

La Sal de Cádiz, de la costa al interior

Moreno Pulido, Jerónimo¹; Domínguez Bella, Salvador^{2 y 7}; Giles Pacheco, Francisco³;
Gutiérrez López, José María⁴; Valiente Cánovas, Santiago⁵; Martínez López, Javier^{2, 6 y 7};
García López, Santiago²; Asensio Montesinos, Francisco²;
Pacheco Orellana, María Jesús² y Sánchez Bellón, Ángel^{2, 6 y 7}

1 IES Las Salinas, de San Fernando

2 Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Cádiz

3 Museo de El Puerto de Santa María

4 Museo de Villamartín

5 Sociedad Española para la defensa del Patrimonio Geológico y Minero

6 ICOGA, Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de Andalucía

7 Unidad de Geoarqueología y Arqueometría aplicadas al Patrimonio Histórico-Artístico-Monumental (UGEA-PHAM) U. de Cádiz

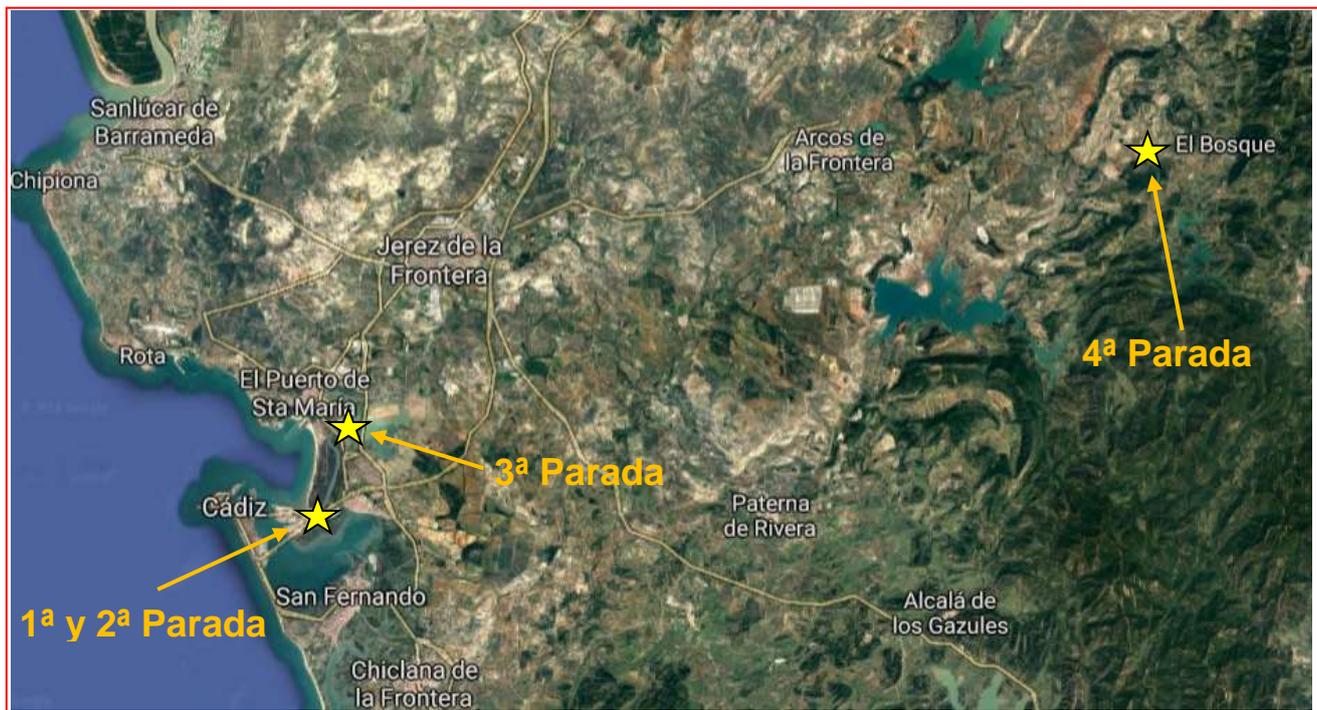


Figura 1. Ortofotografía de la zona de estudio (modificada a partir de Google Maps, 2018) y localización de las paradas visitadas en el Campus Universitario de Puerto Real (1ª y 2ª paradas), salinas de la Tapa (3ª parada, El Puerto de Santa María) y salinas de Iptuci (4ª parada, Prado del Rey-El Bosque).

Introducción

Qué es un Geolodía y en qué consiste el Geolodía 18 Cádiz

Geolodía es una iniciativa de divulgación de la Geología coordinada a nivel nacional por la Sociedad Geológica de España (SGE) con 13 años de recorrido y cuyo objetivo es divulgar el conocimiento a través de una de las facetas más atrayente para el público en general, las excursiones de campo. Como en las últimas ediciones, se llevarán a cabo 56 excursiones simultáneas, una excursión en cada provincia, excepto en los archipiélagos balear y canario, donde se celebrarán varias excursiones en diferentes islas.

Las excursiones de Geolodía 18 se celebrarán en lugares con mucho interés geológico, en el que los participantes serán guiados para aprender a ver con “mirada geológica” el paisaje, descubriendo los materiales que lo sustentan y entendiendo los procesos geológicos que operan en él. A través de su lema "mira lo que pisas", Geolodía 18 pretende que el público asistente pueda conocer mejor el entorno en el que se asientan nuestras poblaciones, los efectos que tienen sobre la superficie algunos de los procesos geológicos, los riesgos que pueden entrañar (terremotos, volcanes, inundaciones...), la distribución de los recursos naturales (agua, hidrocarburos, yacimientos minerales (como en nuestro caso de sales) etc.) y la larga historia del planeta Tierra.

Geolodía 18 abre la posibilidad al público de adentrarse en el laboratorio de trabajo habitual en Geología, el campo. Para el público en general, visitar un área determinada de la mano de profesionales de la Geología no es común. Sin duda, las excursiones de campo representan la faceta más amena de la divulgación de las Ciencias de la Tierra. Geolodía 18 dará a conocer, un año más, nuestro rico y variado patrimonio geológico, de la mano de especialistas pertenecientes a diversas instituciones públicas, sociedades y asociaciones científicas.

La octava edición de Geolodía en la provincia de Cádiz se presenta bajo el título divulgativo **“La sal de Cádiz, de la costa al interior”**. En ella se pretende mostrar a un público lo más amplio posible los aspectos relacionados con la geología que rodean a un recurso de tanta utilidad, tanto a lo largo de la historia como hoy en día, como es la sal. La provincia de Cádiz, por su situación geográfica en la costa atlántica y su régimen de mareas, por su clima, con predominio en los meses de verano del viento de levante, y por su geología, con amplios afloramientos de materiales arcillo-margosos ricos en yesos y otras sales solubles, debe gran parte de su historia y de su desarrollo a la presencia, extracción y utilización de este recurso tan preciado que lo ha llevado a denominarse como el oro blanco. La sal y la salinidad de las aguas salpican con su toponimia numerosos emplazamientos de la provincia. Son varios los arroyos denominados "salado" así como lagunas que hacen mención a la salinidad de sus aguas y son muy numerosas las zonas de salinas, antiguas o en explotación, que aun dan nombre a buena parte de la costa gaditana. Es por ello que la sal es merecedora de ser el centro de atención de la presente edición de nuestro Geolodía.

Concretamente pretendemos mostrar algunas aportaciones geológicas al mundo de la sal. Comenzaremos con una charla taller sobre cristalización, viendo los aspectos fundamentales que llevan a que nucleen y crezcan los cristales de sal a partir de una solución con alta salinidad. Visitaremos, a modo de ejemplo, una de las mayores salinas costeras de la provincia, la salina de la Tapa (en la localidad de El Puerto de Santa María). Conoceremos las distintas partes de su estructura y como se explota actualmente. A modo de comparación nos adentraremos en la provincia para descubrir como se generan salinas de interior a partir de surgencias de aguas saladas relacionadas con arcillas triásicas. Concretamente visitaremos las salinas de origen romano de Iptuci. Por ello, los aspectos históricos y arqueológicos, relacionados con la explotación de la sal, también tendrán cabida en esta jornada geológica.

Usos y propiedades de la sal (ISAL, 2018)

La sal es el condimento más antiguo utilizado por la humanidad. Sus primeros usos como alimento tuvieron lugar en la época del emperador chino Huangdi (2670 a.d.C), comenzando su extracción mediante procesos elaborados en la Dinastía Xia (800 a.d.C). Por otra parte, en Occidente se han registrado momias del año 3000 a.d.C conservadas en arenas salinas de los desiertos de Egipto. Las técnicas que empleaban los egipcios para la conservación de alimentos con sal, los convirtió en los pioneros de exportación de pescado en salazón.

En Europa, los celtas fueron los principales comerciantes y explotadores de la sal, cuyos conocimientos serían posteriormente cedidos al Imperio Romano, que llegarían a ubicar la mayoría de ciudades cerca de las salinas debido a la importancia que tenía la sal para ellos. La consolidación del comercio de la sal no tuvo lugar hasta la Edad Media, siendo los mercados más importantes el de África Occidental y el de la industria salazonera de los Países Bajos.

En España, a partir de la segunda mitad del siglo XX, se modernizó el sector de la sal hasta tal punto, que supuso la clausura de pequeñas explotaciones salineras no rentables y la consolidación de una red industrial.

Usos de la Sal

- Alimentario: potenciador de sabor, conservante (Fig. 2), colorante y deshidratante.
- Industrial:
 - o Industria química: obtención de cloro y de sosa cáustica (NaOH) y producción de PVC.
 - o Tratamiento de aguas: modificación de dureza y desinfección.
 - o Exploración de petróleo y gas: aumento de densidad de fluidos de perforación, evita disolución de horizontes salinos y aumenta la velocidad de cementación.
 - o Procesado de metales y sal: manufactura de aluminio, berilio, cobre, acero, etc.
 - o Celulosa: blanqueo o decoloración de la pulpa extraída de la celulosa.
 - o Industria textil: separa contaminantes orgánicos de las fibras, estandariza concentrados y favorece la absorción de colorantes.
 - o Curtidurías: inhibición de la acción microbiana en el interior de las pieles y eliminación de humedad (Fig. 2).
- Deshielo de carreteras y ventanas (Fig. 2)
- Agrícola: preservación del forraje (limitación de actividad microbiana)
- Control de malas hierbas, caracoles y hormigas en el jardín
- Sal de piscinas
- Sal de lavavajillas
- Recreativo: Spa salino
- Cosmética: exfoliante

Propiedades de la Sal

La sal marina fortalece el sistema inmunitario notablemente en periodos de cambio de estación; previene la deficiencia de yodo y flúor y ayuda a eliminar el ácido láctico y el ácido úrico, disminuyendo también la acidez gástrica.

Los baños de sal (Fig.2) combaten enfermedades inflamatorias de las articulaciones, reumatismos crónicos, estrés, problemas circulatorios, etc. También suponen una remineralización de la piel y mejora la elasticidad de los tejidos.



Figura 2. Usos de la sal como conservante, en carreteras, en la industria del cuero y como tratamiento terapéutico.

Parada 1. Taller de cristalización. *Sal Gema y dime como cristaliza*

1. Halitas, pero no de pollo

La sal común o sal de mesa es un mineral llamado halita o sal gema, cuya fórmula química responde al nombre de cloruro sódico (NaCl). Se trata pues de una sal binaria muy soluble en agua que forma sólidos cristalinos por la unión de cationes Na^+ y aniones Cl^- mediante enlace iónico (Fig.3).

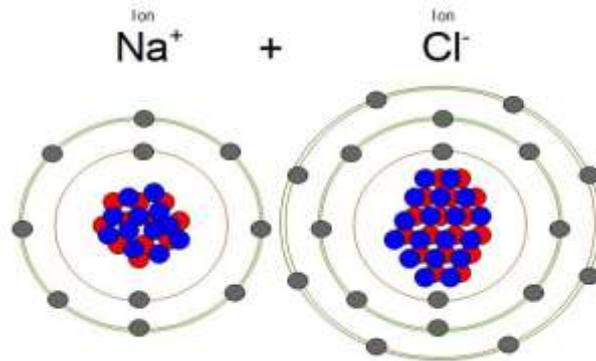


Figura 3. Representación del enlace iónico del NaCl

La **halita**, del griego *hals* (sal) y *lithos* (piedra), es un mineral que pertenece al grupo de los haluros y que cristaliza en el sistema cúbico (Fig.4), en concreto en el CCC (cúbico centrado en las caras). A *visu* suele presentar cristales bien facetados de hábito cúbico que en ocasiones suele desarrollar caras en forma de tolva o *hopper* (*caras esqueléticas* e interior hueco). La halita es transparente o traslúcida, aunque pueden presentar colores blancos, tonos rosados o incluso azul-violáceos según las impurezas que contengan. Presenta exfoliación cúbica a favor de los planos de crecimiento. Tiene una dureza de 2'5, tacto húmedo y sabor salado. Es higroscópica y delicuescente (puede absorber la humedad del aire y disolverse en ella).

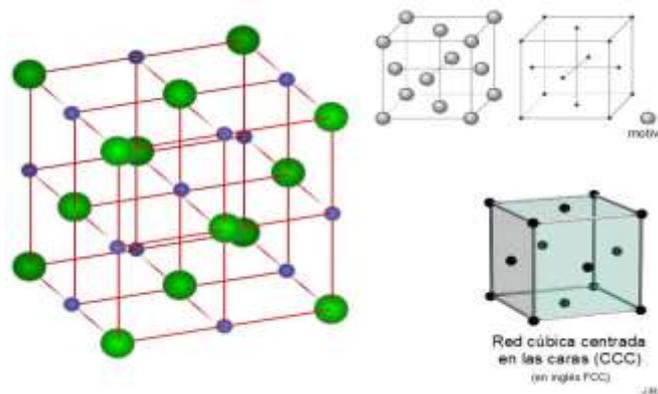


Figura 4. Estructura cristalina de la halita o sal gema

2. Quiero una solución, estoy sobresaturado

Una vez que sabemos cómo es la halita vamos a recordar algunos conceptos sobre disoluciones que necesitaremos. Una disolución, también llamada **solución**, es una mezcla homogénea de dos o más componentes. La sustancia disuelta se denomina soluto y está presente en menor cantidad comparándola con la sustancia donde se disuelve, denominada disolvente o solvente.

disolvente + soluto = disolución
solvente + soluto = solución

A una temperatura y presión dada un disolvente admite una cantidad determinada de soluto, no más (**disolución saturada**); cuando contiene más del que debiese hablamos de disolución sobresaturada. Por

ejemplo, si hacemos una disolución saturada a 25 °C de fosfato monoamónico y puedo agregarle más soluto si la caliento hasta 50 °C. Pero si ahora enfrió la disolución lentamente, sin perturbación alguna, puedo conseguir que retenga un exceso de soluto de forma temporal, convirtiéndola en una **disolución sobresaturada**. Podemos obtener el mismo resultado si en vez de enfriar el sistema lo que hacemos es evaporar.

Las disoluciones subsaturadas son termodinámicamente muy estables, las saturadas se mantienen en equilibrio y las disoluciones sobresaturadas son sistemas termodinámicamente inestables y con cualquier perturbación del entorno pueden precipitar la carga de soluto que lleva en exceso y volverse a convertir en una disolución saturada (Fig.5).

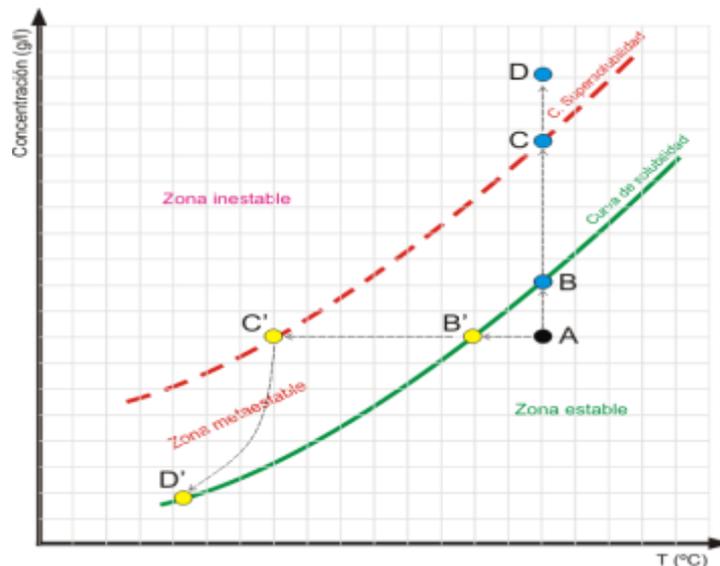
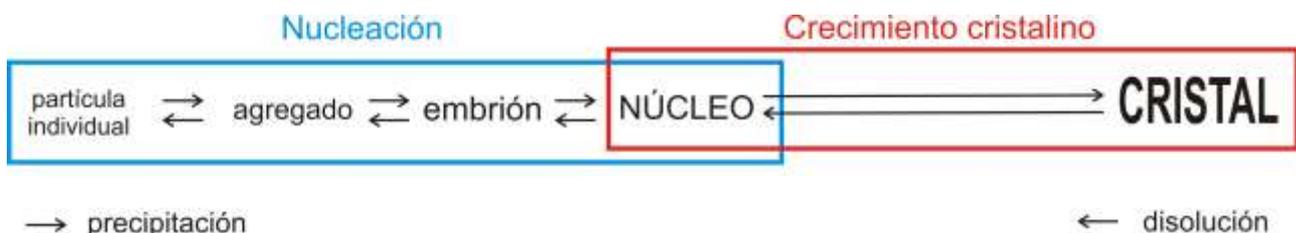


Figura 5. Diagrama de Miers para procesos de cristalización por evaporación (A, B, C, D) y enfriamiento (A, B', C', D').

3. La magia de la cristalización

Un cristal es un sólido formado por átomos, iones o moléculas ordenados de forma periódica en las tres direcciones del espacio. La formación de un cristal es un fenómeno que consiste en dos procesos: la nucleación y el crecimiento cristalino.

La nucleación sería la aparición de una nueva fase (sólida) dentro de la disolución (líquida). Cuando una disolución se encuentra en equilibrio metaestable, por encima de la curva de solubilidad, las fluctuaciones locales hacen que las partículas (átomos, iones o moléculas) de este sistema se muevan a gran velocidad y provoquen aproximaciones aleatorias que puntualmente pueden llegar a unir varias de estas partículas en agregados. Si los agregados crecen pueden llegar a formar un núcleo en las inmediaciones de la curva de supersolubilidad.



A partir de los núcleos se inicia el crecimiento de los cristales, siempre que las condiciones del medio lo permitan (tiempo, estabilidad, etc.). El **crecimiento** de un cristal depende de un conjunto de procesos por los cuales unidades de crecimiento (UC), que pueden ser átomos, iones o moléculas, se anexionan a la superficie del mismo generando que aumente de tamaño. Se ha comprobado que las posiciones de rincón, *kink sites*, son las energéticamente más viables para albergar a las nuevas UC (Fig.6).

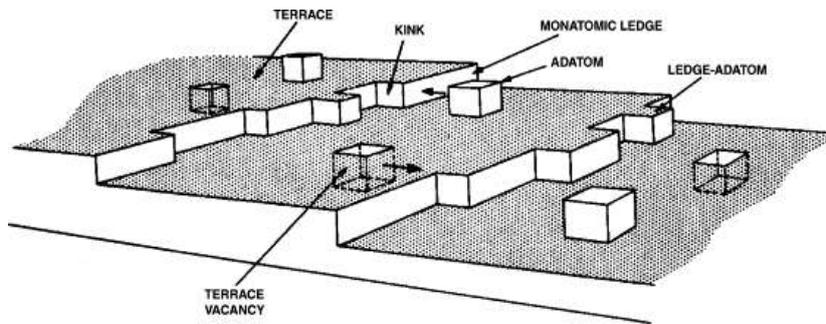


Figura 6. Modelo de Kossel de la superficie de un cristal. Tomado de Bonzel, 2013

A partir de este momento se establecen tres **mecanismos de crecimiento** en función de la sobresaturación y de la rugosidad de la superficie del cristal:

- Crecimiento por nucleación bidimensional (*2D-Nucleation growth*). Se produce sobre caras de baja rugosidad en condiciones donde no se supera el valor crítico de sobresaturación S_1 .
- Crecimiento espiral (*Screw dislocation growth*). Es un mecanismo a favor de dislocaciones helicoidales que se da en caras lisas y en condiciones de muy baja sobresaturación.
- Crecimiento por acreción (*Normal growth*). Es el que se produce cuando se sobrepasa el valor crítico de sobresaturación S_2 sobre caras rugosas (ver figura 7), generando un crecimiento rápido y aleatorio en toda la superficie de dicha cara al mismo tiempo.

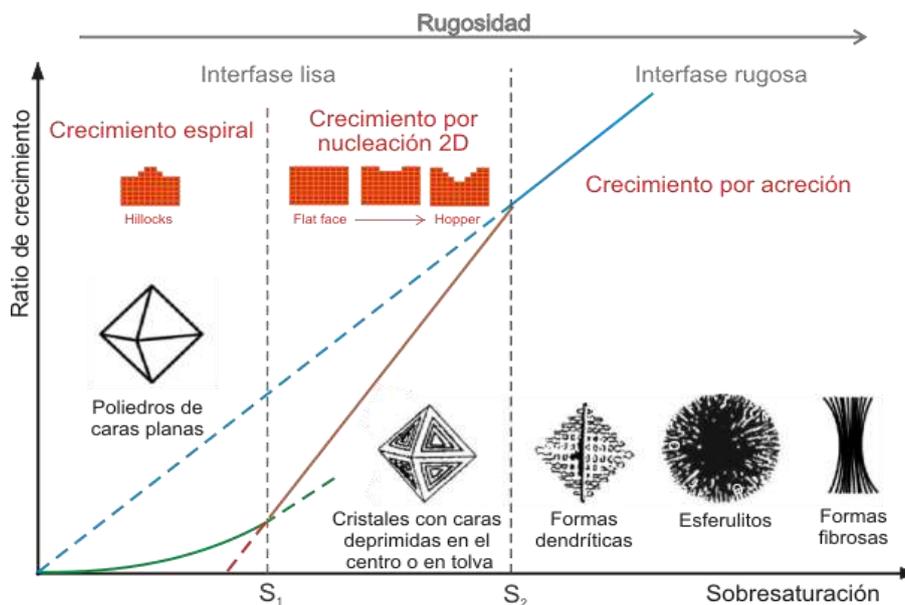


Figura 7. Relaciones existentes entre la sobresaturación, los mecanismos de crecimiento, la rugosidad superficial y las morfologías tipo.

En resumen, podemos decir que la morfología de un cristal es el resultado de la compleja interacción de varios factores (estructurales, termodinámicos y cinéticos). Por lo tanto, una misma especie mineral es capaz de mostrar diferentes morfologías (hábitos) como respuesta a las variaciones introducidas en el medio.

4. Fabrica tu propia gema

Para crear nuestros cristales de sal gema debemos preparar una disolución saturada; para lo cual necesitaremos los siguientes materiales: sal de mesa (solute), agua destilada (disolvente), balanza para pesar el soluto, probeta graduada para medir el volumen del disolvente, recipiente para realizar la disolución (vaso de precipitado, cacito, etc.), cuchara para agitar la disolución, filtro y cristalizadores (placa de Petri o recipiente similar).

De las curvas de solubilidad teóricas existentes sobre el cloruro sódico (ver figura 9) deducimos que la concentración de saturación (C_e) apenas estará influenciada por la temperatura. Por lo tanto, a efectos prácticos **no necesitaremos calentar la disolución**, la haremos a temperatura ambiente.

Tras preparar una disolución saturada hay que dejarla reposar unas 12 horas para decantar posibles impurezas del soluto. Una vez retiradas las impurezas, por filtrado o decantación, vertemos la disolución en una placa de Petri (u otro recipiente de vidrio similar) y la colocaremos en un sitio alejado del tránsito y lejos de cualquier fuente de vibración. El recipiente cristalizador lo cubrimos con una caja de cartón, papel de filtro o cualquier objeto que proteja la disolución de la entrada de partículas de polvo pero al mismo tiempo facilite la evaporación; y lo dejamos allí un tiempo.

Al cabo de varios días podemos observar que el fondo del recipiente aparece completamente tapizado de cientos de cristales de halita (Fig.8). Analicemos los resultados:

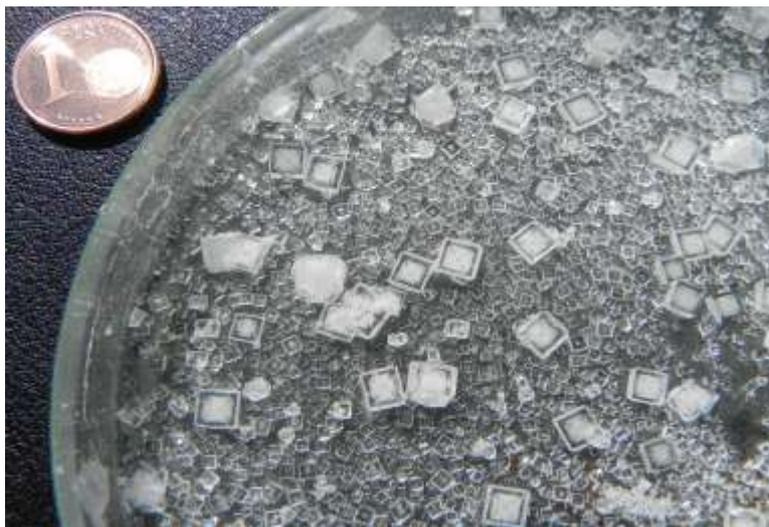


Figura 8. Detalle de una placa de Petri donde, tras 6 días de evaporación, han cristalizado numerosos ejemplares de halita.

1. Hay muchos cristales. Eso significa que ha habido mucha nucleación, por lo que el “alimento” que había en la disolución (el soluto) ha tenido que repartirse entre todos los núcleos formados. Conclusión: los cristales han crecido poco.
2. Del punto anterior deducimos que se ha atravesado de forma rápida la curva de supersolubilidad (posición C) debido a una rápida evaporación (ver figura 9, Izqda).
3. Hay dos tamaños de cristales. Los cristales más grandes son los que nuclearon en cuanto la disolución llegó a tocar la curva de supersolubilidad (punto C), teniendo algo de tiempo para crecer antes de que la disolución siguiese concentrándose dentro de la zona de nucleación.
4. Todas las aristas de los cristales forman ángulos rectos entre sí con una gran precisión, apuntado hacia una cristalización en el sistema cúbico. No obstante, aunque existen cristales de hábito cúbico, la morfología predominante es tabular debido a que las caras laterales han presentado una velocidad de crecimiento distinta a la cara que mira hacia arriba (001).
5. Las caras (001) parecen estar deprimidas por el centro, lo que se explica porque las aristas atraen más UC que el centro de las caras, acorde con un mecanismo de crecimiento de nucleación 2D que puede dar morfologías de tipo “*tabular hopper*”.
6. Por último, todos los cristales de mayor tamaño muestran en el centro una especie de “cruz patada” de brazos extendidos. Esa figura responde a la presencia de numerosas inclusiones fluidas, tanto en el núcleo como en buena parte de los sectores de crecimiento (ver Fig. 9, Drcha).

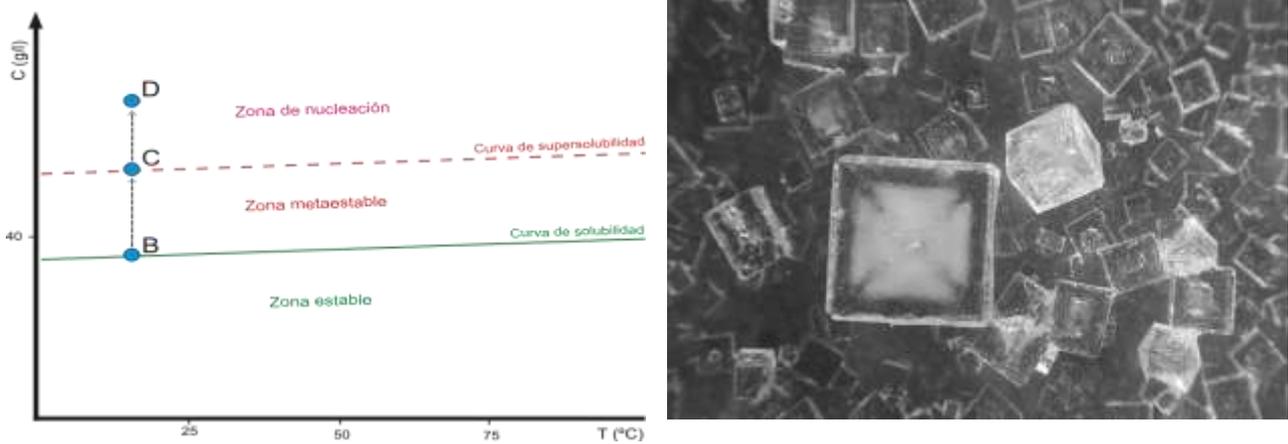


Figura 9. Izqda: Pasos intermedios por los que pasa nuestra disolución a medida que se va evaporando. Drcha: En esta imagen se aprecia como los cristales más pequeños presentan en el centro de las caras (001) una depresión. Por otro lado, llama la atención la "cruz patada" de brazos extendidos que presenta el cristal de mayor tamaño.

Si nos ha gustado la experiencia quizás queramos seguir. Si es así, tenemos dos opciones:

- Repetir el proceso pero con un volumen mayor de disolución. De esta forma la evaporación será más lenta y la disolución tardará más tiempo en ir del punto B al D (ver figura 9, Izqda).
- Elegir los cristales más grandes y perfectos de esta primera cristalización y utilizarlos, a modo de "semillas", en una segunda cristalización. Aquí lo que debemos de intentar es que la disolución pase el mayor tiempo posible en la zona metaestable de la gráfica. En esta zona metaestable no deberían de crearse nuevos núcleos de crecimiento y es una zona donde solo va a crecer el cristal (Fig. 10, Izqda). Para eso necesitamos también que la evaporación sea muy lenta.

La morfología de estos cristales difiere de la obtenida en los cristalizadores de cualquier salina tradicional o en una mina de sal. El grado de compactación, diagénesis y recristalización de las rocas que contienen estos minerales va a condicionar su morfología final.

Por ejemplo, las variedades de halita que podemos encontrar en un gran salar (Fig. 10, Drcha) van desde la halita lechosa o *cloudy halite* (en la que se pueden distinguir las texturas originales *chevron* y *hopper*) a la halita transparente o *clear halite* (producida por cristalización lenta). Por otro lado, las rocas evaporíticas sometidas a mayores presiones y temperaturas, ya sea por procesos tectónicos o simplemente por presiones litoestáticas, suelen presentar cristales transparentes por recristalización con textura en mosaico y con escasas estructuras primarias.



Figura 10. Izqda: Cristales de halita obtenidos tras un periodo de lenta evaporación de 64 días. Muestras cedidas por Ana María Martínez del IES Bezmiliana (Rincón de la Victoria – Málaga). Drcha: A la izquierda una muestra transparente de halita de la mina de sal de Remolinos, Zaragoza. A la derecha, agregado de cristales de halita lechosa, tipo hopper, de la salina de San Vicente, San Fernando. Muestras de Jerónimo Moreno.

5. ¿Hay sales que no se llamen gema?

Por supuesto que hay más sales que se pueden cristalizar. Hace poco más de 10 años en los centros de enseñanza sólo se cristalizaba, como experiencia de una sesión o dos, cloruro sódico y sulfato cúprico. Pero actualmente gracias al "Concurso de Cristalización en la Escuela", desarrollado y promovido por Juan Manuel García Ruiz (científico del CSIC), hay centros de Andalucía que dedican casi los tres trimestres del curso a desarrollar proyectos de cristalización con diversas sales (Tabla 1). Algunos de los ejemplares de cristales obtenidos con estos tipos de sales pueden alcanzar grandes tamaños y morfologías muy llamativas, como los que se muestran en la figura 11.

Tabla 1. Sales que pueden ser utilizadas en experiencias de cristalización

Nombre de la sal	Nombre común	Fórmula
Cloruro sódico	Sal	NaCl
Sulfato de Cobre (II) Pentahidratado	Sulfato cúprico	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Fosfato Monoamónico	ADP	$\text{NH}_4 \text{H}_2\text{PO}_4$
Sulfato de Potasio y Aluminio	Alumbre de K	$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Fosfato Diácido de Potasio	KDP	KH_2PO_4
Tetraborato Disódico	Bórax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Tartrato de Sodio y Potasio	Sal de Rochelle	$\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Sulfato de Hierro (II) y Amonio Hexahidratado	Sal de Mohr	$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Ferricianuro de Potasio	Rojo de Prusia	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$
Acetato de Cobre (II) Monohidratado	-	$\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Sulfato de Potasio y Cromo	Alumbre de Cr	$\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12(\text{H}_2\text{O})$
Sulfato de magnesio heptahidratado	Epsomita	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$



Figura 11. A la izquierda: magnífico ejemplar de casi 5 kg de peso de ADP perteneciente al Hermann-Mauguin Team 222 del IES Las Salinas. A la derecha: buenos ejemplares de cristales octaédricos de alumbre de potasio (arriba), triclinicos de sulfato de cobre (azules), y cúbicos de halita (abajo en el centro). Muestras cedidas por Ana María Martínez, profesora del IES Bezmiliana (Rincón de la Victoria – Málaga).

Parada 2. Museo Geológico del Dpto. de CC de la Tierra UCA

El Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Cádiz viene desarrollando en los últimos años una intensa labor de divulgación de la geología entre la sociedad gaditana. Entre las actividades puestas en marcha pueden citarse la celebración anual de excursiones de divulgación geológica, conocidas como “Geolodías”, desde el año 2011, o de las “Olimpiadas Españolas de Geología” para alumnos de Educación Secundaria desde el año 2015.

Igualmente, con un valor tanto divulgativo como docente, hay que citar la reciente creación del “Museo Geológico” de la UCA en el que se muestra una extensa colección de materiales geológicos, rocas, minerales y fósiles en una serie de vitrinas colocadas en nuestras instalaciones de la Facultad de Ciencias. Con esta iniciativa, pretendemos ayudar a conseguir un campus didáctico, que venga a mostrar la riqueza de la geodiversidad en forma de variedades litológicas, mineralógicas y de fósiles con alto valor docente para los estudiantes de nuestro campus y de centros de secundaria de la provincia, y también con carácter divulgativo para la sociedad en general.



Figura 12. Aspecto general y ejemplares de minerales (haluros) del museo geológico

En las primeras vitrinas se muestran ejemplares de minerales (Fig. 12) así como de algunos compuestos cristalinos sintéticos cristalizados a partir de disoluciones. Se sigue la clasificación mineralógica de Strunz (1982) que va desde la clase 1: Elementos, hasta la clase 9: Silicatos, pasando por las clases 2: sulfuros y sulfosales, 3: haluros 4: óxidos e hidróxidos 5: carbonatos y nitratos, 6: boratos, 7: sulfatos, cromatos, molibdatos y wolframatos, y 8: fosfatos, arseniatos y vanadatos. Algunos minerales fluorescentes se iluminan en una vitrina con luces ultravioleta. Las vitrinas de rocas (Fig. 13) muestran los principales tipos litológicos de rocas sedimentarias (detriticas, de precipitación química y organógenas), ígneas (plutónicas y volcánicas), y metamórficas (foliadas y no foliadas). Por último, también se muestran algunos ejemplares de fósiles (Fig. 13), especialmente de los que aparecen en los sedimentos de la provincia de Cádiz, pero también recogidos en otros contextos geológicos y representativos de la vida de otros tiempos geológicos.



Figura 13. Fotografías de ejemplares de rocas y de fósiles del museo geológico

Parada 3. ¡La mar de salada! Salinas costeras de La Tapa

1. Hagamos un poco de historia de las salinas costeras de la bahía de Cádiz

La diversidad de minerales presentes en el planeta Tierra ha beneficiado a muchos seres vivos durante su evolución. Un buen ejemplo de ello se encuentra en las sales minerales, en particular el cloruro sódico (NaCl), conocido como sal gema o sal común, y su aprovechamiento por parte del ser humano data desde la antigüedad. La presencia de la sal en todas las culturas pone de manifiesto la gran importancia de este elemento en la vida cotidiana y con diversos usos en distintas zonas y periodos de la historia. El cambio de alimentación que se produce en el Neolítico como consecuencia del paso de la vida nómada a la sedentaria, con predominio de alimentos procedentes de la agricultura, lleva a la necesidad de complementar la dieta con el consumo directo de sal común (Alonso et al. 2003).

El estudio de la arqueología prehistórica en el contexto europeo, ha encontrado evidencias relativas a la comercialización de la sal gema y de ignición con anterioridad al año 4000 a. C. en el suroeste de la Península Ibérica. Algunos yacimientos de extracción de sal, tienen interés geológico y cultural y datan de entre el 4000 y el siglo VIII a. C. Los registros más antiguos encontrados sobre la producción y comercialización de la sal se le atribuyen a los fenicios, egipcios y romanos (Alonso et al. 2003; Boak, 1937; Pastor, 1880).

La producción de sal en la Bahía de Cádiz data de épocas muy antiguas y ha estado relacionada con la conservación de los alimentos y la industria de salazones de la época fenicio-púnica y romana, destacando el afamado “garum gaditanum”, que gozó de una gran consideración en las sociedades de Grecia y Roma en la época clásica (Frutos y Muñoz, 1996). Durante el periodo hispano-musulmán, la sal de Cádiz se usó para la conservación de los atunes capturados en las almadrabas y nutrió a la población de al-Andalus y del reino nazarí de Granada durante el siglo XV, incluso después de que el territorio fuera reconquistado por los cristianos (Torrejón, 2008). La Bahía de Cádiz ha sido el centro productor de sal marina más importante del litoral atlántico español (Fig. 14) y junto a la sal procedente de Torreveja, en la costa mediterránea, han dominado la producción de sal en España durante los tres últimos siglos.



Figura 14. Dibujo de las salinas del Puerto de Santa María por Anton Van Den Wyngaerde. 1567

La tradición jurídica de Castilla consideraba que los lugares cubiertos por el agua del mar en su mayor crecienta de todo el año pertenecían a todos (res omnium), de ahí que se hallasen sometidos al derecho patrimonial público (Torrejón, 2008). Históricamente, emperadores y reyes han mantenido bajo su control en forma de monopolio la producción y/o el comercio de algunos productos que, por su importancia estratégica y su valor constituían una segura fuente de ingresos para el mantenimiento de sus funciones. La sal ha sido el producto estancado más antiguo y el que generaba mayores rentas a la Real Hacienda hasta

que fue desplazado por el estanco del tabaco a mediados del siglo XVII (Torrejón, 2008). Ambos constituían el grupo de los estancos mayores y no fue hasta 1870 cuando el comercio de la sal fue liberado.

Además de la consumida en la propia Bahía para satisfacer las necesidades locales y las de las poblaciones cercanas, la sal de la Bahía de Cádiz aprovisionó, preferentemente, a las pesquerías de Galicia y del Cantábrico, a la costa del Reino de Granada, y a las almadras del litoral gaditano.

Durante el siglo XVIII se produjo una importante expansión de la sal gaditana, que fue consecuencia de un aumento general de la población y de las actividades económicas, en este sentido, cabe destacar el ahora celebrado tricentenario del traslado a Cádiz desde Sevilla de la Real Casa de la Contratación, que provocó el auge de la navegación y del comercio marítimo a partir de 1717, especialmente por controlar la el monopolio con América (Torrejón, 2008).

Entre los años 1760 y 1780 se crearon en torno a 50 nuevas salinas en la Bahía de Cádiz, la mayor parte en manos de particulares estimulados por la Real Hacienda para poder hacer frente a la creciente demanda. Pero los bajos precios pagados durante un largo periodo hicieron que el sector salinero entrara en una importante crisis que se prolongó en las siguientes décadas como consecuencia de la paulatina pérdida de las colonias americanas y de las guerras mantenidas en el primer tercio del siglo XIX (Torrejón, 2008). Durante el resto del siglo XIX se vivió una gran expansión de las salinas gaditanas. Se roturaron nuevas fincas y se amplió la superficie de otras ya existentes. Se pasó de 66 salinas en 1823 a casi 150 a finales de siglo, las cuales ocupaban una extensión total aproximada de 8.000 hectáreas y una producción de unas 300.000 toneladas (Sánchez Gomar, 2017).

Esta expansión vino acompañada de una nefasta consecuencia, el aterramiento o colmatación de la Bahía de Cádiz. En 1885, el geólogo Eduardo Benot llamó la atención sobre este particular, indicando la estrecha relación existente entre el fuerte incremento del número de estas explotaciones y el acelerado proceso de colmatación que se estaba experimentando en la Bahía durante ese siglo (Sánchez Gomar, 2017).

En el XIX, el gran siglo de la sal, la producción de la ribera gaditana se destinó en su mayor parte a los mercados exteriores, llegando en ocasiones la sal exportada a representar hasta el 80 por ciento del total de las ventas. La demanda de la sal de la Bahía de Cádiz se centró principalmente en las Américas del Sur y del Norte, y en la Europa septentrional. El miedo a la libre competencia propició que en la Bahía de Cádiz apareciera un cartel o convenio legalmente constituido (Concierto General de Cosecheros de Sales de 1862) por el cual los productores salineros evitaron la mutua competencia, para lo cual regularon la producción, la venta y los precios. (Torrejón, 2008).

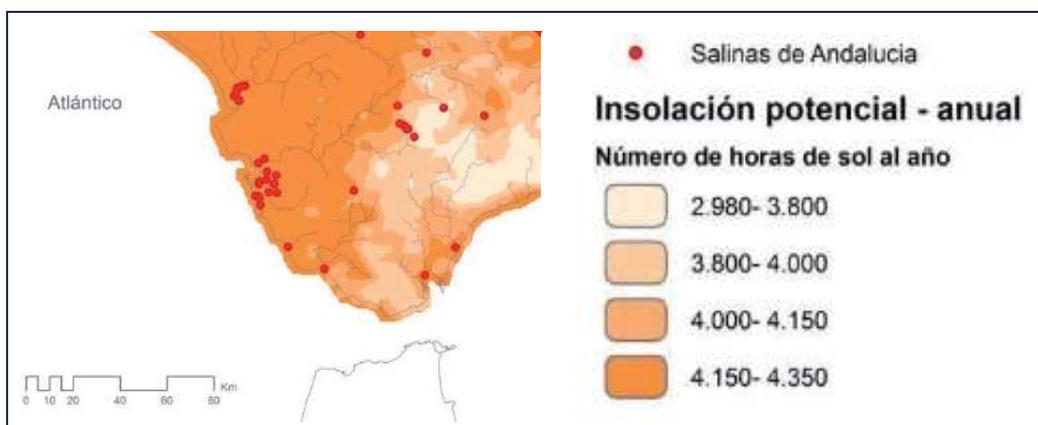


Figura 15. Salinas del suroeste andaluz, modificado de Román López, 2014

A partir de los años treinta del siglo XX se inicia la decadencia de la producción de sal en la Bahía de Cádiz, y en los años sesenta esta actividad entra en un declive irremediable, debido a diversas causas: la industrialización y mecanización de grandes salinas en el Mediterráneo; el auge de la conservación de los alimentos mediante aparatos frigoríficos; la subida de los costes; la depreciación de la sal no vendida en la temporada; el aumento de la presión fiscal y la pérdida de mercados. El ejemplo de la Bahía de Cádiz es significativo (Fig. 15). A partir de mediados del siglo XX se había abandonado el 80 por ciento de las salinas, de las 136 hasta entonces activas, se pasó a 11 en 1996, y a tan sólo 4 en 1999 (Sánchez Gomar, 2017).

En la actualidad, más de la mitad de las antiguas salinas, concretamente 65, han sido transformadas para la acuicultura intensiva o semiintensiva; el resto, o bien ha desaparecido al quedar fosilizadas por los continuos rellenos que se practican para ganar terreno industrial y urbano, o permanecen abandonadas y amenazadas de desaparición por la simple acción de la naturaleza ante la falta mantenimiento de sus estructuras. La pervivencia hasta nuestros días de muchas de estas estructuras, además de suponer la conservación de un rico patrimonio industrial, paisajístico, arqueológico y etnográfico, ha contribuido al mantenimiento de la rica biodiversidad en los humedales litorales. Es pues un ejemplo de patrimonio en el que se aúnan valores naturales y culturales como partes de un binomio indisoluble que, históricamente, ha marcado la relación del hombre con su entorno (Sánchez Gomar, 2017).

2. ¿Cuánta sal tiene el mar?

El agua marina posee una salinidad promedio de unos 36 g/l (Tabla 2), que se mantiene prácticamente constante y homogénea en todos los mares y océanos. Esta salinidad la podemos expresar no solo en gramos de soluto por litro de solución (g/l), sino también en gramos por kilogramo (gr/kg), o lo que es lo mismo en partes por mil (‰), además de por su densidad (gr/cm³) y, sobre todo en las labores de una salina, en grados Baumé (Bé), referidos también a valores de densidad.

Tabla 2. Valores de salinidad del agua marina, (a 20°C y para un volumen inicial de 1000 l. (Modificado de Ortí, 2010).

Volumen de la solución	Concentración (g/l)	Salinidad (‰)	Densidad (g/cm ³)	Grados Baumé	Tipo de agua
100.000	0,4	0,4	1	—	Agua “dulce”
1.000	36	36	1,0257	3,6	Agua marina
240	154	140	1,107	14	Saturación en yeso (agua marina)
110	323	266	1,216	25,6	Saturación en halita (salmuera marina)

La composición química promedio, en lo que se refiere a los iones más abundantes, está constituida mayoritariamente por los siguientes cationes y aniones (en ‰) : Na⁺ (10,56), Mg²⁺ (1,27), Ca²⁺(0,40), K⁺ (0,38), Cl⁻ (18,98), SO₄²⁻ (2,65), HCO₃⁻ (0,14), Br⁻ (0,065) y cantidades menores de Sr²⁺, F⁻ y B. Esta composición, de historia y procedencia oceánica complejas, se asume que ha permanecido invariable durante todo el Fanerozoico. Desde un punto de vista teórico, las especies químicas dominantes en este agua serán el cloruro sódico (78%), cloruro magnésico (9,2%), sulfato magnésico (6,5%), sulfato cálcico (3,8%), cloruro potásico (2,1%) y cantidades menores de carbonato cálcico y otras sales. Partiendo de un volumen inicial de agua marina, en un contexto evaporítico, y a medida que el proceso de evaporación avanza, disminuirá el volumen de solución y aumentará la salinidad y la densidad de la salmuera remanente, precipitando progresivamente las distintas sales (CaCO₃, CaSO₄, NaCl y sales de K-Mg) en función de sus diferentes productos de solubilidad.

En sedimentología evaporítica se utilizan diversas escalas de salinidad para referirse a las aguas con una salinidad superior a la marina (hipersalinas), siendo una de las más utilizadas la de Kirkland y Evans (1981), que en función de la concentración de sales en g/l, utiliza los siguientes términos: mesosalina (entre 36 y 140), penesalina (140 a 250), salina (250 a 350) y supersalina (> 350). Esta terminología tiene su interés en que dichos intervalos se corresponden con los diferentes dominios sedimentarios (carbonatos, sulfatos, cloruros y sales de K-Mg) observables en los medios evaporíticos costeros actuales, como en el caso de las salinas de evaporación.

3. Ambientes sedimentarios evaporíticos marinos

En la actualidad no existen mares epicontinentales evaporíticos comparables a los del pasado geológico, es por ello que a lo largo del Holoceno la sedimentación evaporítica marina se ha caracterizado por la ausencia de grandes formaciones (Ortí, 2010). Las principales regiones evaporíticas actuales, aunque de poca importancia, se distribuyen por algunas zonas litorales de las franjas árida y semiárida del planeta. Estos ambientes sedimentarios se sitúan fundamentalmente en la zona de transición marino-continental (ambientes mixtos o costeros), en la que el carácter subacuático o subaéreo de la sedimentación diferencia entre, **la salina** o lago salado costero, y **la *sabkha*** o llanura salada supramareal.

El tipo de ambiente que nos ocupa, la salina costera, está cubierto por cuerpos de agua relativamente estables, de pequeñas dimensiones (de km a decenas de km) y escasa profundidad (de decenas de cm a pocos m), con salmueras a diferentes concentraciones, que en ningún caso alcanzan el estadio de sales de K-Mg. Por lo tanto, los cuerpos de agua de este tipo se corresponden con lagos salados (*laguna, lagoon, salt pan, pond, pool, bahira, etc.*) y con estuarios hipersalinos. Los primeros suelen mostrar dispositivos de salinidad concéntricos y los segundos fuertemente asimétricos.

4. Estructura de una salina costera y cristalización fraccionada por evaporación

Para la obtención de la sal, el agua marina se somete a un proceso de cristalización fraccionada, por evaporación del solvente, en el que se van separando las sales más insolubles en equilibrio con el resto de la solución. Se trata, por tanto, de un proceso progresivo, que sucede en las distintas partes que componen una salina (Fig. 16), en el que se establece un gradiente de concentración desde que el agua del mar penetra en el sistema hasta que se obtiene por precipitación el cloruro sódico.



Figura 16. Partes de una salina costera y procesos que se dan en ellas

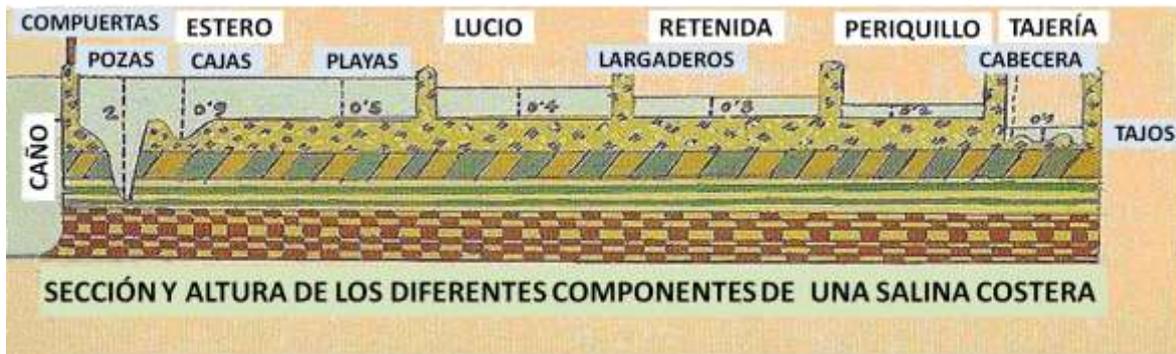


Figura 17. Sección de una salina costera y profundidades de las distintas zonas que la componen.

La secuencia detallada del proceso de evaporación/precipitación se puede describir a través de una serie de fases que enunciamos a continuación y que ocurren en las distintas zonas de la salina costera (Fig. 16 y 17):

1. A los **esteros** llega el agua de mar desde los **caños** de alimentación, y en ellos, tras la evaporación aproximada del 50% del volumen total de agua, alcanza una salinidad comprendida entre 5 y 7 grados Bé. Aunque no se produce precipitación de sales, sí tiene lugar la sedimentación de la materia en suspensión.
2. Es en las **vuelatas de lucio** donde, una vez evaporado un volumen adicional del 18% (7 a 12 grados Bé), comienza la precipitación de las primeras sales (hasta un 55% del carbonato cálcico) y la totalidad de los óxidos de hierro. Éste es el dominio de los carbonatos, con predominio de aragonito y calcita magnésica.
3. Tiene lugar en las **vuelatas de retenida** y una vez que se ha evaporado un 15% más del volumen inicial de agua (12 a 18 grados Bé). A partir de 15 grados Bé se da la precipitación del 60% de sulfato cálcico (dominio de los sulfatos, principalmente yeso), también precipita el resto del carbonato cálcico.
4. Ya en las **vuelatas de periquillo** y en los **canales de cabecera** se ha evaporado un 5% más de agua, alcanzándose unas concentraciones de entre 210 y 300 g/l (18 y 24 grados Bé). Aquí precipita un 25% más de yesos. A salinidad de 22 grados Bé, las aguas se tiñen de rosa por la presencia de *Artemia salina* (Fig. 18).
5. En los **tajos** o **cristalizadores** (Fig. 18), con una salinidad en torno a 24 grados Bé y tras evaporarse un 5% del agua restante, el agua residual es aproximadamente el 6% del volumen inicial y se denomina lejía. Al alcanzarse una salinidad aproximada de 26 grados Bé precipita la práctica totalidad del cloruro sódico (halita, domino de los cloruros), que se amontona en el salero (Fig. 18), así como el restante yeso.

Si en esta salmuera residual se sobrepasan los 28 grados Bé, comenzará la precipitación del bromuro sódico y las sales de magnesio. Para evitar esto, es preciso tener alimentados los cristalizadores asegurando un volumen de agua que impida dicha precipitación.



Figura 18. Fotografías del salero o montaña de sal, canal de cabecera y tajo o cristalizador en las Salinas de La Tapa

Parada 4. ¡En el Interior también hay sal! Salinas de Iptuci

1. ¿De dónde sale la sal en el interior? Contexto Geológico de las Salinas interiores

El Triásico es la primera de las tres partes en las que se divide la era Mesozoica. Abarca desde el final del Pérmico (hace $251 \pm 0,4$ millones de años) hasta el principio del Jurásico (hace $199,6 \pm 0,6$ millones de años), una etapa de la historia terrestre marcada por grandes eventos de extinción. Su nombre se debe a Friedrich Von Alberti (1834), quien se basó en los tres distintos tipos de capas que presentaban los suelos de este periodo (llamados trías). Durante este periodo de la historia terrestre, casi todas las masas de tierra del planeta se encontraban concentradas en un sólo supercontinente, llamado Pangea y situado más o menos sobre el ecuador (Fig. 19).



Figura 19: Mapamundi durante el periodo Triásico (251 millones de años).

Al oriente de éste, se abría un amplio golfo formando el Mar de Tethys (en uno de sus márgenes se encontraría la Península Ibérica actual, círculo rojo en figura 19). El resto de las aguas constituían el océano de Panthalassa. Al final del Triásico comenzaron los movimientos tectónicos que provocaron la fragmentación de Pangea y empezaron a configurar algunos de los continentes que ahora conocemos.

Un factor importante durante este periodo fue el clima, generalmente cálido y seco. No tenemos evidencias de glaciaciones, ni siquiera cerca de los polos. El gran tamaño de Pangea motivó que su clima fuese fuertemente continental, dominado por inviernos fríos y veranos muy calurosos.

Los sedimentos del Triásico, denominados también como facies germánico-andaluzas, constituyen el comienzo del ciclo de sedimentación alpino en gran parte de las regiones españolas. En casi toda la Península Ibérica se encuentra este Trías de tipo germánico, donde se reconocen las facies Buntsandstein, Muschelkalk y Keuper, variando sus características y potencias según las distintas cuencas sedimentarias (Fig. 20). Hace unos 235 millones de años el nivel del mar subió notablemente, de tal manera que casi toda Andalucía estuvo sumergida bajo las aguas marinas (facies Muschelkalk), formándose carbonatos marinos ricos en conchas de moluscos, organismos que habitaban aquellos mares de poca profundidad.

Durante el Triásico Superior (Carniense), Andalucía debió ser una extensa llanura costera, que estuvo atravesada por ríos poco profundos y con amplios cauces (facies Keuper). En las zonas próximas al litoral

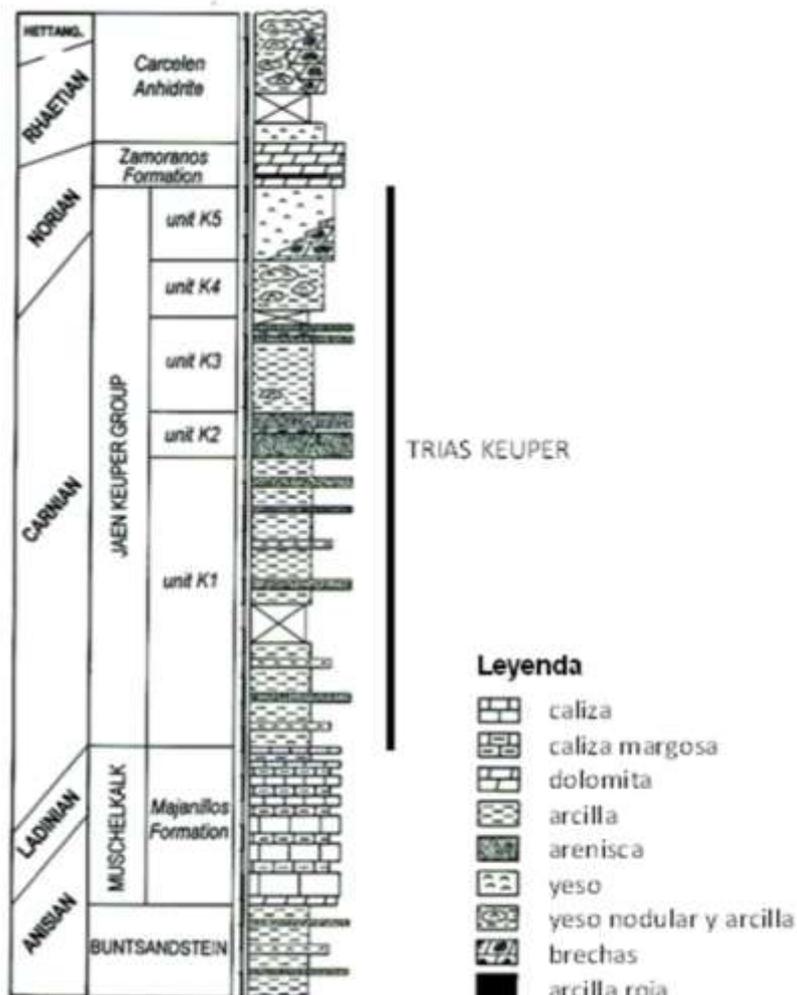


Figura 20: Columna estratigráfica del Triásico de la zona Externa de la Cordillera Bética (a partir de Pérez López y López, 1998).

aparecieron lagunas, charcas y marismas que se comunicaban con bahías y ensenadas, con gran desarrollo de zonas restringidas tipo “sabkha” (salares) (Pérez-López y López Chicano, 1989). Con las condiciones climáticas y ambientales que se han citado para el Triásico, tan drásticas para la vida, es evidente que la fauna y la flora debieron ser escasas y, por lo tanto, el registro fósil sea casi inexistente en estos materiales.

Los sedimentos de edad triásico superior depositados entre (227-205 m.a.), y denominados en conjunto como facies Keuper están compuestos de evaporitas: arcillas y margas abigarradas, de colores variables (rojas, verdes, amarillas) (Fig. 21 a), yesos rojos y blancos con recristalizaciones secundarias, sales, nódulos de azufre y cuarzos bipiramidales (Fig. 21 b). Además, aparecen rocas carbonatadas, dolomías tableadas a las que se denomina carniolas (de color gris y pardo oscuro a negro, ricas en materia orgánica, de aspecto brechoide y con oquedades, debidas a la disolución de sulfatos); areniscas arcillosas micáceas de color rojo o amarillo; niveles conglomeráticos de colores oscuros con matriz escasa y bloques de rocas eruptivas básicas (ofitas). Estas rocas de tipo dolerita, se formaron en un contexto distensivo de margen pasivo que produjo una actividad volcánica submarina con intrusiones subvolcánicas someras.

orgánica, de aspecto brechoide y con oquedades, debidas a la disolución de sulfatos); areniscas arcillosas micáceas de color rojo o amarillo; niveles conglomeráticos de colores oscuros con matriz escasa y bloques de rocas eruptivas básicas (ofitas). Estas rocas de tipo dolerita, se formaron en un contexto distensivo de margen pasivo que produjo una actividad volcánica submarina con intrusiones subvolcánicas someras.



Figura 21: a) Afloramiento geológico de los materiales triásicos (Keuper), con arcillas rojas amarillas y verdes, yesos y areniscas, y b) Cristales y agregados cristalinos de cuarzo (Jacintos de Compostela) de diferentes coloraciones. Junto a la Salina de Raimundo o de Iptuci, en la Vega Salada, Prado del Rey, Cádiz.

Las "facies Keuper" afloran en numerosas partes de las Zonas Externas de la Cordillera Bética, desde la provincia de Cádiz, en el extremo suroeste, hasta la de Almería en el este, donde han sido explotadas para la obtención de sales y yeso. El yeso, al ser un material soluble, es propenso a sufrir procesos de disolución y por tanto morfologías como las dolinas, con buenos ejemplos en las proximidades de El Gastor y Olvera.

Estos niveles de evaporitas y arcillas triásicas tuvieron una gran importancia hace unos 25 millones de años en las Cordilleras Béticas, ya que durante la etapa orogénica favorecieron el despeque tectónico respecto de su basamento y la deformación de las unidades Subbéticas, con rocas del Triásico al Neógeno. En este proceso, fueron arrastrando consigo los materiales de diferente edad y naturaleza. En los afloramientos suele presentarse una estructura interna caótica, con bloques de rocas de materiales post-triásicos, de diferentes litologías y de tamaño muy variado (desde métricos a hectométricos), diseminados dentro del conjunto arcilloso-yesífero (Fig. 22 a), así, nos podemos encontrar arcillas, yesos, carniolas, ofitas, calizas, margas, etc. Dicho proceso aún se encuentra activo.

También se han producido diapiros salinos a favor de estas evaporitas del triásico Keuper, como ocurre en Antequera o Añana (Navarra). Una buena recreación en video de cómo funciona un diapiro puede observarse en esta WEB: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bb/DiapiroSalino.svg> o en esta otra: <http://www.ugr.es/~aperezl/Triasticoandalucia.htm>

Las sales, especialmente la halita (NaCl), puede ser disuelta junto con el yeso por las aguas subterráneas y producir salmueras que pueden aflorar a la superficie en forma de manantiales salinos (Fig. 22). Este es el caso de la Vega Salada, en el término de Prado del Rey, una zona en torno al Arroyo Salado (Fig. 22 b), con varios manantiales hipersalinos que han sido aprovechados desde tiempos remotos por el ser humano para la obtención de esta preciada materia prima. Estas soluciones hipersalinas surgen por dichos manantiales, acompañadas de emanaciones de gases, que podemos observar en la parada de la Salina de Iptuci o de Raimundo (Fig. 23).

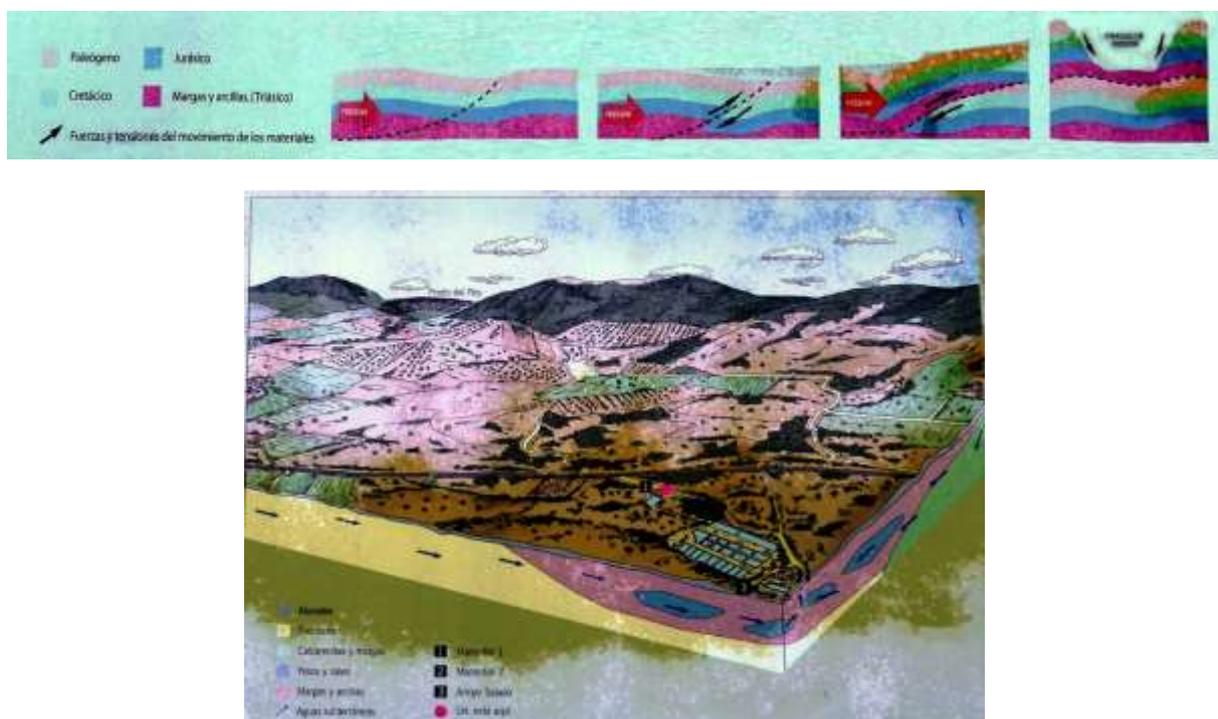


Figura 22: a): Esquema de la evolución tectónica de la zona de materiales subbéticos en Prado del Rey; b): Bloque diagrama de la geología y circulación de agua bajo el Arroyo Salado, Prado del Rey, Cádiz (panel del Parque Natural de Los Alcornocales, Junta de Andalucía, en la Salina de Iptuci).



Figura 23. a): Manantial salino que alimenta a la Salina de Raimundo, en la Vega Salada, Prado del Rey, Cádiz. Foto tomada en primavera 2018 y tras época de lluvias intensas, mostrando un gran caudal y un intenso burbujeo de gases. b): Surgencia de aguas muertas en la salina de Raimundo durante el verano.

Cuando el agua de lluvia que cae sobre los materiales del Keuper, en primer lugar, atraviesa los estratos superiores de roca y tras ellos, las capas de sal, pudiendo surgir la salmuera de nuevo a la superficie en forma de manantiales hipersalinos. Los manantiales de la Salina de Ambrosio (Iptuci), tienen un caudal medio de unos 0,5-2 litros por segundo, con una concentración salina en torno a 210 gramos por litro. En la Salina de Raimundo, podemos observar diferentes etapas de precipitación de sales a partir de la solución que aflora en el manantial, con un primer depósito de compuestos ricos en hierro, que confieren a las costras formadas los típicos colores rojizos y amarillentos (Fig. 23), a continuación, ya en los decantadores y los calentadores (Fig. 24), precipita fundamentalmente el yeso, que dependiendo de su velocidad de precipitación presenta cristales aciculares o grandes cristales en macla de cola de golondrina (Fig. 25).



Figura 24: Imagen aérea del sistema de distribución de balsas calentadoras y cristalizadores en la salina de Raimundo.

Finalmente, el agua, cada vez más concentrada en cloruros, termina precipitando los cristales de halita en los cristalizadores de la salina, generalmente en la parte más baja de la misma, adonde va llegando por gravedad, especialmente en los meses de temporada, coincidente con la época veraniega con fuertes vientos de levante (Fig. 26 a). La morfología típica de dichos cristales es la de cubos, con crecimiento “en tolva” (Fig. 26 b).



Figura 25. a) Agregados de cristales de yeso, con impurezas ferruginosas, crecidas en las balsas de concentración de las salinas de Prado del Rey. Estos cristales crecen por sobresaturación de estas sales en las épocas de gran evaporación y sobre restos vegetales tales como ramas y hojas. b) Dominan las maclas en “cola de golondrina” de hábito alargado.



Figura 26: a) Salina de Raimundo en temporada (año 2017). b) Cristales de halita (NaCl) de la salina de Ambrosio,

2. Salinas en la vega salada de hortalas, de la prehistoria a la actualidad

Las labores salineras en el medio atlántico de ambas orillas del Estrecho de Gibraltar tienen una larga tradición que se remonta al menos hasta la Antigüedad. Es bien conocida la ya mencionada vinculación de todo este litoral con la explotación salinera de época fenicio-púnica y romana, como imprescindible condimento de su afamada industria de conservas de pescado. No obstante, las fuentes continentales de los recursos salinos todavía no se habían valorado suficientemente y habían pasado prácticamente desapercibidas para la investigación geo-arqueológica.

Muchos son los manantiales salinos existentes a lo largo de la banda de materiales de facies Trías Keuper que recorre el extremo suroccidental de la Cordillera Bética, desde la costa hasta el extremo nororiental de la provincia de Cádiz, en la zona de Puerto Serrano-Olvera. Estos materiales triásicos que pertenecen al Subbético, marcan este espacio geográfico como una franja de dirección SW-NE. Para esta temática cobra especial interés el entorno de las actuales localidades de Prado del Rey y El Bosque. En esta área concreta se produce uno de los contactos de los niveles triásicos que configuran el sustrato geológico junto con las margas del Keuper, lo que ha favorecido la emisión de aguas saturadas de NaCl/halita en pequeñas pozas

más o menos superficiales. En este contexto geográfico (Fig. 27) se ha conservado un buen registro, tanto arqueológico, con evidencia de un poblamiento estructurado desde la Prehistoria, como etnográfico, en diferentes salinas de datación contemporánea en desuso mayoritariamente. Desde los primeros años del siglo XXI, una de estas explotaciones tradicionales se ha rehabilitado y puesto en valor, obteniéndose sal y comercializándose en diversos formatos, sirviendo además como recurso didáctico y turístico.

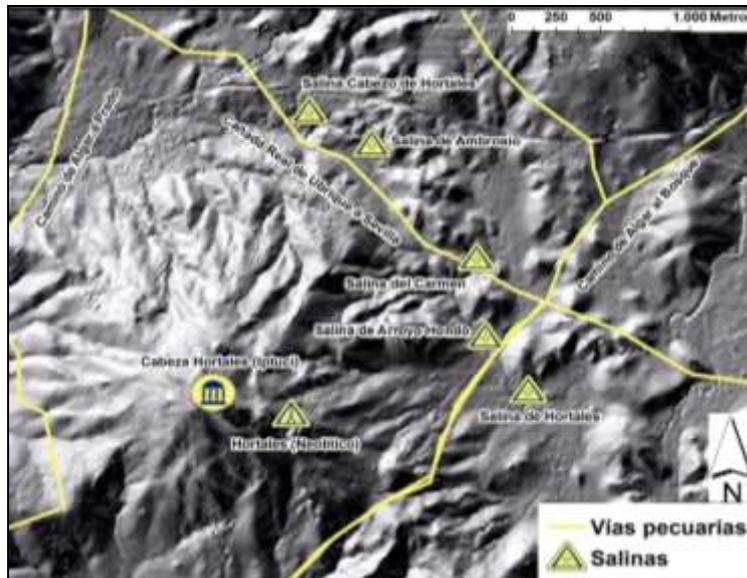


Figura 27: Red de caminería antigua, situación de las salinas contemporáneas, de la salina romana de Arroyo Hondo y de los yacimientos arqueológicos sobre un Modelo Digital de Elevaciones.

Dominando este espacio de explotación salinera se encuentra el yacimiento arqueológico de la Cabeza de Hortales. Este lugar de asentamiento inaugura su ocupación en el Neolítico, durante el VI milenio, es el núcleo urbano tartésico y turdetano de Iptuci, que como ciuitas stipendiaria tras la conquista romana se mantiene habitado casi ininterrumpidamente hasta época medieval, habiendo sido identificado como el asentamiento beréber de la tribu Şaddīna en al-Andalus, dando nombre a una de las circunscripciones administrativas de contenido fiscal de la cora andalusí de Sidonia. A lo largo del tiempo su situación estratégica en el paso entre la sierra y la campiña, junto a su posición nodal en la red de caminos y cañadas pecuarias -para su empleo como salegares para el ganado-, le confiere unas peculiaridades muy destacadas. Hemos llamado la atención sobre la existencia de estos recursos salinos como un factor determinante para la temprana ocupación prehistórica del área de Hortales.

El empleo de la sal para la conservación de los alimentos es un recurso cuya explotación tiene un necesario origen prehistórico pero cuyo conocimiento en esta región sigue estando limitado por la inexistencia de programas de investigación específicos. Uno de los métodos más antiguos y extendidos para la extracción de sal fue la ignición, que parte de cocer las mueras en diferentes tipos de recipientes cerámicos para obtener un pan de sal. Este proceso productivo deja una casuística arqueológica bien característica, los conocidos en la bibliografía especializada como briquetages. Esta fenomenología arqueológica es bien conocida durante el Neolítico-Calcolítico en puntos de la Península: en torno a la laguna de Villafáfila (Zamora); en el yacimiento sevillano de La Marismilla; en el estuario del Tajo, en Monte da Quinta 2; en la Alta Andalucía, en Fuente Camacho de Loja (Granada); o en la zona del Tajo y del río Jarama, en concreto en las Salinas de Espartinas, en Ciempozuelos (Madrid).

La ausencia aparente en las áreas salineras del interior de Cádiz de cualquiera de esas aglomeraciones cerámicas generadas por la explotación de sal mediante ignición debe ser explicada, más allá del recurso a

justificar una baja intensidad de la investigación. Desde la baja Edad Media, se han favorecido procesos erosivos y colmataciones como consecuencia del régimen de cultivos sobre las cubetas endorreicas y los cauces fluviales que han provocado altos índices de sedimentación sobre las fuentes salinas, con el posible enmascaramiento de los registros arqueológicos prehistóricos. Además, otro factor que debe ser tenido en cuenta es la influencia que tuvieron en la producción de sal las condiciones ambientales y los rasgos climáticos más propios de esta zona suroccidental de la Península que se caracterizan por una alta insolación, con grandes valores absolutos, y un predominio de los vientos cálidos, lo que facilita estacionalmente una alta saturación de sales en superficie. Estas condiciones climáticas pudieron hacer innecesarias las estrategias acelerantes mediante la acción del fuego, dándose el proceso de forma espontánea sin necesidad del empleo de recipientes cerámicos u otros procedimientos afines.

A pesar de las dificultades inherentes a la conservación de las estructuras antiguas de producción salinera, debido a su labilidad y periódica transformación, en el sector de Arroyo Hondo han pervivido una serie de elementos estructurales y material mobiliario de época romana que se relacionan con la construcción de balsas salineras para la producción de sal mediante insolación. En la margen izquierda del cauce actual del arroyo Hondo, en conexión estratigráfica con el depósito de gravas, se han detectado unas alineaciones de lajas de caliza arenosa del Eoceno inferior con ambas superficies completamente lisas. El tamaño de estos elementos constructivos oscila entre unas dimensiones de 80 x 70 x 4 cm y 55 x 52 x 5 cm y se encontraban consecutivamente unidas unas con otras por los laterales (Fig. 28). Tomadas en conjunto configuran un pavimento nivelado, de superficie plana, que tendría unos once metros de longitud en el espacio observable y se encontraba delimitado por sendos muretes de mampostería. Se han identificado dos de estas grandes estructuras que interpretamos como balsas, de 11 y 18 m de longitud, cerradas a norte y sur por sendos muros. La fábrica de los mismos se realiza mediante mampuestos pétreos de caliza, arenisca y ofita, intercalándose además de forma esporádica tegulae y ladrillos. Tales muros debieron constituir el cerramiento lateral de las balsas de insolación. Los muros que forman estas balsas miden unos 140 cm de espesor y conservan una altura de 45 cm. Los datos actuales permiten inferir que el empleo de los sistemas de insolación para la producción de sal se produce en la Vega Salada a partir de época romana, con los datos actualmente disponibles.



Figura 28: Salina romana de Arroyo Hondo. Interpretación de la secuencia estratigráfica y estructuras de balsa seccionadas por el arroyo (1 a 5); relación espacial con el yacimiento romano (A).

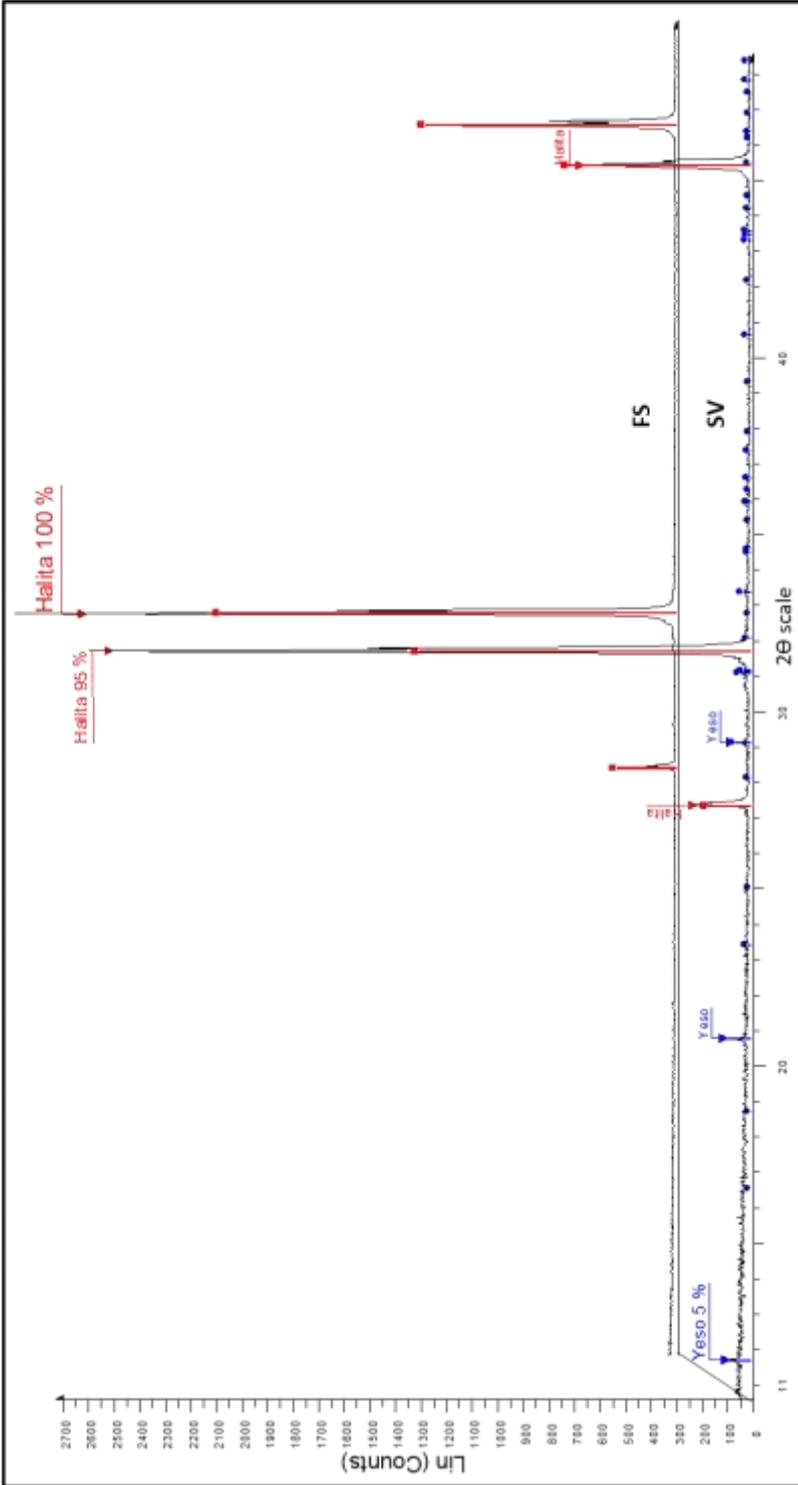
Especialmente para la fase medieval andalusí, los conocimientos sobre la explotación de los recursos salinos continentales son precarios y, por lo general, las fuentes documentales son parcas e imprecisas. Sí es altamente significativo que sobre las ruinas de la ciudad romana de Iptuci se levantara el asentamiento de los beréberes Şaddīna llegados en la primera oleada arabo-beréber de 711, que mantenían una relación de proximidad con idénticos recursos en su sede magrebí próxima a Fez. Tras la falta de datos expresos tanto de las fuentes como del registro material sobre la continuidad de la producción en época andalusí, habrá que esperar hasta época bajomedieval cristiana para volver a tener referencias documentales mínimas sobre la explotación de los recursos salinos de Hortales. En 1342, se encuentran noticias en la diplomática castellana del momento. Se trata de la carta de privilegio de Alfonso XI en la que cede a perpetuidad al Concejo de Sevilla el Castillo de Matrera (Villamartín, Cádiz) con todos sus términos, poblados, las dehesas y salinas de Hortales, rentas y derechos, con el compromiso de encargarse de su repoblación y ordenamiento.

La significación que las balsas salineras de Hortales tendrán en el paisaje de la zona, harán de ellas un referente en toda la serie de apeos y amojonamientos que se suceden en este territorio una vez conquistado e iniciada su repoblación, tras el alejamiento de la Frontera hasta las mismas puertas del reino nazarí de Granada. De esa manera veremos actuar a “las albercas de las Salinas de Ortales” como hito delimitador en los pleitos de términos entre diversas instancias. Las fuentes documentales de época cristiana permiten inferir la importancia de estas salinas de Hortales en el contexto histórico de la fase bajomedieval de la región, pues demuestran la identificación de estas salinas continentales de Hortales como un punto significativo en el abasto de sal a la capital hispalense y su territorio, al menos desde mediados del siglo XIV.

La información sobre diversos aspectos de la explotación se hace continua durante la Edad Moderna y, al menos, hasta el siglo XIX. Las salinas son mencionadas por Pascual Madoz (1850), citando en la vecina población de El Bosque “...una fábrica de sal de agua, conocida con el nombre de Hortales, 7 eras de trillar arrendadas a forasteros”, y en la localidad de Prado del Rey “...las salinas de Horlalés [sic Hortales] que a pesar de su decadencia, elaboran en la actualidad de 6 á 40.000 fanegas de sal...”. Este último periodo hasta el presente, queda igualmente atestiguado por la documentación conservada en el Archivo Histórico Nacional, en la sección de “Ministerio de Hacienda”. Ahí se han conservado algunos expedientes y hojas de servicio de los encargados y trabajadores de una de estas salinas, la denominada como Real Fábrica de Salinas de Hortales, en referencia a la actual Salina de Hortales, dentro del término municipal de El Bosque.

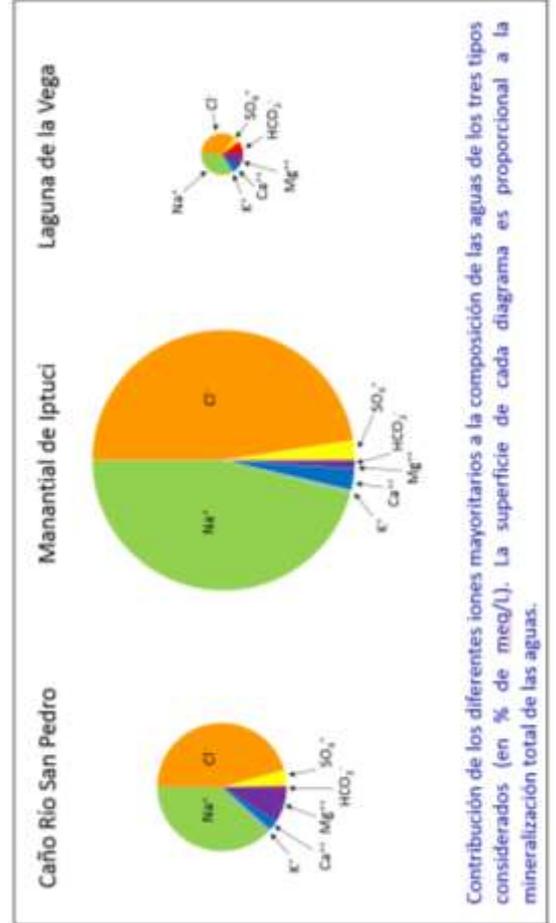
Hasta el día de hoy, aunque conocidas genéricamente como “de Hortales”, se han conservado evidencias de al menos 4 explotaciones salineras tradicionales distintas. Las denominadas “Salinas de Hortales”, dentro del término municipal de El Bosque, que fueron las salinas de titularidad estatal. En el término de Prado del Rey se ubican el resto. La “Salina del Carmen” que aparece también mencionada como “Salina del Chicha”; la “Salina de Raimundo” o “San Raimundo”, actualmente en renovada explotación (Fig. 27); y junto a esta última, las salinas ya abandonadas de “Los Molinos” o del Cabezo de Hortales. Todas estas explotaciones salineras poseen como denominador común que extraen salmuera por insolación a partir de surgencias de muy escasa profundidad, mediante balsas y calentadores. La dispersión espacial entre las cuatro explotaciones es de unos dos kilómetros, considerando las más distantes, y todas ellas vierten sus excedentes al Arroyo Salado como parte de la cuenca del río Guadalete. Toda la zona recibe la denominación de Vega Salada en la cartografía histórica, en respuesta a la memoria sobre los depósitos antrópicos de sales en esta ribera.

Difractogramas de las muestras de Flor de Sal (FS) y Sal Virgen (SV) de las salinas de Iptuci



Análisis elemental por Fluorescencia de Rayos X de muestras de sal de las Salinas de Iptuci

Elementos	Flor de sal %	Sal virgen %
Cloro	42,3548	38,2624
Sodio	38,5219	44,0175
Oxygeno	15,6088	16,4299
Magnesio	1,8035	0,1110
Potasio	0,9387	0,0198
Azufre	0,4306	0,4914
Calcio	0,1838	0,5571
Aluminio	0,1061	0,0678
Cromo	0,0142	0,0129
Silicio		0,0066



Composición de las aguas del caño del Río San Pedro y de la surgencia de Iptuci y comparación con una laguna costera de origen pluvial

Concentración en (mg/L)	Río San Pedro	Surgencia de Iptuci	Laguna de la Vega
pH	8,1	6,3	7,8
Bicarbonato (mg/L)	184,0	313,9	594,0
Cloruro (mg/L)	16.613,0	78.124,3	1.185,3
Bromuro (mg/L)	45,6		3,2
Sulfato (mg/L)	1.932,8	5.207,8	235,7
Sodio (mg/L)	12.587,5	47.168,9	821,7
Potasio (mg/L)	498,9	466,4	64,8
Calcio (mg/L)	729,3	2.319,7	143,6
Magnesio (mg/L)	1.586,3	591,0	130,1
TSD (Total Sólidos Disueltos) (mg/L)	34.177,4	134.192,0	3.178,4
TSD (Total Sólidos Disueltos) (g/L)	34,2	134,2	3,2

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso Villalobos, C., Gracia Prieto, F. J., y Ménanteau, L. (2003). Las salinas de la Bahía de Cádiz durante la Antigüedad: visión geoarqueológica de un problema histórico. *Spal. Revista de Prehistoria y Arqueología* 12, p. 317-332.
- Boak, A. E. R. (1937). An ordinance of the salt merchants. *The American Journal of Philology*, 58(2), 210-219.
- Bonzel H.P. (2003). 3D equilibrium crystal shapes in the new light of STM and AFM. *Physics Reports* 385(1):1-67
- Frutos Reyes, G. D., y Muñoz Vicente, Á. (1996). La industria pesquera y conservera púnico-gaditana: balance de la investigación. Nuevas perspectivas. *Spal. Revista de Prehistoria y Arqueología* (1996, Vol. 5, p. 133-165).
- Gartet, A.; Gutiérrez López, J.M.; Giles, F.; Valiente, S.; Akdim, B.; Martínez Enamorado, V.; López García, E. (2014). Les salines, une ressource économique à proximité des sites de Šaddīna. Tissa au Maroc, Hortales en Andalousie. En: *Le pays des Šaddīna. Une étude géographique, historique et archéologique des sites de Šaddīna, villes médiévales du Maroc et de l'Andalousie* (B. Akdim; G. Lazarev; V. Martínez Enamorado, dirs.). *Villes et sites archéologiques du Maroc (VESAM)*, IV. Ministère de la Culture-INSAP, Royaume du Maroc, Rabat, 193-225.
- ISAL (2018). Instituto de la Sal. WEB: <https://www.institutodelasal.com/es> Visitado en mayo de 2018.
- Kirkland, D.W. y Ewans, R. (1981). Source-rock potencial of evaporitic environment. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.*, 65, 181-190.
- Martínez Maganto, J.; García Vargas, E. (2009). Sal, producción salina e industria de salazón en la antigüedad: una relación hermética. En: *La Explotación histórica de la Sal: Investigación y puesta en valor. Memorias de la Sociedad Española de Historia de la Arqueología II*. SEHA. Ciempozuelos, Madrid, 145-166.
- Martínez Enamorado, V.; Gutiérrez López, J.M.; Iglesias, L. (2015). Migración de tribus imaziguen y distritos en el oriente de la cora de Sidonia (Kūrat Šīdūna). Una Valoración desde la arqueología social. En: *A los pies de Matrera (Villamartín, Cádiz). Un estudio arqueológico del oriente de Šīdūna* (J.M. Gutiérrez López; V. Martínez Enamorado, eds.), Ayuntamiento de Villamartín, Editorial La Serranía, Málaga, 267-412.
- Ortí, F. (2010). Evaporitas: introducción a la sedimentología evaporítica (pp. 675-769). En: *Sedimentología. Del proceso físico a la cuenca sedimentaria*. Editor: Alfredo Arche. CSIC
- Pastor y Rodríguez, J. D. (1880). Estudio sobre el desestanco de la sal y el régimen legal, administrativo y económico más conveniente para la industria salinera de España.
- Pérez Hurtado de Mendoza, A. (2004). Salinas de Andalucía. Sevilla. Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente.
- Pérez-López, A. y López Chicano, M. (1989). Las facies de areniscas en el Keuper inferior del Trías Subbético de Alcaudete (Cordillera Bética). *Geogaceta* 7: 7-9.
- Ramos, J.; Domínguez-Bella, S.; Cantillo, J.J.; Vijande, E. y Pérez, M. (2003). Novedades en el conocimiento de las sociedades tribales neolíticas en la banda atlántica de Cádiz. *Explotación de recursos marinos e*

hipótesis del uso de la sal. En: Joaquina Soares (Ed.) PRÉ-HISTÓRIA DAS ZONAS HÚMIDAS. PAISAGENS DE SAL / PREHISTORY OF WETLANDS. LANDSCAPES OF SALT. Setúbal Arqueológica, Vol.14: 85-112.

Román López, 2014. Paisajes de la sal en Andalucía. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 212 pp.

Sánchez Gomar, I. (2017). Sal y Salinas de la Bahía de Cádiz. Recorrido histórico. WEB: <https://www.asociacionbahiadecadiz.org/sal-y-salinas-de-la-bahia-de-cadiz-recorrido-historico/> Visitado en mayo 2018.

Torrejón, J. (2008). La sal de la bahía de Cádiz y su distribución en los siglos XVIII y XIX. En Articulação do sal português aos circuitos mundiais antigos e novos consumos. Ed. Instituto de História Moderna. Universidade do Porto. pp. 105-133.

Valiente, S.; Giles, F.; Gutiérrez López, J.M.; Cano, J.; Enríquez, L. (2012). La explotación de sal continental como motor del poblamiento en la antigüedad. Ejemplos etnográficos en el entorno de Cabeza de Hortales, ciudad romana de Iptuci (Prado del Rey, Cádiz). En: La Minería sostenible: Patrimonio de hoy y de mañana. XIII Congreso Internacional sobre Patrimonio Geológico y Minero (J. M. Mata; S. Palacios, eds.), SEDPGYM, Universidad Politécnica de Cataluña, Lérida, 79-90.

Valiente, S.; Giles, F.; Gutiérrez López, J.M.; Reinoso, M.C.; Enríquez, L. (2014). Salinas romanas continentales: primeras evidencias en Arroyo Hondo-Hortales (Prado del Rey, Cádiz). De Re Metallica, 22, 1-13.

Valiente Cánovas, S.; Giles Pacheco, F. y Gutiérrez López, J. M^a (2015). Manantiales salinos continentales y afloramientos de ofitas: evidencias geoarqueológicas en la Prehistoria de Cádiz. Riparia, 1, 161-192.

Valiente Cánovas, S.; Giles Pacheco, F.; Gutiérrez López, J. M^a y Reinoso del Río, M^a C. (2017). Surgencias salobres y producción de sal en la Vega Salada (Prado del Rey y El Bosque, Cádiz) de la Prehistoria a época medieval. Una aproximación geoarqueológica. Cuaternario y Geomorfología, 31 (1-2), 123-140.

geología 18

Cádiz Geología

COORDINA



ORGANIZAN



Con la financiación de:



COLABORAN

