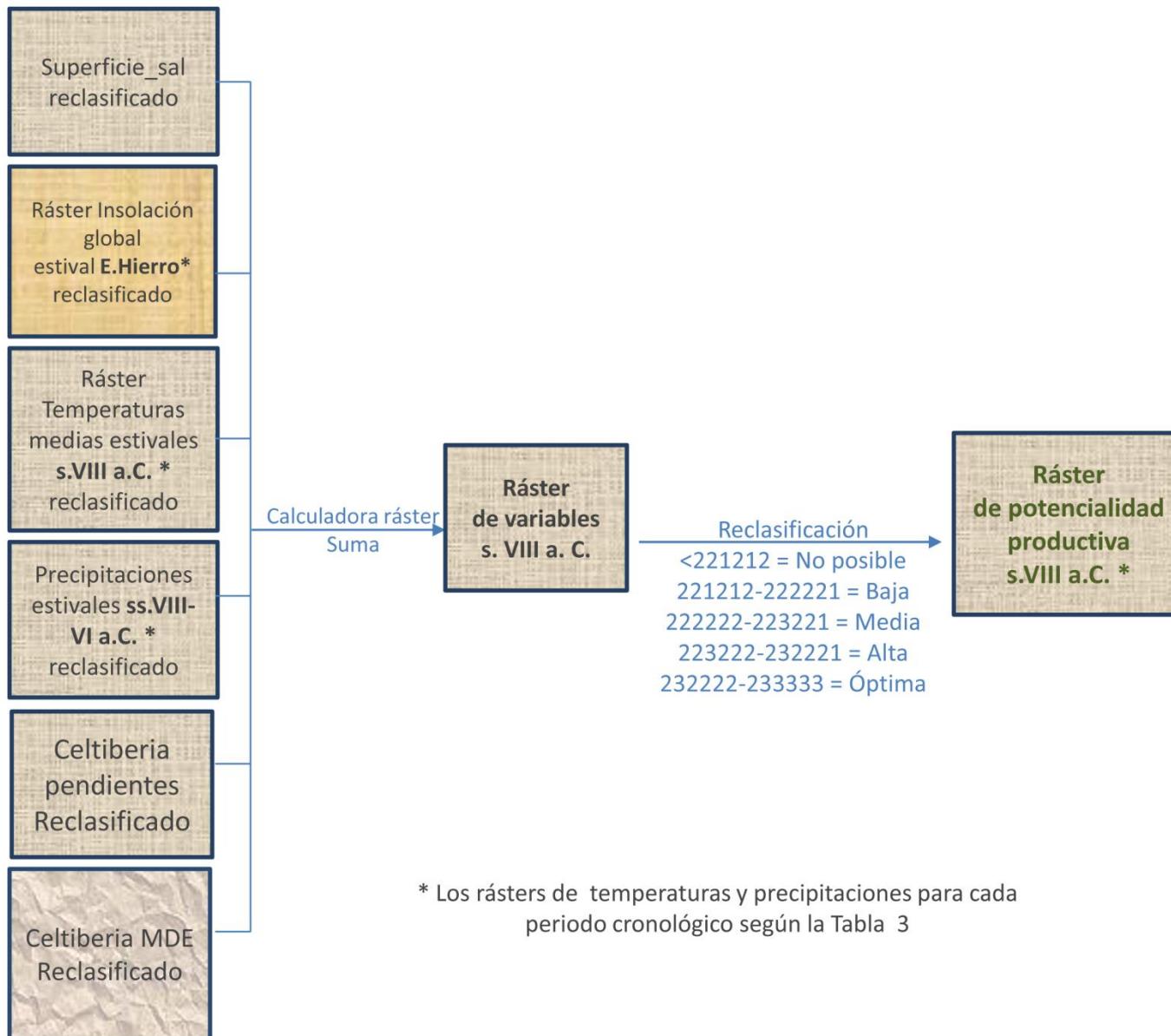
Anexo VI: Reclasificación de rásters de variables:



Anexo VII: Obtención de la cartografía de potencialidad productiva de sal de la segunda mitad del siglo XX



Anexo VIII: Obtención de la cartografía de potencialidad productiva de sal de la Edad del Hierro

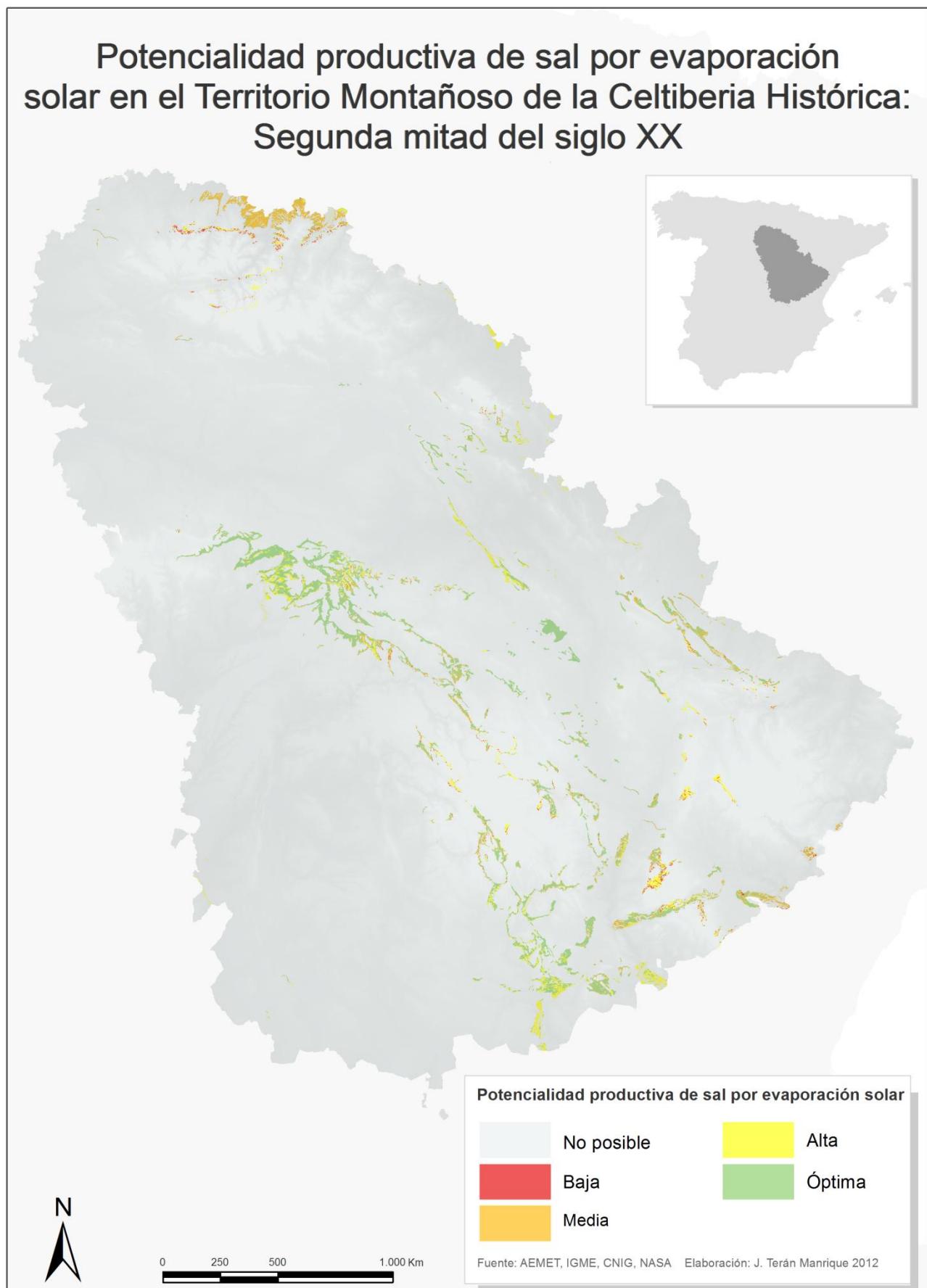


Anexo IX: Valores de las salinas para las variables contempladas y el ráster reclasificado

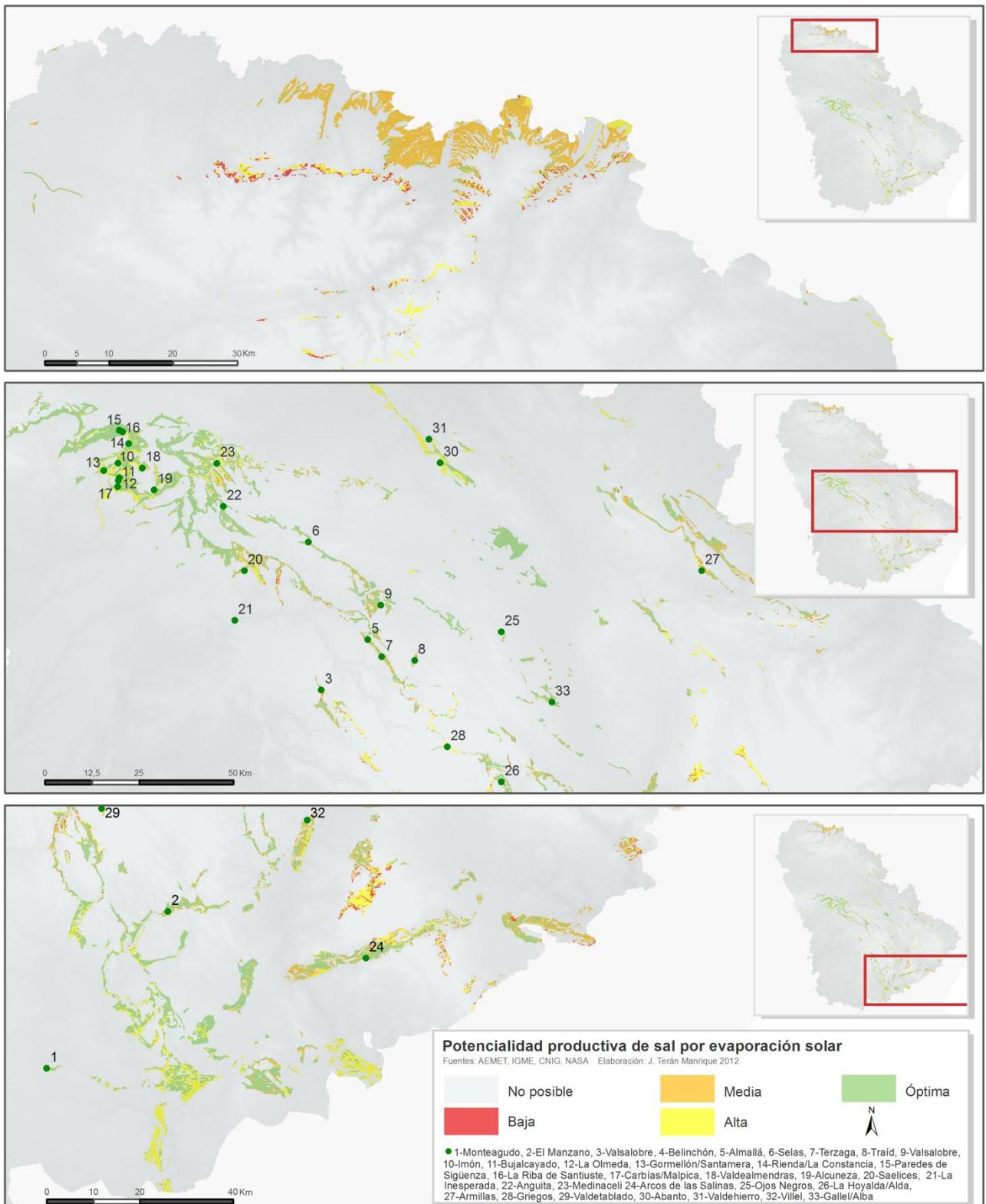
Topónimo	Municipio	Provincia	X	Y	Geología	Insolación (WmH <sup>2</sup> )	Precipitación media estival(mm)	Temperatura media estival (° C)	Pendiente (%)	Altitud (m)	Valor reclasificación
Salinas de Monteagudo de las Salinas	Monteagudo de las Salinas	Cuenca	596954,51	4404967,69	1	691837	28,52	20,42	956	956	233323
Salinas del Manzano	Salinas de Manzano	Cuenca	622981,88	4438702,75	1	685766	37,56	19,47	1125	1125	232322
Salinas de Val-salobre	Valsalobre	Cuenca	576660,79	4496498,13	1	685708	42,76	17,79	1194	1194	232222
Salinas de Belinchón	Belinchón	Cuenca	496413,58	4436532,77	1	667478	21,13	22,38	626	626	223323
Salinas de Al-mallá	Tierzo	Guadalajara	589015,40	4509839,87	1	683703	39,85	17,69	1119	1119	232222
Salinas de Selas	Anquela del Ducado	Guadalajara	573301,58	4535640,98	1	700767	39,28	17,10	1169	1169	232222
Salinas de Ter-zaga	Terzaga	Guadalajara	592710,35	4505329,23	1	669913	40,70	17,32	1183	1183	222222
Salinas de Traíd	Traíd	Guadalajara	601386,77	4504341,59	1	686153	40,08	16,95	1238	1238	232222
Salinas de Val-salobre	Corduente	Guadalajara	592464,25	4518914,90	1	690445	39,78	17,39	1134	1134	232222
Salinas de Imón	Sigüenza	Guadalajara	522894,14	4556500,44	1	689919	31,85	20,43	930	930	233323
Salinas de Bujalcayado	Sigüenza	Guadalajara	523182,74	4552678,89	1	689053	31,78	20,62	920	920	233323
Salinas de La Olmeda	La Olmeda de Jadraque	Guadalajara	522924,95	4551910,57	1	683318	31,81	20,75	917	917	233323
Salinas del Gormellón o Santamera	Río Frío del Llano	Guadalajara	519084,61	4554531,38	1	688368	31,66	21,01	921	921	233323
Salinas de Rienda/La Constancia	Paredes de Sigüenza	Guadalajara	524095,50	4564808,29	1	693800	32,44	19,35	989	989	233323

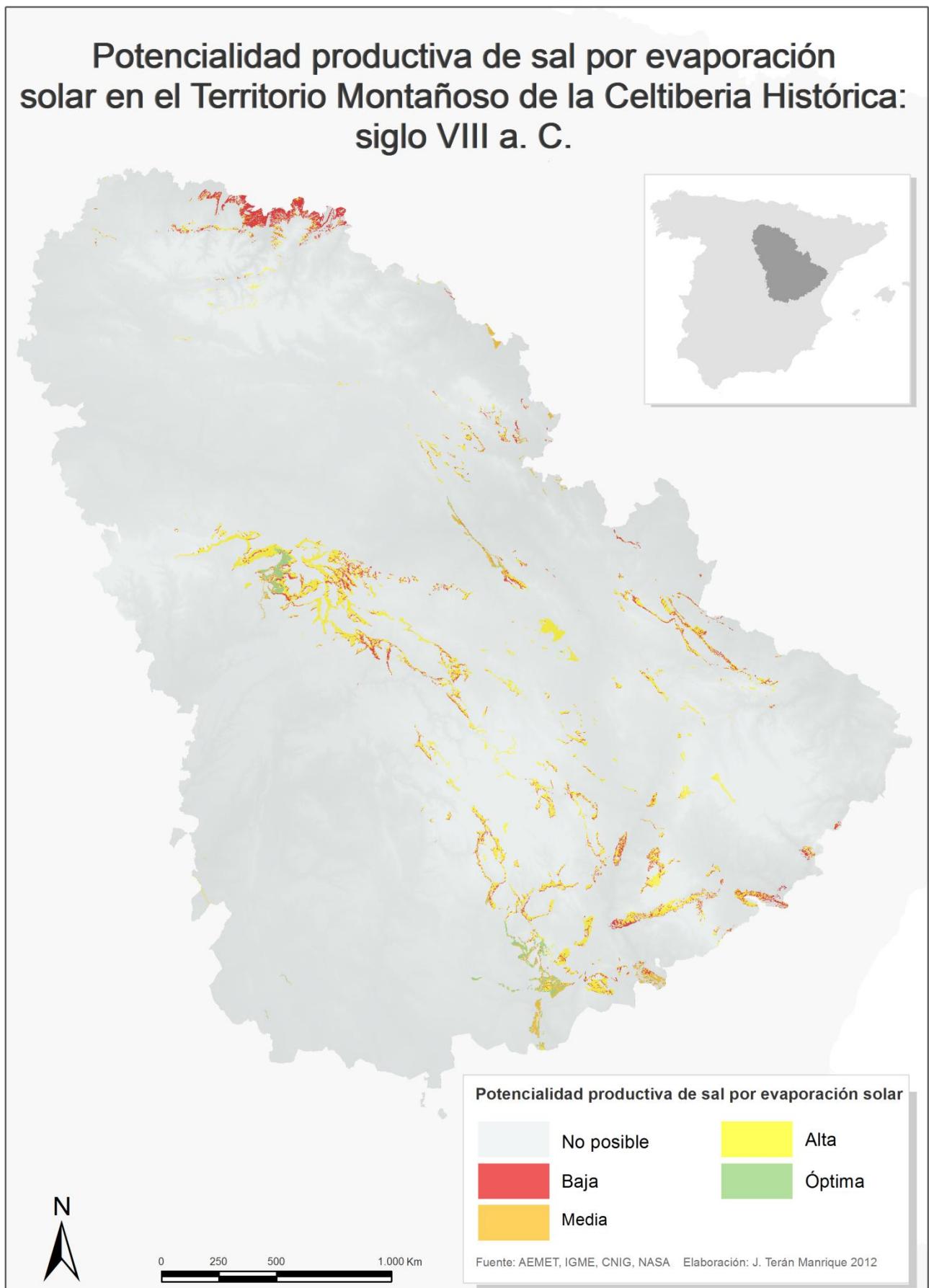
Salinas de Paredes de Sigüenza	Paredes de Sigüenza	Guadalajara	523243,41	4565273,60	1	692248	32,60	19,42	991	991	233323
Salinas de La Riba de Santiesteban	Sigüenza	Guadalajara	525636,79	4561685,52	1	692812	31,95	19,55	958	958	233333
Salinas de Carrabías o Malpica	Sigüenza	Guadalajara	522810,67	4550402,79	1	685196	31,82	20,80	917	917	223323
Salinas de Valdealmendras	Sigüenza	Guadalajara	529295,94	4555252,22	1	686584	33,27	19,48	1005	1005	233323
Salinas de Alcuneza	Sigüenza	Guadalajara	532430,73	4549461,04	1	687935	34,36	19,53	1004	1004	233323
Salinas de Saelices de la Sal	Saelices de la Sal	Guadalajara	556342,62	4528072,68	1	679684	35,25	19,08	992	992	223323
Salinas de La Inesperada	Ocentejo	Guadalajara	553819,24	4514940,21	1	651027	32,72	20,49	825	825	223323
Salinas de Anguita	Anguita	Guadalajara	550763,29	4545099,69	1	706328	36,32	18,23	1103	1103	232222
Salinas de Medinaceli	Salinas de Medinaceli	Soria	549046,25	4556486,63	1	658914	33,97	18,44	1024	1024	223223
Salinas de Arcos de las Salinas	Arcos de las Salinas	Teruel	665495,08	4428687,86	1	678919	37,58	19,67	1028	1028	222323
Salinas de Ojos Negros	Ojos Negros	Teruel	624353,93	4511886,32	1	696745	37,95	18,17	1139	1139	232222
Salinas de La Hoyalda/Alda	Royuela	Teruel	624337,14	4472133,15	1	661424	43,53	18,19	1277	1277	222222
Salinas de Armillas	Vivel del Río Martín	Teruel	677370,14	4528098,57	1	690087	45,81	17,87	1104	1104	221212
Salinas de Griegos	Griegos	Teruel	610061,53	4481453,42	1	755642	45,42	15,13	1629	1629	232222
Valdetablado	Albarracín	Teruel	608789,29	4460945,34	1	707763	45,81	16,30	1536	1536	232222

Salinas de Vi- llel	Villel	Teruel	652867,44	4458267,40	1	681877	37,35	19,73	964	964	222323
Salinas de Ga- llel o Alba	Alba	Teruel	637786,03	4493325,27	1	673144	37,00	18,66	1072	1072	232222
Salinas de Abanto	Abanto	Zaragoza	608176,54	4556610,82	1	667615	32,38	19,28	890	890	223323
Salinas de Val- dehierro	Nuévalos	Zaragoza	605225,66	4562867,30	1	653496	31,34	20,02	792	792	223323

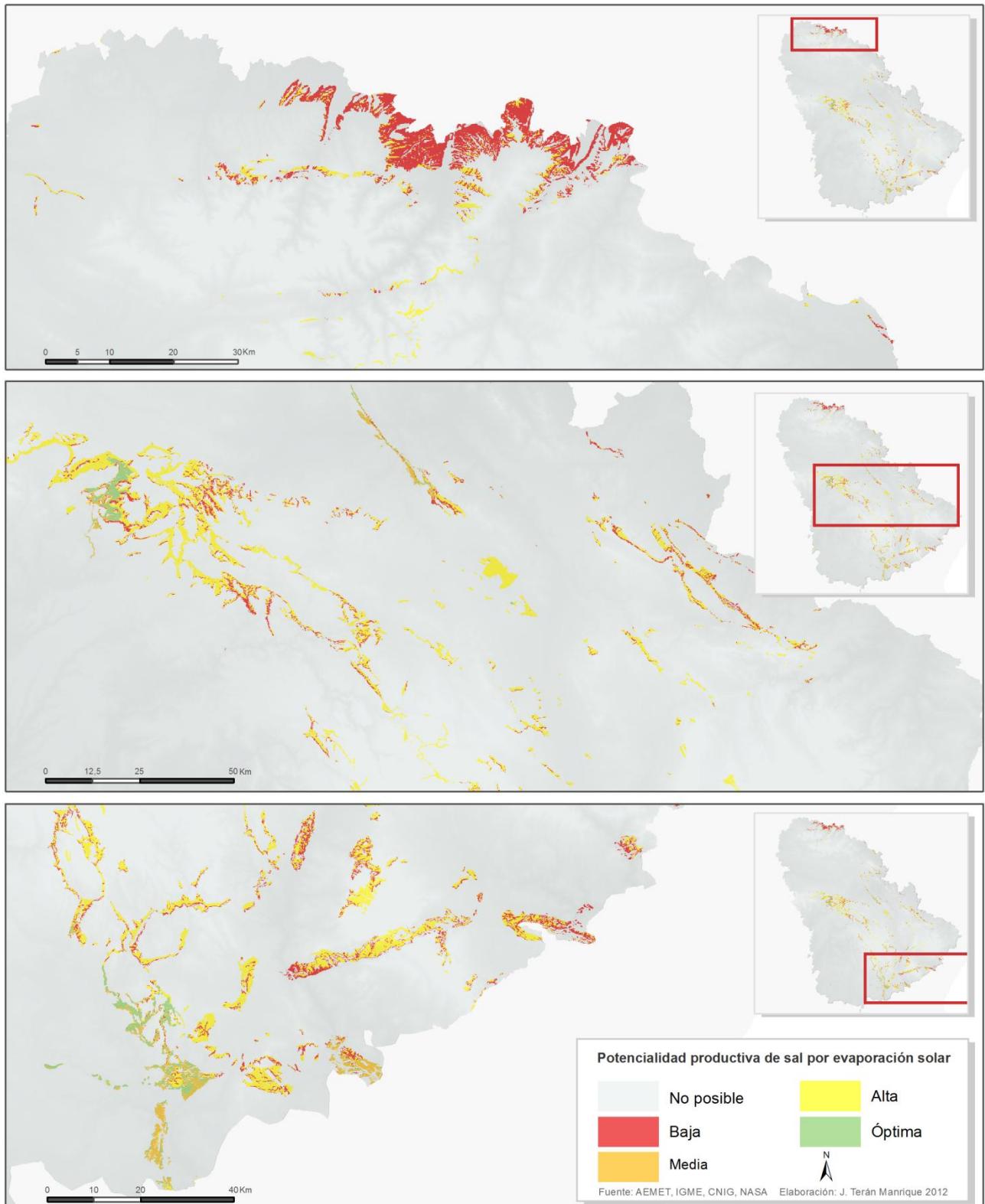


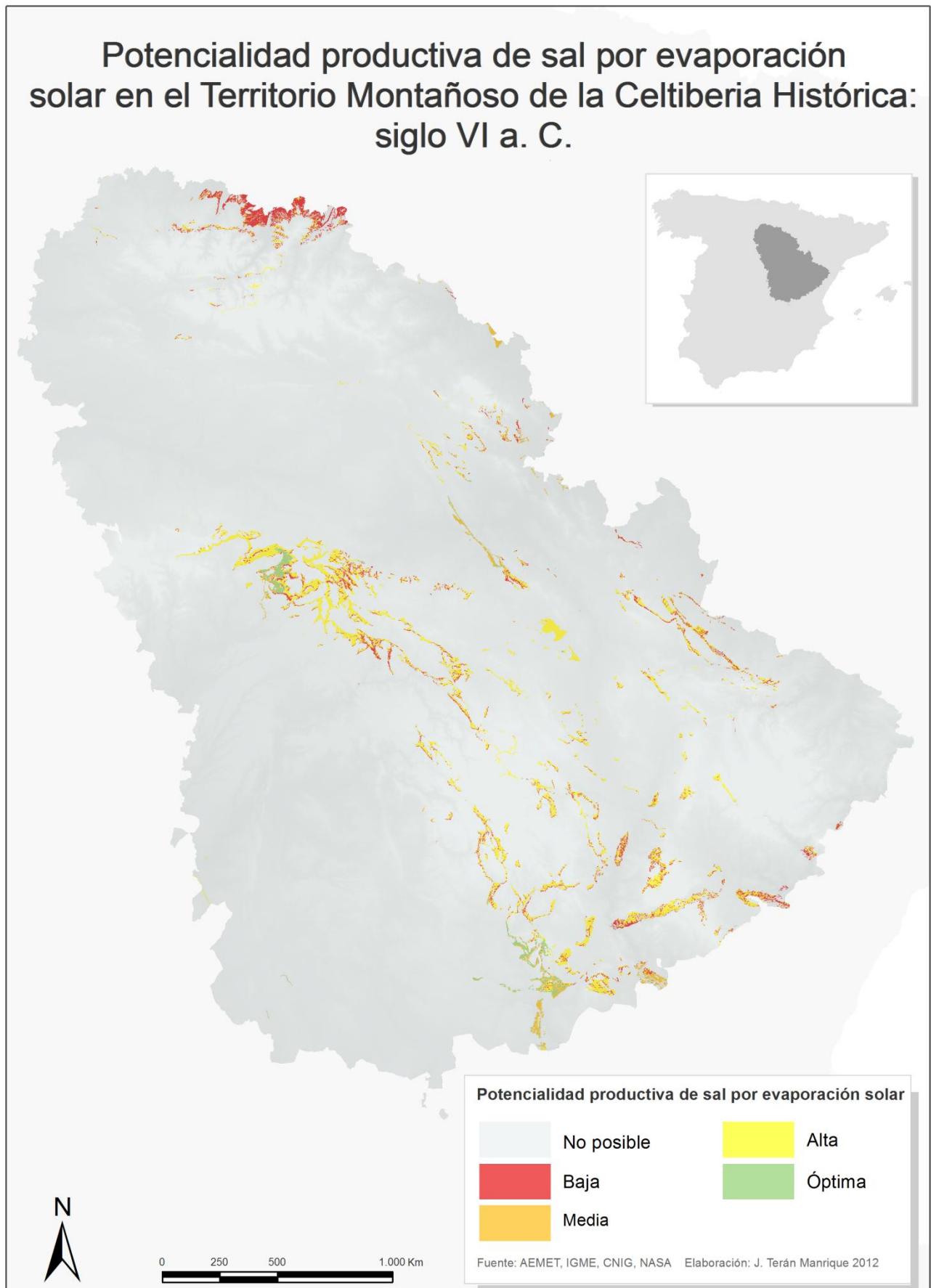
# Potencialidad productiva de sal por evaporación solar en el Territorio Montañoso de la Celtiberia Histórica: Segunda mitad del siglo XX



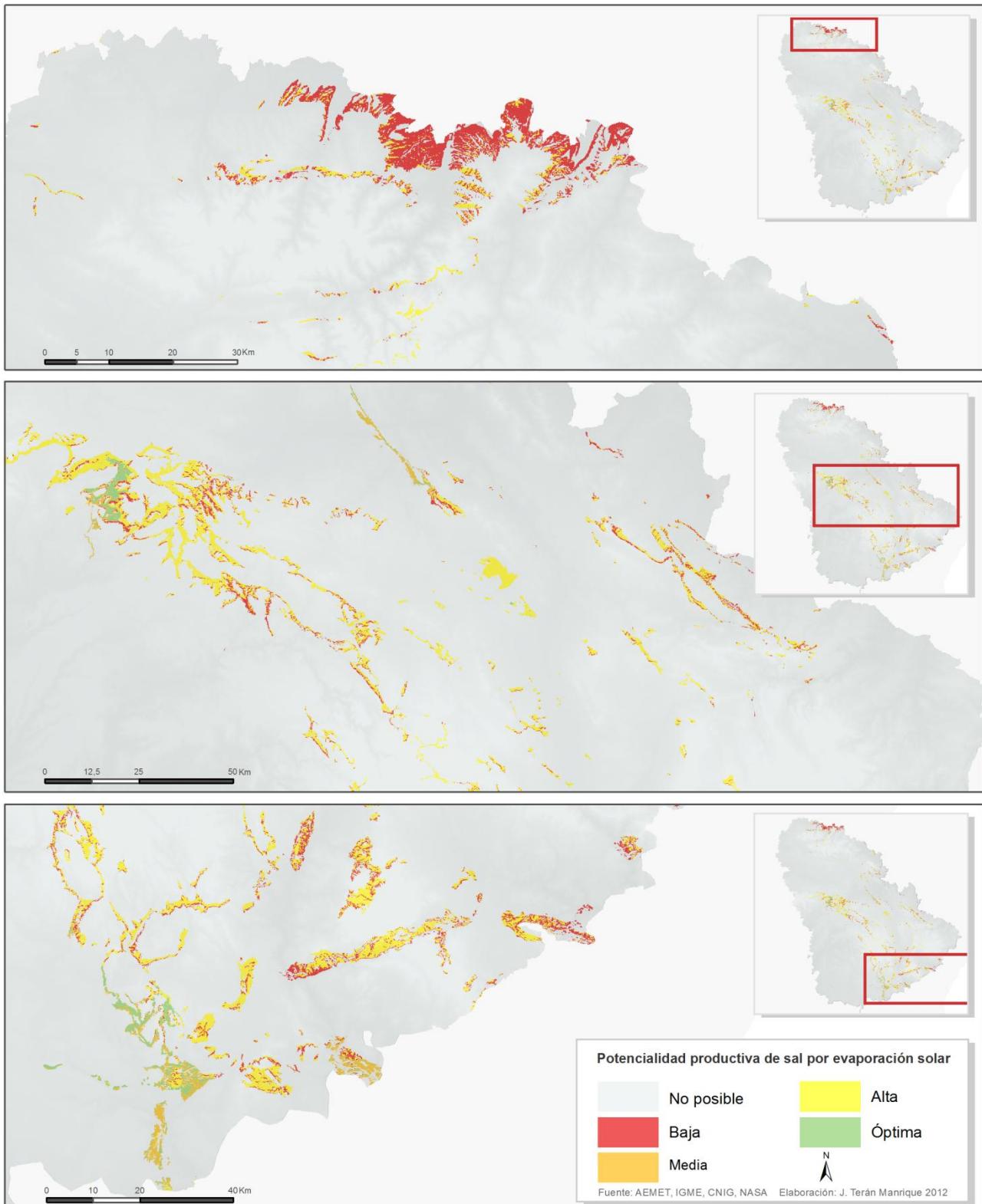


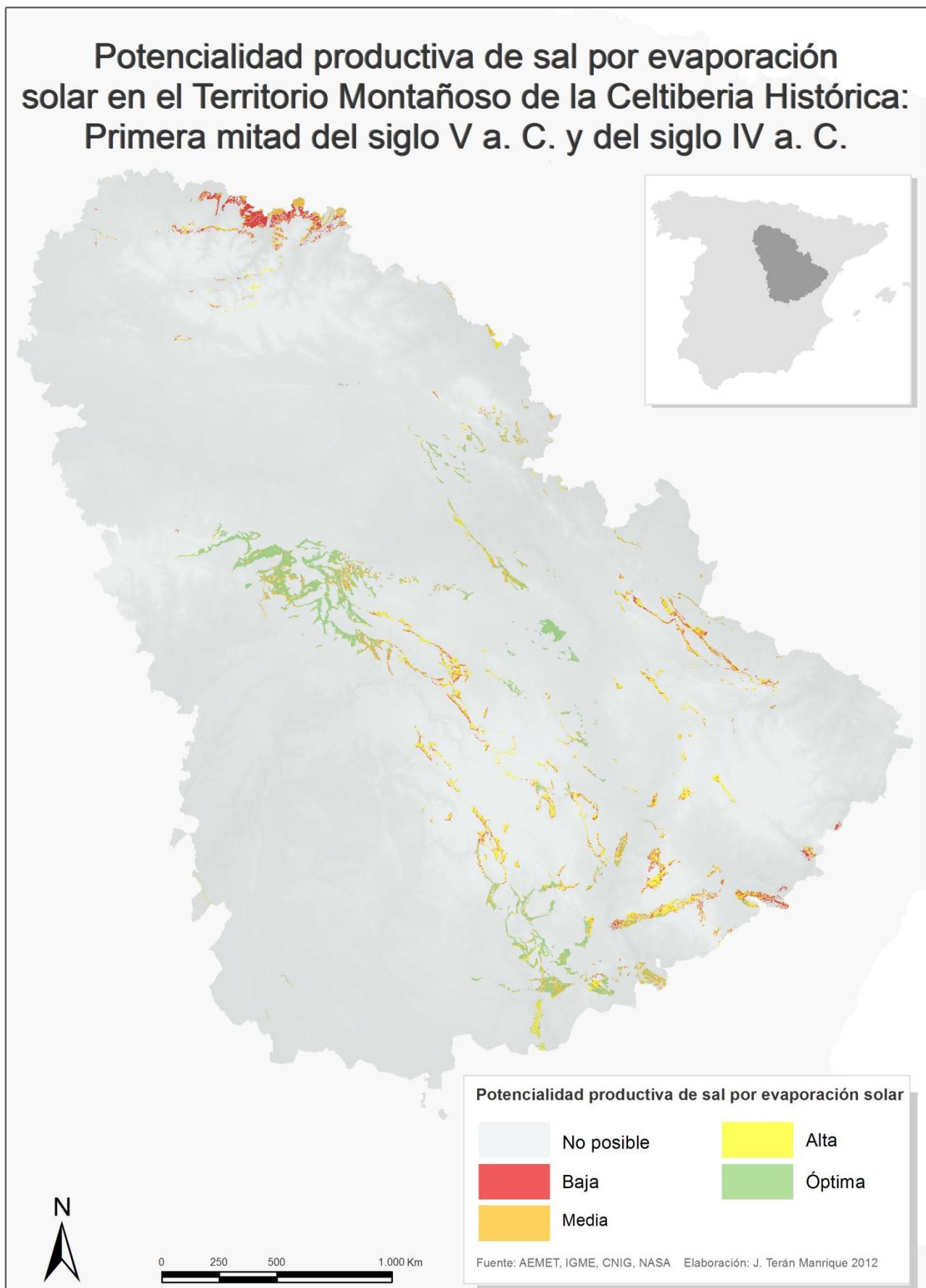
# Potencialidad productiva de sal por evaporación solar en el Territorio Montañoso de la Celtiberia Histórica: siglo VIII a. C.



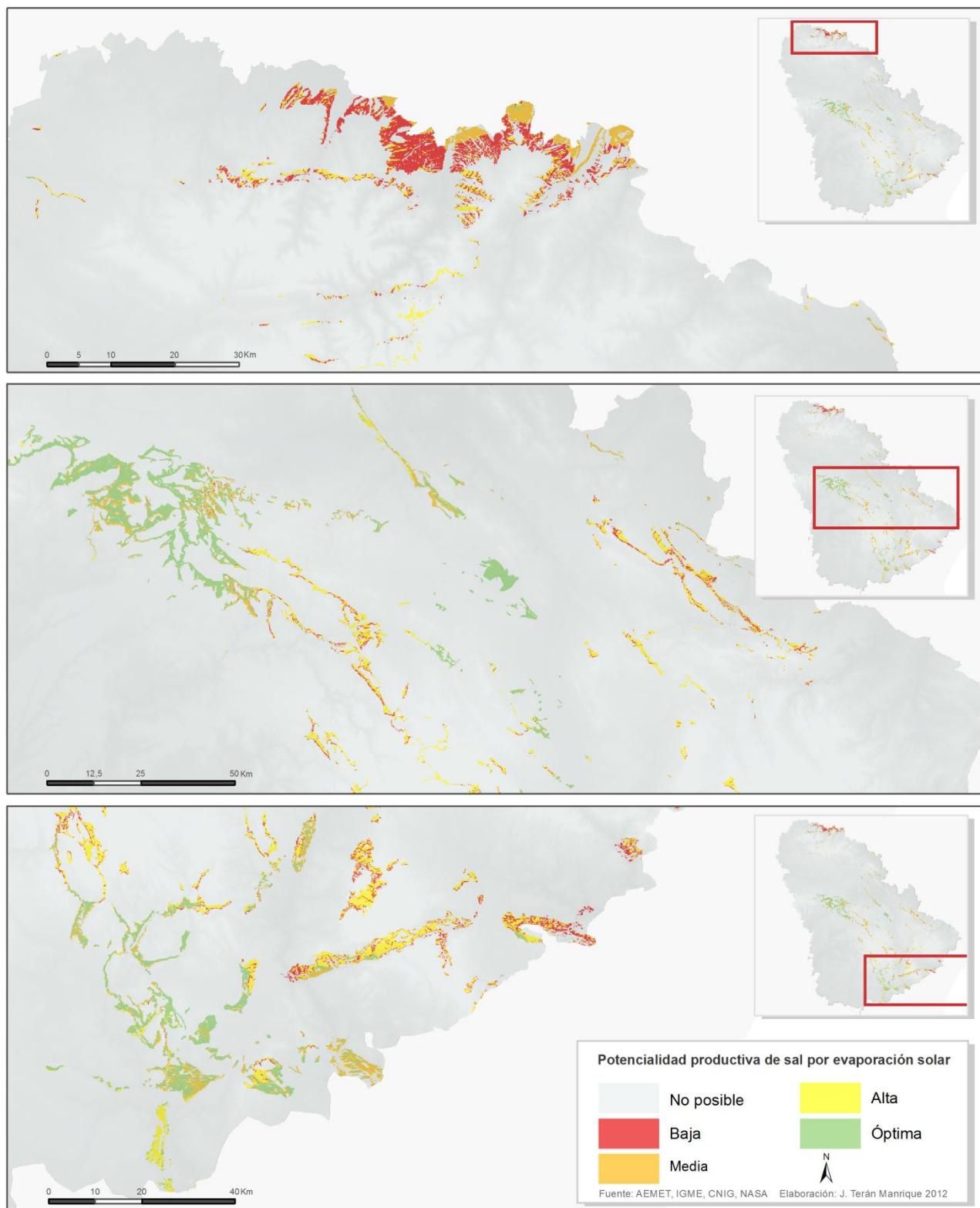


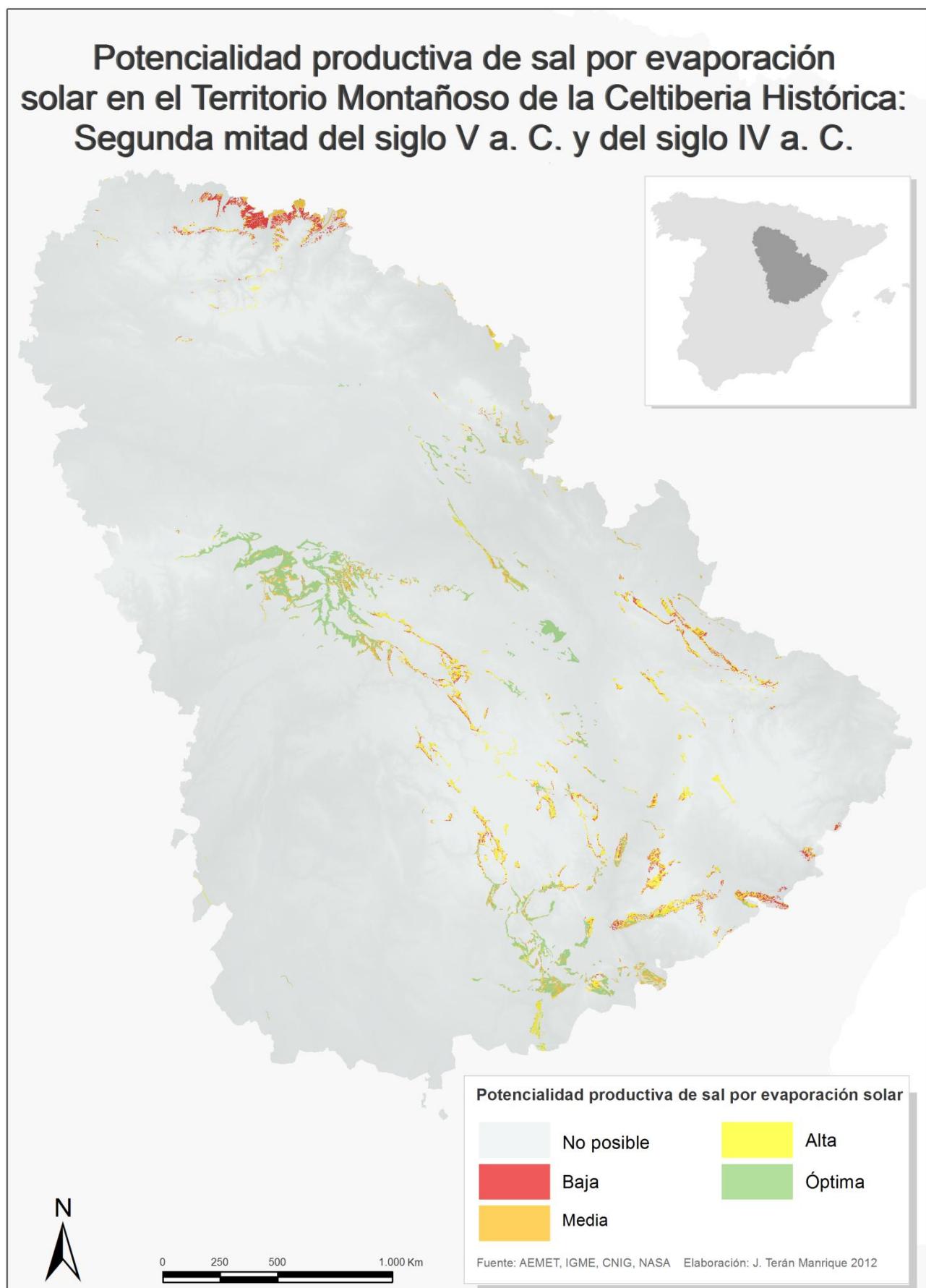
# Potencialidad productiva de sal por evaporación solar en el Territorio Montañoso de la Celtiberia Histórica: siglo VI a. C.



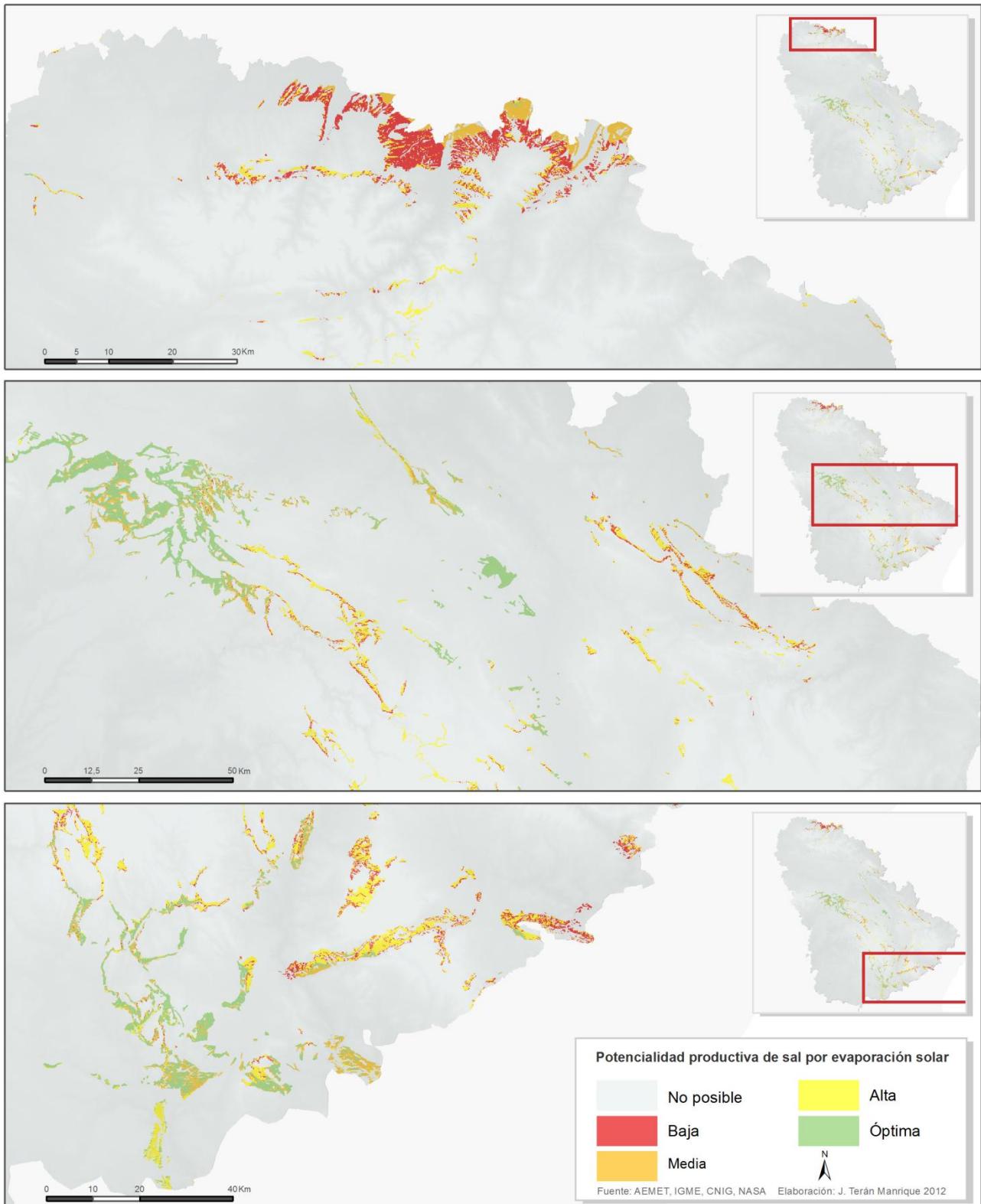


# Potencialidad productiva de sal por evaporación solar en el Territorio Montañoso de la Celtiberia Histórica: Primera mitad del siglo V y del siglo IV a. C.

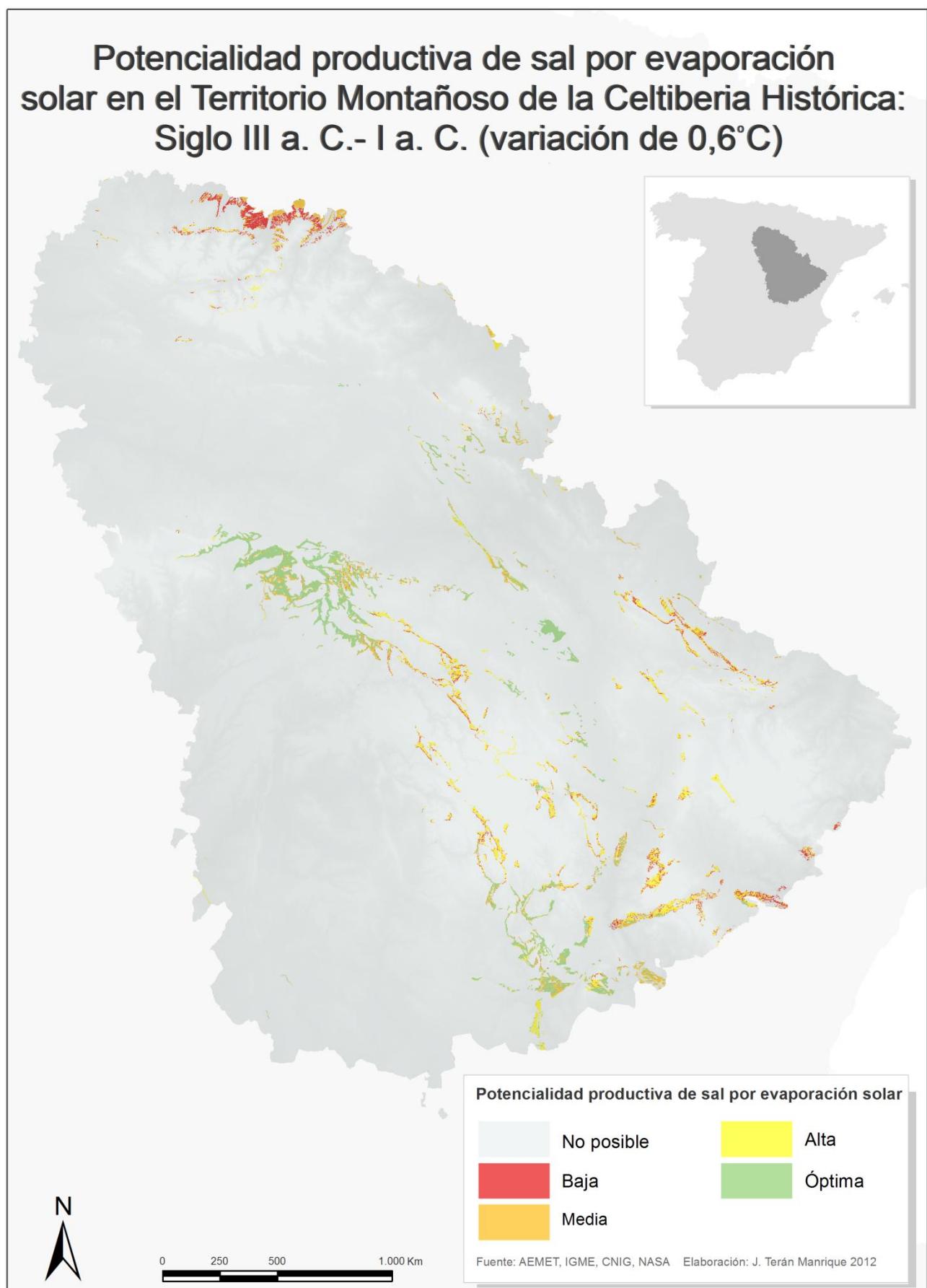




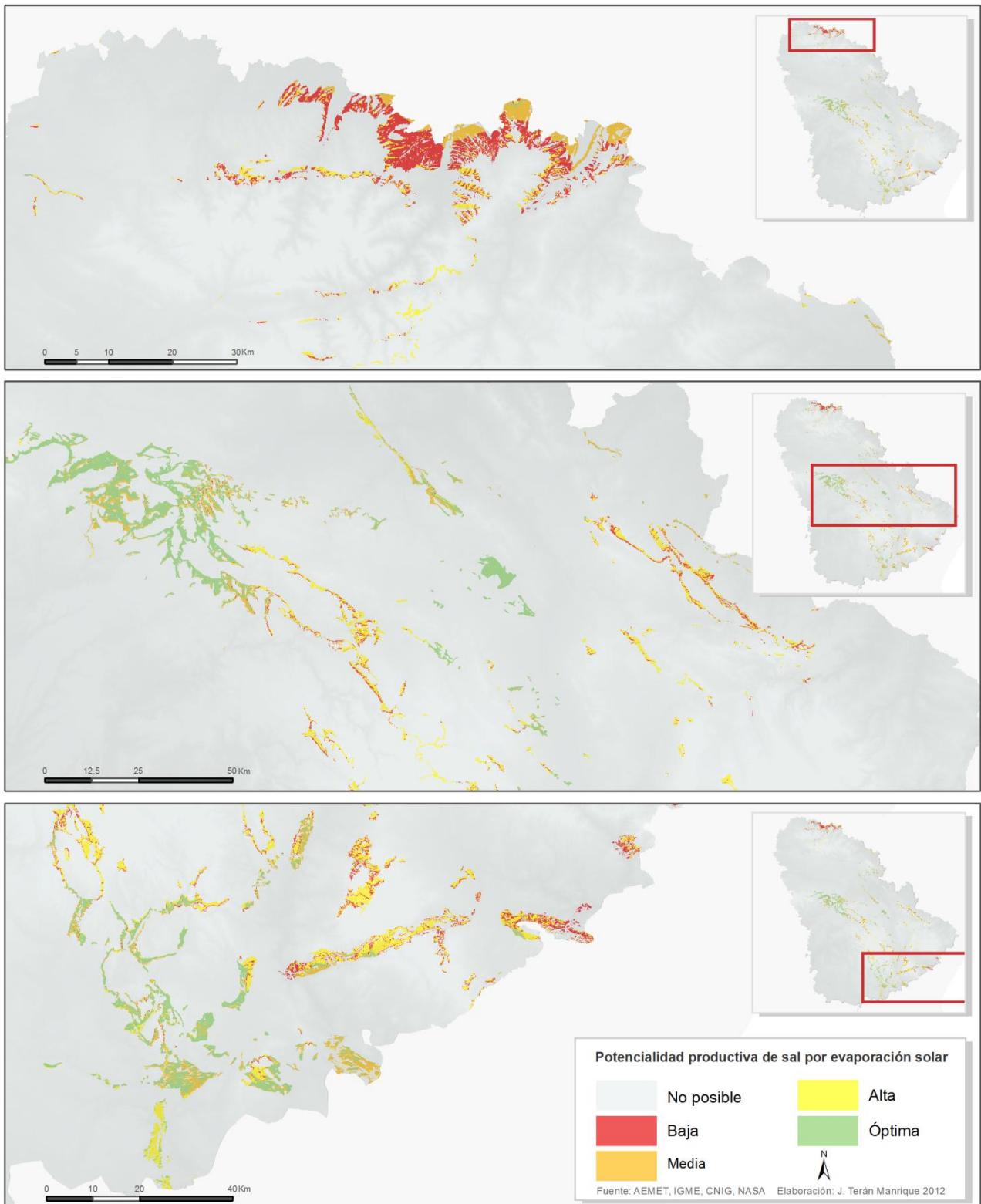
## Potencialidad productiva de sal por evaporación solar en el Territorio Montañoso de la Celtiberia Histórica: Segunda mitad del siglo V y del siglo IV a. C.



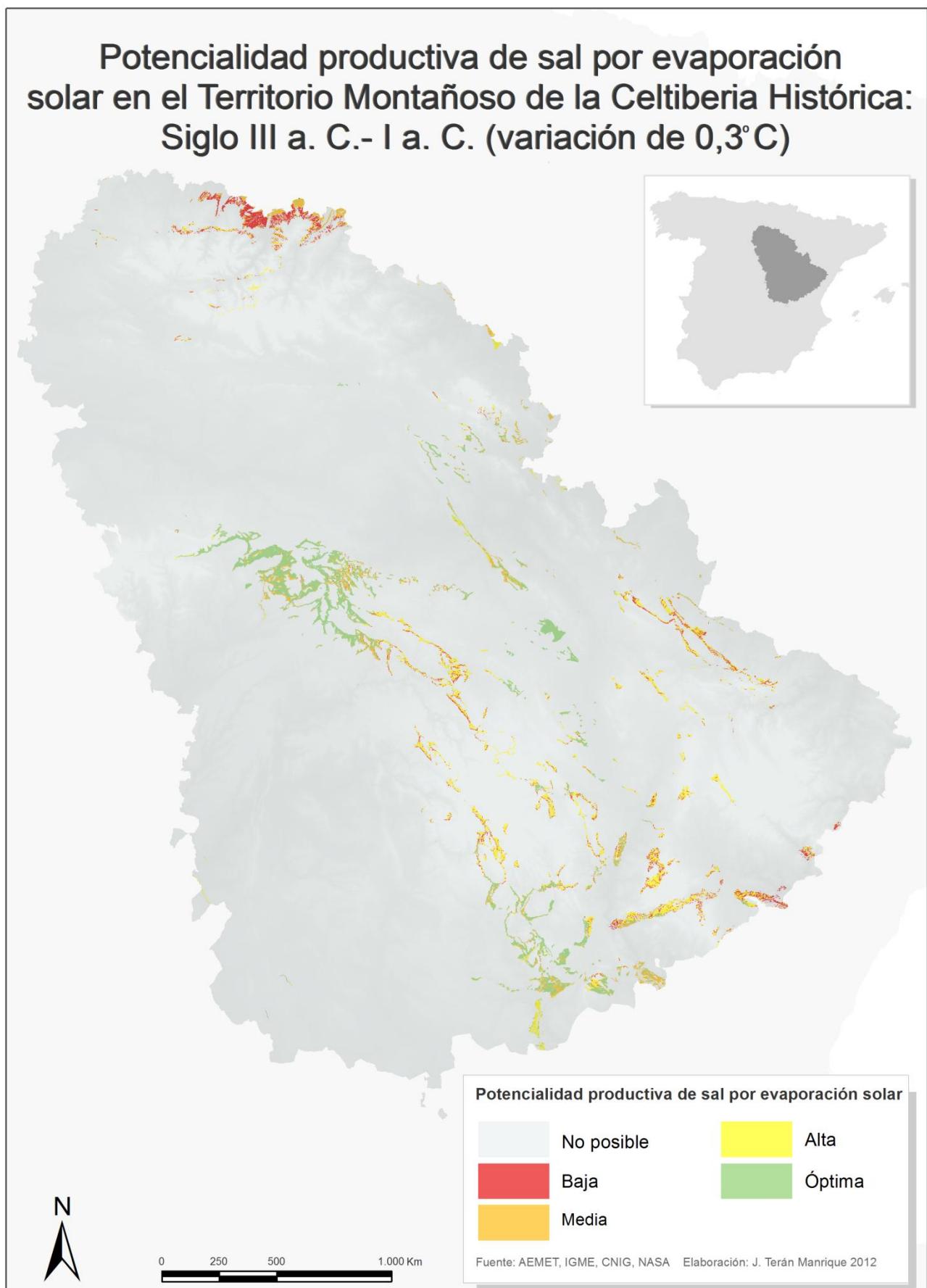
Anexo XV: Mapa de potencialidad productiva de sal durante los siglos III a. C. - I a. C. (variación 0,6° C)



# Potencialidad productiva de sal por evaporación solar en el Territorio Montañoso de la Celtiberia Histórica: Siglos III-I a. C. (variación de 0,6°C)



Anexo XVI: Mapa de potencialidad productiva de sal durante los siglos III a. C. - I a. C. (variación 0,3º C)



## Potencialidad productiva de sal por evaporación solar en el Territorio Montañoso de la Celtiberia Histórica: Siglos III-I a. C. (variación de 0,3°C)

