

NUEVAS APORTACIONES A LA CRONOLOGÍA CONSTRUCTIVA DE LA TORRE DE LA IGLESIA DE EL SALVADOR DE MUTXAMEL (ALICANTE, ESPAÑA)

NEW CONTRIBUTIONS TO THE CONSTRUCTION CHRONOLOGY OF THE TOWER OF THE CHURCH OF EL SALVADOR IN MUTXAMEL (ALICANTE, SPAIN)

Francisco Javier Alejandro¹, Ana Valero², Vicente Flores-Alés¹

¹Departamento de Construcciones Arquitectónicas II, Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

²Estrats, Treballs d'Arqueologia S.L., El Campello, Alicante, España.



1. Iglesia de El Salvador, fachadas oeste y sur de la torre-campanario 1. Church of El Salvador, west and south façades of the bell tower.

Palabras clave: mortero de cal, torre de huerta, datación por ¹⁴C; policromía.

Este trabajo presenta los resultados de los estudios realizados mediante técnicas de análisis instrumental con la finalidad de obtener una aproximación veraz y contrastada de la cronología de los distintos elementos y cuerpos que conforman la iglesia de El Salvador de Mutxamel, con especial atención a la torre-campanario. Tradicionalmente, se ha considerado que la torre de este templo fue construida en el siglo XVI bajo el mecenazgo de duque de Maqueda. Esta datación ha sido asumida por la historiografía posterior sin un análisis crítico, a pesar de las contradicciones existentes entre las fuentes documentales. La investigación revisa las crónicas del siglo XVII sobre la construcción de la torre, y las contrasta con el análisis estructural del edificio y los resultados de datación por radiocarbono (¹⁴C). Las evidencias obtenidas permiten proponer que la construcción de la torre se remonta, en realidad, a mediados del siglo XV.

Citar como: Alejandro, F. J., Valero, A., & Flores-Alés, V. (2026). Nuevas aportaciones a la cronología constructiva de la torre de la iglesia de El Salvador de Mutxamel (Alicante, España). *Loggia, Arquitectura & Restauración*, (39). <https://doi.org/10.4995/loggia.2026.24255>

*Texto original: español. Traducción al inglés: Ana Orts Salido.

Keywords: mortar, lime, orchard tower, ¹⁴C, polichromy.

This paper presents the results of the studies conducted using instrumental analysis techniques, to provide a reliable estimate of the chronology of the different sections and features of the Church of El Salvador in Mutxamel. Traditionally, the Tower of the Church of El Salvador in Mutxamel was thought to have been built in the 16th century at the behest of the Duke of Maqueda. Later authors assigned this building to this chronological period, although there are obvious contradictions that require further research to shed light on the origins of the building. This paper addresses the inconsistencies of the chronicles from the 17th century regarding the construction of the Tower of the Church of El Salvador in Mutxamel, before moving on to a structural analysis of the building and a scientific study using carbon-14 or ¹⁴C dating, which suggests that building dates back to the mid-15th century.

Cite as: Alejandro, F.J., Valero, A., & Flores-Alés, V. (2026). New contributions to the construction chronology of the tower of the church of El Salvador in Mutxamel (Alicante, Spain). *Loggia, Arquitectura & Restauración*, (39). <https://doi.org/10.4995/loggia.2026.24255>

*Original text: Spanish. English translation: Ana Orts Salido.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Marco geográfico

Mutxamel es un municipio de la Comunidad Valenciana, ubicado en la comarca de L'Alacantí. La morfología de su casco histórico presenta un trazado longitudinal, debido a que, en sus orígenes, las viviendas se disponían a lo largo de la *Sèquia Mare* (acequia mayor), cuyas aguas han irrigado históricamente el campo de Alicante. El origen de esta infraestructura hidráulica medieval, que nace en el *Assut Vell* (azud viejo) del río Monnegre, se remonta al siglo XIII (Cabezuelo & Gutiérrez, 1990-1991, p. 69-98).

La torre de El Salvador, objeto de este estudio, se alza en la calle principal del casco histórico de Mutxamel, siguiendo el trazado de la acequia. Su emplazamiento resultaba estratégico para controlar tanto el paso del camino como el curso del agua,

y así ejercer un dominio efectivo sobre el territorio del campo de Alicante (Menéndez, 2015).

1.2. El sistema defensivo de las torres de la huerta: análisis estructural de la torre de El Salvador

Durante los siglos XV, XVI y XVII, el litoral alicantino fue repetidamente saqueado por parte de piratas procedentes del norte de África. Por este motivo, ya desde el siglo XV, y especialmente durante la segunda mitad del XVI, se construyó un sistema de torres para la defensa del territorio.

En el sistema defensivo de la huerta se distinguen dos tipos de torres: las torres de costa, concebidas como pequeñas fortalezas, con base maciza y acceso elevado, destinadas a la guardia y vigilancia ante posibles ataques desde el mar; y las torres de huerta, situadas en el llano, en zonas de cultivo, diseñadas para acoger a la

población en caso de peligro. Todas ellas estaban comunicadas visualmente entre sí, formando una red de vigilancia, y todas ellas presentan una morfología similar.

La torre de El Salvador se sitúa en el interior, pero no reúne las mismas características que las torres de la huerta típicas del siglo XVI. Para empezar, su planta es rectangular, no cuadrada, con 8,60 m de longitud en los muros este y oeste, y 6,60 m en los muros norte y sur. Es también más elevada que el resto de torres de la huerta, con una altura total de 24,5 m, distribuidos en cinco plantas o cuerpos –separados entre sí por molduras decorativas–, más el peto de la azotea. Asimismo, carece de la base ataludada propia de las torres huertanas, y sus paramentos, en lugar de construirse con mampostería reforzada en las esquinas, están formados por tapiales hormigonados, recubiertos al exterior con

1. INTRODUCTION

1.1. Geographical setting

Mutxamel is a municipality in the Valencian Community, located in the region of L'Alacantí. The morphology of the historic centre of this populated area is linear, seeing as the original dwellings were located along the *Sèquia Mare* (main irrigation canal), whose waters have historically sustained the agricultural landscape around Alicante. The *Sèquia Mare* is a medieval hydraulic infrastructure fed by the *Assut Vell* (old diversion weir) on the Monnegre River, whose origins date back to the 13th century (Cabezuelo & Gutiérrez, 1990-1991, p. 69-98).

The Tower of El Salvador, which is the subject matter of this study, stands in the main street of the historic centre

of Mutxamel, following the alignment of the canal. Its position was ideal to control movement on the road and on the water, to therefore have control over the agricultural hinterland of Alicante (Menéndez, 2015).

1.2. The defensive system of the torres de la huerta (towers watching over the irrigated fertile land): structural analysis of the Tower of El Salvador.

The coastline of Alicante was repeatedly raided by pirates who arrived from North Africa during the 15th, 16th and 17th centuries. For this reason, from the 15th century onwards, and especially during the second half of the 16th century, a system of towers was gradually built to defend the territory.

In this defensive network of the irrigated farm belt, there are two main types of towers: the coastal towers, designed to be small fortresses with a solid base and elevated entrance, used to guard and watch out for any possible attacks from the sea; and those that watched over the irrigated fertile agricultural land, built on level ground in cultivated areas, which were intended to provide shelter to the local population in times of danger. All these towers were intervisible, forming a surveillance network, and they all had a similar morphology.

The Tower of El Salvador is located inland, but it does not share the typical features of other 16th-century towers that watched over the irrigated fertile land. To begin with, it is rectangular rather than square, its east and west



fábrica de sillarejo y refuerzos de sillares en las esquinas.

Con la construcción de la iglesia, las molduras decorativas fueron eliminadas en los puntos donde la fachada de la iglesia se adosa a la torre. En la fachada este, también desaparecen completamente las molduras de la primera y segunda planta, la casi totalidad de la tercera y un fragmento de la cuarta. En definitiva, se suprimieron aquellos fragmentos de moldura que quedaban al interior de la iglesia y se conservaron los que recaían al exterior. Este hecho tan sencillo lleva a pensar que, en el momento de su construcción, la torre constituía una estructura exenta, decorada en todo su perímetro, y que las molduras fueron recortadas al edificarse la actual iglesia adosada a la torre, ya que las partes faltantes se ajustan perfectamente al patrón constructivo del templo. Otro detalle

2

walls are 8.60m long and its north and south walls are 6.60 m long. It is taller than the other towers, five storeys high plus the roof terrace, coming to a total height of 24.5 m. The five sections are separated from each other by decorative mouldings. The Tower does not have the characteristic batter plinth of the other towers and its wall faces, instead of being built of rubble masonry with reinforced corners, consist of walls in lime-concrete rammed in formwork, faced on the outside with roughly dressed ashlar and strengthened at the corners with larger ashlar blocks.

With the construction of the church, the decorative mouldings were removed where the church façade abuts the bell tower. On the east façade, inside the church, the mouldings of the first and

tran cegadas. Este hecho refuerza la hipótesis de que la torre es anterior a la iglesia, puesto que, de haber sido posterior, las aspilleras nunca habrían existido.

Originalmente, la entrada a la capilla de la Virgen, ubicada en el piso inferior de la torre, se realizaba por la fachada este, por una puerta desplazada hacia la esquina noroeste, que posteriormente fue modificada y tapiada. Con ocasión de la restauración integral acometida en 2002 se recuperó el vano original: una entrada abocinada que presentaba rebajes en sus laterales para insertar la tranca de una gruesa puerta de madera. Se trata, por tanto, de una entrada segura, pensada para resistir un eventual ataque, de modo que, en caso de ser franqueada, los atacantes se vieran obligados a entrar de uno en uno, sin apenas visibilidad del espacio interior. El acceso al resto de la torre se efectuaba directamente por el exterior al primer piso, mediante una escala de mano que podía retirarse desde

2. Torre-campanario de la iglesia del Salvador. Postal de principios del s. XX reproducida por Mateo Gamón.

2. Bell tower of the Church of El Salvador. Early 20th-century postcard reproduced by Mateo Gamón.

dentro. La entrada al primer piso también es abocinada y de reducidas dimensiones, con tres escalones en sentido descendente que obligan a bajar agachado. Desde el interior de la primera planta se puede acceder al resto del edificio mediante una escalera de caracol adosada a la fachada este de la torre.

Cada una de las plantas de la torre recurre a una solución constructiva diferente para su techado. La planta baja cuenta con una bóveda rebajada sobre pechinas, decorada con una pintura de óxido de hierro en forma de damero alrededor de un sol central (Fig. 3). En la primera planta se dispone una bóveda de crucería, con una clave central con una cruz de Malta. Tanto la segunda como la tercera planta incorporan una doble bóveda de crucería sobre arcos ojivales cruzados con clave central. Por consiguiente, todas las plantas contienen elementos góticos en su arquitectura (Menéndez Fueyo, 2000, p. 733-758; Jover &

Menéndez Fueyo, 1997, p.15-24; Ramón, 2005).

1.3. Fuentes bibliográficas

La torre de El Salvador se ha datado tradicionalmente a partir de las crónicas de Vicente Bendicho (1640), que fue párroco de esta iglesia entre 1616 y 1638.

En su relato, Bendicho cuenta que la orden de construir la torre se dio bajo el virreinato de Bernardino de Cárdenas, II duque de Maqueda. Esta instrucción, relativa a la construcción de torres de defensa en la costa, se plasmará posteriormente en *las Ordenanzas de la Guardia Marina*, publicadas en Valencia en 1555, dando cumplimiento a una disposición emanada de las Cortes de 1552. En sus crónicas, Bendicho también indica que la iglesia se construyó en unos terrenos donados por Bernard Pastor y su esposa Joana en 1511, y que el permiso del gobernador de Alicante para la construcción del templo se obtuvo en

built before the tower, these openings would never have existed.

Originally, the entrance into the chapel of the Virgin Mary, located on the ground floor of the Tower, was from the east façade, through a doorway built close to the north-east corner, which was later altered and closed up. During the extensive restoration work carried out on the building in 2003, the original opening was discovered: a splayed entrance with rebates in the jambs to fit the bar in a heavy wood door. In other words, it is a secure entrance, designed to withstand an attack, because if the door was broken down, the assailants would be forced to enter one by one, with very limited visibility of the space inside. Originally the upper levels of the tower would have been accessed from the outside, up to

the first floor, by means of a ladder that could be taken down. The entrance to the first floor is also splayed and it is small, with three steps going down inside, which meant that users had to stoop to go in. From the inside on the first floor, the rest of the building can be accessed using a spiral staircase running along the inside of the east wall of the Tower.

A different structural solution is used for the roofing of each floor of the Tower of El Salvador. On the ground floor there is a sail vault resting on pendentives, which is decorated with an iron-oxide paint that forms a checkerboard pattern around a sun motif in the centre (Fig. 3). The first floor is covered by a ribbed vault with a central keystone bearing a Maltese cross as a decorative feature. The second and third floors are covered



3

3. Decoración de la bóveda rebajada de planta baja.
 3. Decoration of the sail vault on the ground-floor.

1512, dando comienzo las obras al año siguiente. De esta narración se desprende que la iglesia parroquial se habría construido antes que la torre (Brotons, 2015). Sin embargo, estos datos no son veraces, pues, como se ha comentado anteriormente, es la iglesia la que se adosó a la torre (Fig. 4) y no a la inversa.

El siguiente punto de las crónicas que conviene examinar en relación con la cronología de la torre remite a las menciones a la ubicación de la tabla de la Virgen de Loreto, patrona del municipio, en el interior del templo. Según Bendicho, la construcción de la iglesia finalizó en 1522, dato que se sustenta en la existencia de una pilastera firmada por Juan Riera con el año de conclusión de las obras. Posteriormente, la crónica menciona la compra, por parte del párroco mosén Artés –antecesor suyo en la parroquia–, de una imagen de la Virgen de Loreto. En un primer momento, esta pin-

tura se colocó en el altar mayor, en un lugar poco destacado. Tras un primer milagro, en el que la figura derramó lágrimas, pasó a ocupar un lugar preferente dentro del mismo altar mayor. En 1545, tras un nuevo milagro, igualmente acompañado de lágrimas durante su traslado en procesión hacia la Santa Faz, la imagen fue llevada a la capilla situada en la base de la torre, donde permanecería hasta 1627, año en que se acomoda en la nueva capilla construida exprofeso para ella. Si la Virgen fue instalada en la capilla de la torre en 1545, esto implica que dicha capilla ya existía al menos diez años antes de que el duque de Maqueda diese la orden para su construcción.

Estas contradicciones llevan a concluir que las fechas aportadas por la crónica de Bendicho no pueden aceptarse con rigor, y conmina a recurrir a otras vías para deter-

minar la verdadera cronología constructiva de la torre (Tabla 1).

Como ya se ha apuntado, en 2002 la torre fue objeto de una restauración integral e irreversible dirigida por el arquitecto Marius Beviá. Dentro del plan de intervención se incluyó la excavación total del espacio interior de la torre, así como del lateral sur-suroeste por el exterior de la calle y del lateral este por el interior de la iglesia, en la zona donde se halla la pila bautismal. Los trabajos de arqueología fueron ejecutados por Francisco Lozano, quien en su informe concluyó que la torre corresponde al siglo XVI, coincidiendo con lo indicado por Bendicho en su crónica. No obstante, si bien es cierto que la memoria de excavación incluye un inventario exhaustivo y completo de los materiales hallados, el autor no ahonda en un ejercicio interpretativo sobre su cronología.

by a double ribbed vault supported on intersecting pointed arches with a central keystone. Each and all of the floors therefore incorporate Gothic features in their architectural design (Menéndez Fuego, 2000, p. 733-758; Jover & Menéndez Fuego, p.15-24; Ramón, 2005).

1.3. Bibliographical sources

The Tower of El Salvador was traditionally dated according to the chronicles of Vicente Bendicho (1640), who was the parish priest of the Church of El Salvador between 1616 and 1638. In his account, Bendicho says that the order to build the Tower of the Church of El Salvador was given during the viceroyalty of Bernardino de Cárdenas, the 2nd Duke of Maqueda. This order to build defensive towers on the coast

was subsequently established in the Ordenanzas de la Guardia Marina, which were published in Valencia in 1555, in compliance with a provision issued by the Cortes (assemblies that included representatives from the nobility, the clergy and the cities) in 1552. However, in his chronicles, Bendicho also records that the church was built on land donated by Bernard Pastor and his wife Joana in 1511, and that the licence from the governor of Alicante to build the church was obtained in 1512, so the construction work began the following year. According to this narrative, the parish church was built before the Tower (Brotons, 2015). However, this information is not accurate, since, as mentioned above, it was the church that was added to the tower (Fig. 4) and not the other way around.

The next point of chronicles that must be examined in relation to the chronology of the Tower concerns his references to the location, in the church, of the panel depicting Our Lady of Loreto, the town's patron saint. According to Bendicho the construction work on the church was completed in 1522, as he says that there is a pilaster signed by Juan Riera with the year when the work was finished. He then mentions that the parish priest Mosén Artés, his predecessor in the parish, bought an image of Our Lady of Loreto. Initially, this image was placed on the high altar, in a relatively inconspicuous position. After the first miracle, in which the image was seen to weep, it was moved to a more prominent position on the same high altar. In 1545 the image performed another miracle, again shedding tears while it

Lozano identificó en la parte exterior del edificio, en el sector sur, la trinchera de cimentación del muro sur de la torre y su relleno, que contenía materiales del siglo xv. Esto significa que la construcción de la base de la torre se localiza aproximadamente a mediados del siglo xv (Lozano, 2002).

Llegados a este punto de la investigación la duda está sembrada: existe la posibilidad de que, tanto por sus peculiaridades arquitectónicas, como por los materiales obtenidos en la trinchera de cimentación de su muro sur, la torre date de mediados del siglo xv y no del xvi, como se ha venido considerando hasta ahora.

2. OBJETIVO

El objetivo del este estudio es plantear una hipótesis veraz, sustentada en análisis científicos mediante técnicas instrumentales, sobre la cronología de construcción

de la torre de la iglesia de El Salvador de Mutxamel. Para ello, se parte del análisis arqueológico sistemático de los materiales procedentes de las excavaciones realizadas en 2002, complementado con la datación por carbono 14 de muestras de materiales procedentes de los diferentes cuerpos de la torre, y con el análisis de pigmentos de los elementos policromados.

3. METODOLOGÍA

Con carácter previo al desarrollo de los análisis mediante técnicas instrumentales, se sistematizó y actualizó la información procedente de la excavación desarrollada en 2002. Se efectuó una revisión de los materiales obtenidos en dicha campaña y depositados en el Museo Arqueológico de Alicante (MARQ).

Para llevar a cabo esta consulta, se diseñó un modelo de ficha destinado a registrar los datos de cada pieza, acompañado de

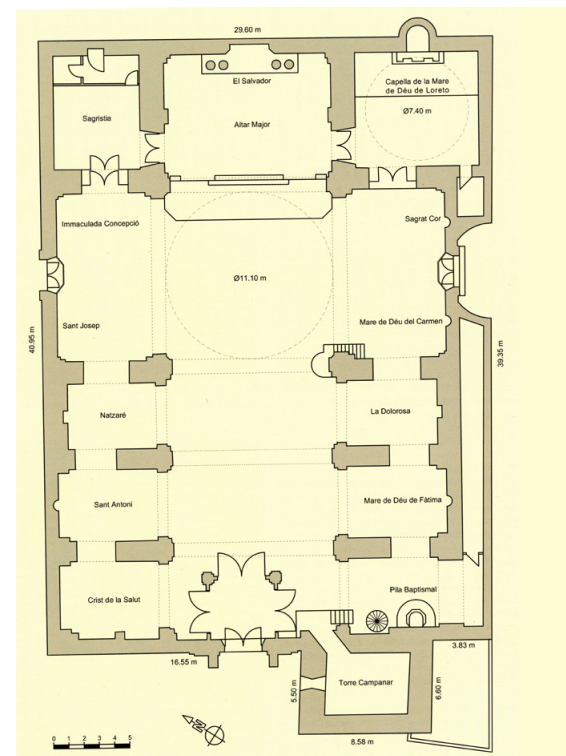
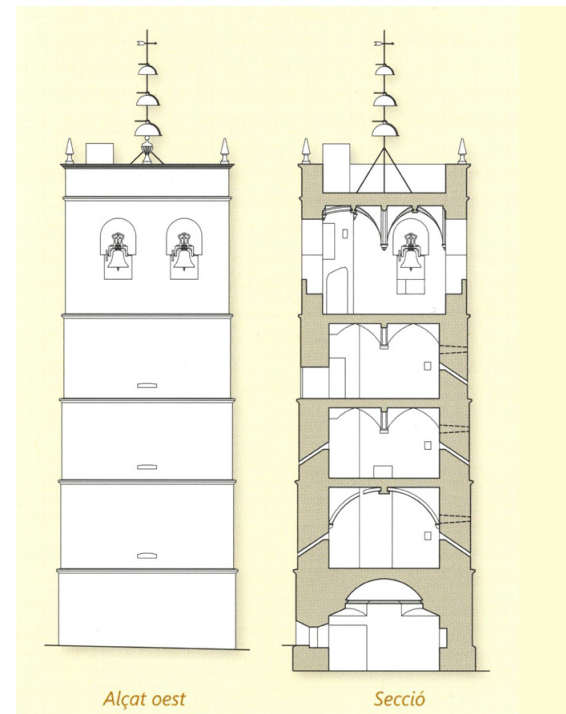
was being carried in the procession to the *Santa Faz*. On this occasion, after the miracle, it was taken to the chapel at the base of the Tower, where it remained until 1627, when it was moved to the new chapel built specifically to house it. If the Virgin Mary was taken to the chapel in the Tower in 1545, after the miracle, this means that the chapel in the Tower had already been built ten years before the Duke of Maqueda gave his order for its construction.

These contradictions suggest that the dates stated in Bendicho's chronicle cannot be accepted uncritically, and that other means must be used to determine the actual date or dates when the Tower was built (Table 1).

As already noted, in 2002 the tower underwent full and irreversible refurbishment that was directed by the

architect Marius Beviá. The restoration programme included the complete excavation of the interior space of the tower, the south-southwest side of it on the outside, at street level, and the east side inside the church, in the area where the baptismal font is located. The excavation work was carried out by the archaeologist Francisco Lozano, who concluded his excavation report by saying that the tower dates back to the 16th century, in line with Bendicho's account. Although Lozano does provide a complete inventory of the material in the excavation report, he does not go on to consider its chronological implications.

On the outside of the building in the southern sector, Lozano identified the foundation trench of the south wall of the tower and its fill, where material dating from the 15th century was found.



4

4. Arriba: Alzado oeste y sección de la torre. Abajo: Ubicación de la torre en relación con la iglesia. (Brotons, 2015).

4. (Top) West elevation and section of the Tower. (Bottom) Location of the Tower in the ground plan of the church. Source: Brotons, 2015).

Tabla 1. Línea temporal.
Table 1. Timeline.

Año / Date	Acontecimiento / Event
1511	Bernad Pastor y su esposa Joana donan los terrenos para construir la iglesia. Bernad Pastor and his wife Joana donate the land to build the church on.
1512	Permiso del gobernador de Alicante para construir el templo. The licence is granted by the governor of Alicante to build the church.
1522	Final de la construcción de la iglesia; pilastra firmada por Juan Riera. The construction work on the church is completed; the pilaster is signed by Juan Riera with the year of completion.
?	Adquisición de la imagen de la Virgen de Loreto por mosén Artés y colocación en el altar mayor. The image of the Our Lady of Loreto is bought by Mosén Artés and it is put on the High Altar.
1545	Milagro de la lágrima y traslado de la imagen de la Virgen a la capilla de la base de la torre. The miracle of the weeping Virgin Mary; the image is moved to the chapel at the base of the Tower.
1552-1555	Orden del duque de Maqueda para la construcción de las torres de defensa. The order is issued by the Duke of Maqueda to build the defensive towers.
1616	Llegada de Vicente Bendicho a la parroquia de Mutxamel. Bendicho takes up his post as parish priest in Mutxamel.
1627	Traslado de la imagen de la Virgen a una capilla propia de nueva construcción. The Virgin Mary is transferred to a newly built purpose-built chapel.
1638	Salida de Bendicho de la parroquia de Mutxamel. Bendicho leaves the parish of Mutxamel.
1640	Redacción de las crónicas de Bendicho. Bendicho's chronicles are written.

This means that, according to the study of the material, the base of the tower was built halfway through the 15th century (Lozano, 2002).

At this stage of the research work, doubt inevitably arises in view of both its particular architectural features and the material that was recovered from the foundation trench of the south wall. It is possible that the Tower is from the mid-15th century and not from the 16th century, as it has generally been assumed up until now.

2. OBJECTIVE

The objective of this paper is to propose a reliable hypothesis based on scientific analysis, supported by instrumental analytical techniques, on the construction chronology of the Tower of the Church of

El Salvador in Mutxamel. This is done on the basis of a systematic archaeological analysis of the material recovered in the excavation work carried out in 2002, combined with carbon-14 dating of samples taken from the different stages of the Tower and the pigment analysis of the polychrome decorative elements.

3. METHODOLOGY

Before carrying out the analyses using instrumental techniques, the information obtained from the excavation work carried out in 2002 was systematised and updated. The material recovered in the excavation and deposited in the MARQ (Provincial Archaeological Museum of Alicante) was reviewed.

To undertake this work, a record sheet was designed to log the data for each

la fotografía de todos los elementos y conservando su número de inventario original para garantizar su trazabilidad. Con este sistema de fichas y fotografías se completó un catálogo muy visual, que facilita el entendimiento de los hallazgos. Dicho catálogo se encuentra depositado en el Ayuntamiento de Mutxamel y está disponible para consulta a quién lo solicite.

3.1. Análisis estratigráfico mediante microscopía óptica

Con el fin de conocer la estructura de la policromía sobre el mortero de enlucido de la bóveda, así como sus espesores, se implementó un estudio estratigráfico de capas con un microscopio marca LEICA, modelo DM750P. Las muestras fueron embebidas en resina de metacrilato de metilo de dos componentes de la marca Kulzer, tipo Technovit 4004, y posteriormente pulidas y fotografiadas a aumentos de 40x y 100x.

find, all the pieces were photographed, and their original excavation codes were kept to ensure full traceability. Using this system of record sheets and photographs, a highly visual catalogue was compiled, which made it much easier to understand the finds. This catalogue is currently held at the Mutxamel Town Hall and it is available for consultation on request.

3.1 Stratigraphic analysis using optical microscopy

A stratigraphic layer analysis was carried out using a LEICA DM750P optical microscope, to examine the polychrome structure applied on the plaster mortar of the vault and the thickness of the different layers. The samples were embedded in a two-component methyl methacrylate

3.2. Análisis mineralógico

Para el análisis mineralógico se recurrió a la difracción de rayos X con el método polvo, empleando un difractómetro marca Bruker-AXS, modelo D8 Advance, equipado con un filamento de cobre $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1,5405 \text{ \AA}$), en el rango de 3° a 70° . Este equipo permite analizar las fases cristalinas presentes, tanto de forma cualitativa como cuantitativa. Las muestras, de entre 50 y 100 mg, se tomaron mediante raspado con escalpelo y con ayuda de una lupa binocular; posteriormente se molieron en un mortero de ágata y tamizaron en un tamiz normalizado de 0,063 mm.

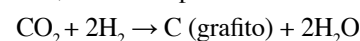
3.3. Datación por carbono-14

Las muestras estudiadas incluían tres componentes datables presentes en el mortero: nódulos de carbón vegetal, madera y cal carbonatada. Es frecuente encontrar fragmentos de carbón embebidos en morteros y tapias, siendo fácilmente reconocibles

por su color negro grafito y su capacidad de tizar. Estos fragmentos pueden ser un componente adecuado para la datación, una vez tratados convenientemente, tal como señalan varios investigadores¹. Sin embargo, su empleo puede conducir a errores (Tubbs & Kinder, 1990), ya que la muestra puede no ser coetánea con el proceso de fabricación del mortero o proceder de especies vegetales de crecimiento lento (por ejemplo, los anillos centrales de olivos, encinas o pinos) (Ringbom, 2006), dando lugar a sobreestimaciones en la datación. Por otra parte, los morteros de cal, durante su proceso de carbonatación, absorben CO_2 atmosférico, incorporando el carbono-14 presente en la atmósfera. De este modo, registran el momento de construcción de un elemento dentro de una matriz de CaCO_3 secundario de origen antropogénico (Van Strydonck et al., 1986). Aunque el proceso de carbonatación es lento, ocurre dentro de intervalos tempo-

rales que son asumibles con el margen de error propio de esta técnica de datación.

En todas las muestras procedentes de la torre se eliminaron las impurezas presentes mediante observación y selección bajo lupa óptica. Posteriormente, se empleó el método de purificación CryoSonic –Cryobreaking, Sonication, Centrifugation– para separar la calcita microcristalina. Finalmente, el CO_2 obtenido, ya sea por tratamiento ácido o por oxidación del carbón vegetal, se grafitizó según la siguiente reacción, catalizada por Fe a 580°C :



El grafito depositado sobre el hierro se prensa en una pastilla, que queda lista para la medición mediante espectrometría de masas con acelerador AMS (Accelerator Mass Spectrometry).

Para la determinación del ^{14}C se utilizó el sistema MiCaDaS (Mini Carbon Dating System), un acelerador de masas con un terminal de voltaje de tan solo 200 kV.

resin (Kulzer, Technovit 4004), which were then polished and subsequently the samples were photographed at magnifications of 40× and 100×.

3.2 Mineralogical analysis

The mineralogical analysis was carried out by means of X-ray diffraction using the powder method, with a Bruker-AXS D8 Advance diffractometer equipped with a copper $\text{CuK}\alpha$ filament ($\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$), over a 2θ range of 3° to 70° . This equipment is used for both the qualitative and quantitative analysis of the crystalline phases that are present. Samples of between 50 mg and 100 mg were collected by scraping with a scalpel under a binocular magnifier, then they were ground in an agate mortar and sieved through a standard 0.063 mm sieve.

3.3 Carbon-14 dating methodology

The samples under study were three datable components that exist in the mortar: charcoal nodules, wood and carbonated lime. It is common to find charcoal fragments embedded in mortars and walls and they are easy to recognise given their graphite-black colour and because they can stain. Once properly treated, these fragments can provide suitable material for radiocarbon dating, as stated by various researchers. However, their use may also lead to errors (Tubbs & Kinder, 1990), for example when the charcoal is not contemporary with the manufacture of the mortar or when it comes from slow-growing woody species (inner rings of olive, holm oak, pine, etc.)

(Ringbom, 2006), which might result in age overestimation. Lime mortars, on the other hand, absorb atmospheric CO_2 during the carbonation process, incorporating the Carbon-14 that exists in the atmosphere. In this way, they effectively record the time an element was built in a matrix of secondary CaCO_3 of anthropogenic origin (Van Strydonck et al., 1986). Although carbonation is a slow process, it takes place within time frames that are acceptable given the inherent margin of error of the dating technique.

For all the samples from the tower of the Church of El Salvador, visible impurities were removed by inspection and hand-picking under an optical magnifier. The CryoSonic purification protocol was then used: Cryobreaking,

Para el tratamiento y modelado matemático de los resultados obtenidos se ha recurrido al programa informático OxCal v4.4.4, desarrollado por Bronk-Ramsey (2009). Este *software* es ampliamente utilizado para la aplicación de la estadística bayesiana en arqueología, permitiendo calcular rangos de edad probables de muestras científicamente datadas mediante radiocarbono, fechas históricas o estimaciones dendrocronológicas, así como analizar grupos de eventos relacionados, ya sea a través de agrupaciones genéricas o por vínculos estratigráficos.

3.4. Toma de muestras

Considerando la relevancia que ha tenido en este trabajo el proceso de toma de muestras, se detalla el procedimiento de manera exhaustiva (Fig. 5).

La muestra D1 corresponde a carbones encontrados en la parte inferior de la hor-

nacina existente en la pared del cuerpo inferior de la torre, en lo que aparentemente habría sido un altar. Llama la atención la envergadura de los restos de carbón como componente/contaminación del mortero que se emplea para la datación, aunque su presencia también es acusada después de descarnar el mortero del hueco existente entre la mampostería.

La muestra D2 corresponde al mortero del alféizar de la ventana del cuerpo inferior de la torre. Para extraerla, se retiró el mortero superficial hasta alcanzar capas de mortero de cal que contenían pequeños nódulos de carbón, aptos para su datación. Por su parte, la muestra D3 procede de un elemento de madera anclado en un sillar del pilar derecho, situado a los pies del templo. La madera es susceptible de datación siempre que su cronología no difiera en exceso del elemento constructivo en el que se integra.

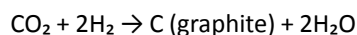
La muestra D4 corresponde al mortero de un hueco existente en el muro del cuerpo de campanas de la torre. El mortero se fue descarnando y limpiando superficialmente hasta localizar pequeños nódulos de carbón.

En cuanto a la muestra D5, el mortero se obtuvo de la fábrica de mampostería del muro de la escalera de caracol que da acceso a la cubierta. Para ello, se fue descarnando hasta encontrar pequeños nódulos de carbón.

El mortero de la muestra D6 proviene de un hueco existente en el pretil de la cubierta. Del mismo modo que en casos anteriores, para extraer la muestra se fue descarnando superficialmente el mortero hasta dar con pequeños nódulos de carbón susceptibles de datación.

La D7 consiste en una muestra de mortero de cal del alféizar de una ventana en la escalera de acceso a la cubierta. En este caso

Sonication, Centrifugation, to isolate the microcrystalline calcite. Finally, the CO₂ obtained either by acid treatment or by the oxidation of the charcoal was converted into graphite according to the following reaction, catalysed by Fe at 580 °C:



The graphite deposited on the iron was then pressed into a pellet, which was then ready to be measured by accelerator mass spectrometry (AMS).

In the determination of the Carbon-14, a MICADAS (Mini Carbon Dating System) was used, which is an accelerator system with a terminal voltage of only 200 kV.

The mathematical processing and modelling of the results obtained were carried out using the OxCal v4.4.4 software developed by Bronk

Ramsey (2009). This program is one of the most widely used tools for the application of Bayesian statistics in archaeology, because it can be used to calculate probable age ranges for samples that are scientifically dated by means of radiocarbon, as well as for historical dates and dendrochronological estimates, etc. and the analysis of groups of related events, whether through generic groupings or stratigraphic relationships.

3.4 Sampling procedure

Given the importance of the sampling process in this study, the procedure is described hereinafter in detail (Fig. 5).

Sample D1 consists of charcoal fragments found at the bottom of the niche in the wall, in what appears to have been where an altar was located. The size

of the charcoal remains is striking as a component/contaminant of the mortar that is used for dating, although similar fragments were also observed after stripping back the mortar from the gap between the masonry stones.

Sample D2 was taken from the mortar of the windowsill on the lower level of the tower. The surface mortar was removed until a lime mortar containing small charcoal nodules suitable for dating was found.

For its part, sample D3 comes from a wooden element anchored in a dressed stone block in the right-hand pier at the west end of the nave. Wood can be used for dating purposes provided that its chronology is not significantly different from that of the construction element which it is integrated into.



5

5. Fotografías correspondientes a la toma de muestras D1 a D8.

Figure 5. Photographs of the sampling points (D1-D8).

no se hallaron nódulos de carbón vegetal. Sin embargo, la cal antropogénica constituye un componente que puede emplearse para datación, con las incertidumbres ya comentadas.

Finalmente, la muestra D8 corresponde a mortero de cal de la mampostería, en el que tampoco se detectaron nódulos de carbón.

4. RESULTADOS

4.1. Análisis estratigráfico mediante microscopía óptica

El estudio de la estratigrafía mediante microscopía óptica ha permitido observar que, sobre el mortero de cal del enlucido de la bóveda, se dispone una primera capa de color gris de unas 12 μm de espesor, seguida de una capa blanca –probablemente un encalado– con un grosor de entre 25 y 440 μm y, finalmente la capa roja, de 12 a

87 μm . El reducido espesor de la capa gris sugiere que no se trata de una capa pictórica propiamente dicha, sino de una acumulación de suciedad –restos de carbón, polvo y microorganismos– sobre el mortero de enlucido (Fig. 6).

4.2. Estudio de la composición mineralógica mediante difracción de rayos X

Los minerales identificados (Fig. 7) en la capa gris son principalmente calcita (CaCO_3), además de cuarzo (SiO_2) y weddellita ($\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). La calcita proviene de la carbonatación de la cal (Ca(OH)_2) con la que se elaboró el mortero de enlucido, mientras que el cuarzo es un mineral habitual en la arena de todo mortero. La weddellita, un oxalato de calcio, se forma como consecuencia del metabolismo de ciertos microorganismos. En concreto, el género de líquen *Dirina* es el

más común de todos los encontrados en las fachadas, y su metabolismo es capaz de generar oxalatos sobre substratos calcáreos. Sobre el hecho de que el oxalato presente sea exclusivamente weddellita, como se ha detectado, algunos autores han señalado que este mineral predomina en los líquenes epilíticos y no en los endolíticos (Girbal et al., 2001). La presencia de líquenes podría explicar la tonalidad grisácea de esta capa. Su mínimo espesor es indicativo de que no se trata de una capa pictórica propiamente dicha, sino de la propia superficie del enlucido de mortero de cal.

Los minerales identificados en la capa blanca han resultado ser los mismos que los de la capa gris, con la diferencia de haberse detectado trazas de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). La presencia de este compuesto podría deberse a impurezas en la cal de origen, o quizás haberse generado

Sample D4 corresponds to mortar filling a gap in the wall of the bell section of the tower. The mortar was stripped back and cleaned superficially until small charcoal nodules suitable for dating were located. As for sample D5, the mortar was obtained from the masonry mortar in the wall of the spiral staircase leading up to the roof. The mortar was progressively stripped back superficially until small charcoal nodules suitable for dating were found.

The mortar from sample D6 comes from a gap in the parapet of the roof.. As in previous cases, the mortar was progressively stripped back superficially until small charcoal nodules suitable for dating were found.

D7 consists of a sample of lime mortar from the window sill on the staircase leading to the roof. In this case, no charcoal nodules

were found. However, anthropogenic lime is a component that can be used for dating, with the uncertainties already mentioned. Finally, sample D8 was taken from the lime mortar of the masonry, seeing as no charcoal nodules in the mortar were found.

4. RESULTS

4.1 Stratigraphic analysis using optical microscopy

The stratigraphic analysis under the optical microscope has revealed that, above the lime plaster mortar of the vault, there is an initial grey layer approximately 12 μm thick, followed by a white layer that is probably a limewash that has a thickness of between 25 and 440 μm , and finally, a red layer of between 12 and 87 μm thick. The very

small thickness of the grey layer suggests that it is not, strictly speaking, a paint layer, but rather an accumulation of dirt (charcoal residues, dust and microorganisms) on the plaster mortar surface (Fig. 6).

4.2. Mineralogical composition studied by means of X-ray diffraction

The minerals identified (Fig. 7) in the grey layer were mainly calcite (CaCO_3), together with quartz (SiO_2) and weddellite ($\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). The calcite comes from the carbonation of the lime [Ca(OH)_2] used to prepare the plaster mortar, while quartz is a common component in the sand of mortars. Weddellite is a calcium oxalate formed as a result of the metabolism of certain microorganisms, in particular, lichens of the genus *Dirina* are the most

posteriormente por sulfatación de la cal en un ambiente con contaminación (con presencia de SO_2), si bien esta última situación es poco probable dadas las condiciones del ambiente en que se encuentra. Finalmente, la capa roja, muestra básicamente la misma composición que el enlizado blanco, con algún mineral minoritario, como la halita (NaCl) y –de forma destacada– el hematite (Fe_2O_3), un óxido de hierro con un característico color rojo (almagra). Sin embargo, como el hematite se ha empleado como pigmento desde tiempos inmemoriales, no puede asociarse a ningún periodo histórico concreto, por lo que no ayuda a esclarecer la cronología de la policromía observada en la bóveda inferior de la torre.

4.3. Resultados de la datación por carbono 14. Modelado matemático bayesiano mediante OxCal

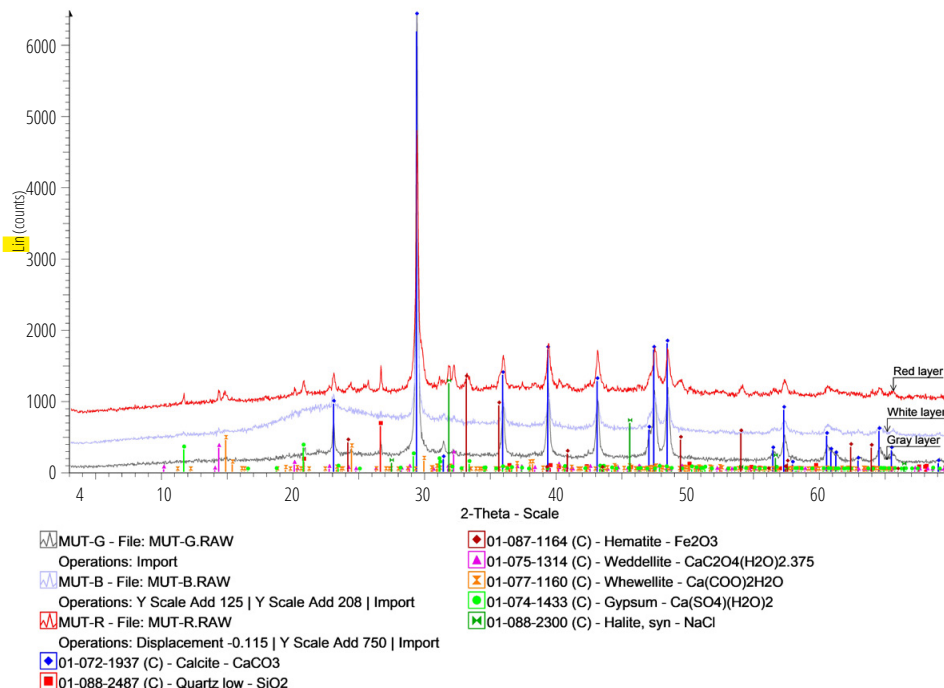
Los resultados obtenidos para la edad de radiocarbono convencional (BP) y edad calibrada mediante BetaCal 4.20,

common of those found on the façades, and their metabolism is capable of generating oxalates on calcareous substrates. The fact that the oxalate present is exclusively weddellite, as detected here, has led some authors to point out that weddellite predominates in the epilithic lichens rather than in endolithic lichens (Girbal et al., 2001). The presence of lichens could therefore explain the greyish tone of this layer, and its minimal thickness indicates that it is not a real paint layer, but the outer surface of the lime plaster mortar. The minerals identified in the white layer are the same as in the grey layer, with the additional presence of



6

7



traces of gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). This compound may either be an impurity in the original lime or it might have formed through sulphation of the lime in a polluted environment (presence of SO_2), although this latter scenario is unlikely given the environmental conditions at the site.

Finally, the red layer basically has the same composition as the white limewash, with the addition of some minor minerals such as halite (NaCl) and, above all, hematite (Fe_2O_3), an iron oxide that has a distinct red colour (*almagra*). Since hematite has been used as a pigment since time immemorial, it cannot be associated

6. Imagen general de la sección de la policromía observada a una magnificación de 40x.

6. General view of the polychrome cross-section.

7. Difractogramas de rayos X de las capas gris, blanca y roja.

7. X-ray diffractograms of the grey, white and red layers.

Tabla 2. Resultados de la datación mediante radiocarbono de las muestras de la torre e iglesia.
Table 2. Results of radiocarbon dating of samples from the Tower of the Church of El Salvador

Muestra/ Sample	Composición / Composition	ERC (BP) / CRA (BP)	Edad calibrada (AD) - probabilidad / Calibrated age (AD) - probability
D1	Nódulo de carbón vegetal Charcoal nodule	520±30	[cal AD 1327: cal AD 1338] 0.033442 [cal AD 1395: cal AD 1445] 0.966558
D2	Nódulo de carbón vegetal Charcoal nodule	460±30	[cal AD 1412: cal AD 1461] 0.982816 [cal AD 1463: cal AD 1469] 0.017184
D3	Madera Wood	410±30	[cal AD 1432: cal AD 1511] 0.888746 [cal AD 1591: cal AD 1620] 0.111254
D4	Nódulo de carbón vegetal (?) Charcoal nodule (?)	> 45000 BP	--
D5	Nódulo de carbón vegetal Charcoal nodule	490±30	[cal AD 1406: cal AD 1449] 1
D6	Nódulo de carbón vegetal Charcoal nodule	420±30	[cal AD 1431: cal AD 1508] 0.915485 [cal AD 1594: cal AD 1618] 0.084515
D7	Cal carbonata del mortero Carbonated lime from mortar	5180±30	[cal BC 4046: cal BC 3954] 1
D8	Cal carbonata del mortero Carbonated lime from mortar	1130±30	[cal AD 775: cal AD 784] 0.027397 [cal AD 833: cal AD 845] 0.020814 [cal AD 877: cal AD 993] 0.951789

con intervalos HPD según la curva IntCal20 del hemisferio norte (Reimer et al., 2020) se muestran en la Tabla 2. En un primer análisis, se puede observar que en los resultados correspondientes a las muestras D4, D7 y D8 se detectan

anomalías. La D4 excede de la escala de datación del C-14 (ERC > 45000 años a.C.), lo cual indica que la muestra no contenía ninguna concentración de ese isótopo y que probablemente no se tratara de carbón vegetal. Las muestras

with any specific historical period and therefore it does not help to clarify the chronology of the polychrome observed on the lower vault.

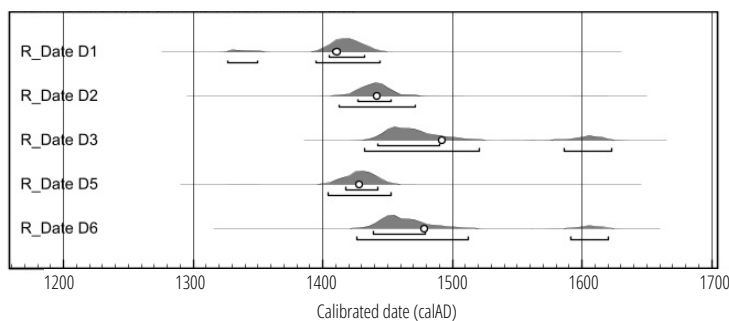
4.3 Results of the Carbon-14 dating. Bayesian mathematical modelling using OxCal

The results obtained for the conventional radiocarbon age (BP) and the calibrated age using BetaCal 4.20, with HPD intervals according to the IntCal20 curve for the Northern Hemisphere (21), are shown in Table 2. In an initial analysis, it is observed that the results for samples D4, D7 and D8 are anomalous. Sample D4 falls outside the effective range of

Carbon-14 (CRA > 45,000 years BC), which points to the fact that there was no measurable concentration of this isotope in the sample and that it was probably not charcoal. Samples D7 and D8 could be dated, but the radiocarbon ages obtained were very high, especially for D7, and it was completely outside the historically reasonable intervals. These two samples were dated by analysing the binding matrix of the mortar, which, in addition to anthropogenic lime, may contain limestone aggregate, which is the main source of “dead carbon” (geological ^{12}C) (Quirós et al., 2011), which, if it is not completely removed, ages the sample by lowering the $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio

D7 y D8, en cambio, sí se han podido datar, pero las edades radiocarbónicas obtenidas han sido muy elevadas, sobre todo en D7, completamente fuera de los intervalos históricamente previsibles. Al tratarse de dos muestras datadas a partir de la matriz conglomerante del mortero —que, además de cal antropogénica, puede contener árido calizo—, es importante considerar que este último constituye la principal fuente de carbono muerto (*dead carbon* (^{12}C)) (Quirós et al., 2011). Si este componente no se elimina completamente, puede provocar un envejecimiento de la muestra, al disminuir la ratio $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ determinada por el acelerador. La magnitud de este efecto depende, lógicamente, de la cantidad de carbono geológico presente. Se ha cuantificado que un 1 % de ese carbono puede generar una desviación de 80 años en muestras de menos de 10000 años; un 2 %, una diferencia de 160 años; un 5 %, cerca de 400; y así sucesivamente de forma cuasi lineal.

measured by the accelerator. The age offset introduced depends, logically, on the amount of geological carbon that is present. It has been quantified so that, for samples younger than 10 000 years, 1% of such carbon produces a shift of about 80 years, 2% produces 160 years, 5% nearly 400 years, and so on in an approximately linear fashion. Once the results for D4, D7 and D8 had been ruled out, the first step was to plot the calibrated ages using the IntCal20 curve, based on atmospheric data for the Northern Hemisphere (Reimer et al., 2020). In assessing the results of the analyses, the probability of each calibrated date interval must be taken into account. For



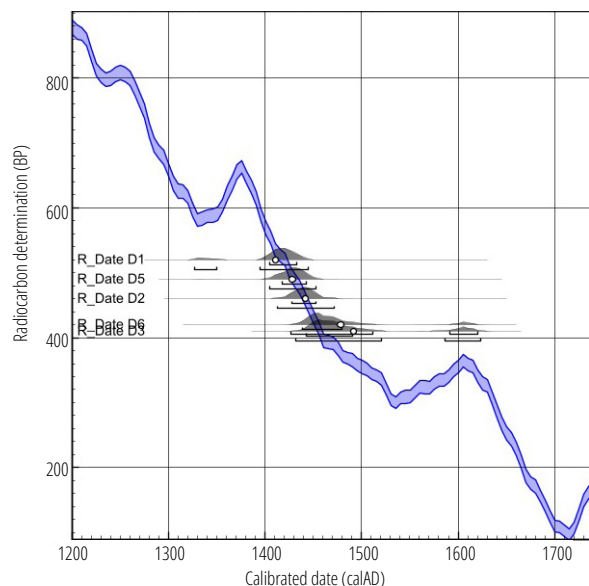
8

8. Serie de dataciones de las muestras D1, D2, D3, D5 y D6 de la torre e iglesia.

8. Series of radiocarbon dates for samples D1, D2, D3, D5 and D6 from the Tower and Church of El Salvador.

9. Serie de dataciones de las muestras D1, D2, D3, D5 y D6 calibradas sobre la curva.

9. Series of radiocarbon dates for samples D1, D2, D3, D5 and D6 from the Tower and Church of El Salvador, calibrated on the IntCal20 curve.



9

Una vez descartados los resultados de D4, D7 y D8, la primera operación realizada ha consistido en la representación de edades calibradas utilizando la curva IntCal20, basada en datos atmosféricos del hemisferio norte (Reimer et al., 2020).

Para interpretar correctamente los resultados de los análisis, se debe tener en cuenta la probabilidad asociada a cada intervalo de datación; por ejemplo, en el caso de la muestra D5, el intervalo re-

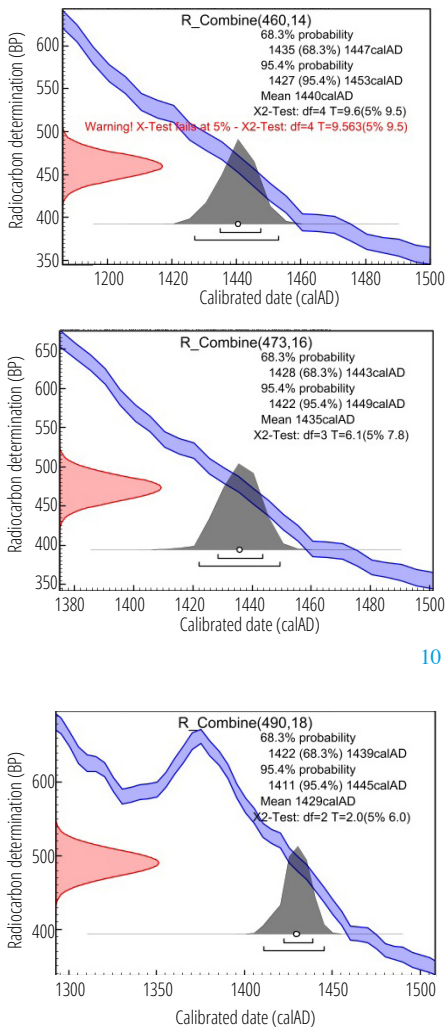
sultante es [cal AD 1406-1449] con un 100 % de probabilidad. Los resultados sugieren inicialmente la existencia de dos posibles agrupaciones: por un lado, la formada por las muestras D1, D2 y D5; por otro, la de D3 y D6 (Figs. 8 y 9), que presentan una horquilla ligeramente posterior al resto de las muestras. Conviene recordar que la muestra D3 corresponde a un elemento de madera anclado en un sillar de uno de los pilares del templo y, por tanto, fuera de la

estructura de la torre propiamente dicha. Ya se ha aclarado que la construcción de la iglesia de El Salvador es posterior a la de la torre, y que esta se mantuvo exenta en sus orígenes. La edificación del templo comenzó en 1513, cuando se adosó a la torre, y finalizó en 1522; por tanto, la datación obtenida es perfectamente compatible con estas fechas. Por otra parte, la muestra D6 hace referencia al pretil de la torre, elemento que pudo añadirse como remate a la edificación

example, in the case of D5, the resulting date range is [cal AD 1406–1449] with a probability of 100%. The results initially suggest that two groups can be defined: one made up of D1, D2 and D5, and another by D3 and D6 (Figs. 8 and 9), the latter showing a slightly later time span than the other samples. It should be pointed out that sample D3 is from a piece of wood anchored in a dressed stone block forming one of the church piers, and therefore it is located

outside the tower structure in the strict sense of the word. It is known that the Church of El Salvador was built after the tower, which originally stood as a free-standing structure. Construction work on the church, which was built against the tower, began in 1513 and it was completed in 1522, so the date obtained for this sample matches these dates perfectly. As for sample D6, it comes from the parapet of the tower, which may well have been added as

a crowning feature some years after completion of the main structure. When several dates relate to the same event, OxCal has a command/function, R_Combine, which can be used to combine them before they are calibrated, which favours a more precise estimate and avoids an over-representation of that event. R_Combine can also be used to carry out the statistical analysis known as the test of contemporaneity or the



10. Arriba: Edades calibradas con R_Combine con horquillas de probabilidad y resultados de X²-test con 5 muestras. Abajo: Ídem. con 4 muestras, eliminando D3.

10. Top: calibrated ages with R_Combine, probability ranges and χ^2 -test results for the five samples. Bottom: idem for 4 samples (excluding D3).

11. Edades calibradas con R_Combine con horquillas de probabilidad y resultados de X²-test para D1, D2 y D5.

11. Calibrated ages with R_Combine, probability ranges and χ^2 -test results for D1, D2 and D5.

Tabla 3. Edades calibradas de las dataciones de la torre de la iglesia después del modelado con OxCal.
Table 3. Calibrated ages, after OxCal modelling, of the dates for the Tower of the Church of El Salvador

Muestras / Samples	ERC (BP) / CRA (BP)	Edad calibrada (AD) – probabilidad (68,3 %) / Calibrated age (AD) – probability (68.3%)	Edad calibrada (AD) – probabilidad (95,4 %) / Calibrated age (AD) – probability (95.4%)	Media / Mean
HIPÓTESIS 1 / HYPOTHESIS 1: D1, D2, D5 y D6	473±16	1428 - 1443 AD	1422 - 1449 AD	1435
HIPÓTESIS 2 / HYPOTHESIS 2: D1, D2 y D5	490±18	1422 - 1439 AD	1411 - 1445 AD	1429

algunos años después de la finalización de la estructura principal. Cuando varias dataciones se asocian a un mismo evento, el programa informático OxCal dispone del comando R_Combine, que permite combinarlas antes de su calibración, dando pie a una estimación más precisa y evitando una sobrerrepresentación de este acontecimiento. Además, R_Combine admite la realización del análisis estadístico denominado «test de contemporaneidad» o Chi cuadrado (X² test) (Ward & Wilson, 1978), un análisis que, de disponer de una serie de dataciones consideradas desde el punto de vista arqueológico, próximas en la es-

cala calendárica, proporciona información sobre la consistencia interna de la serie radiométrica, indicando si se trata de un evento puntual o de corta duración. Los resultados obtenidos al aplicar esta función a las dataciones de la torre e iglesia de El Salvador se muestran en la Figura 10. Para las cinco muestras consideradas (Fig. 10 izda.), con un nivel de significación del 5 % y cuatro grados de libertad, el valor crítico de es 9,5. Dado que el valor de X² calculado es mayor (9,563), se observa una diferencia significativa, que indica que la serie de cinco dataciones no es consistente

Chi-squared test (X² test) (Ward & Wilson, 1978). When a series of dates is considered, from an archaeological point of view, to fall within a relatively narrow calendrical range, this test provides information on whether the radiometric series is internally consistent, stating whether it concerns a single event or one of short duration. The results obtained by applying this function to the dates of the Tower and Church of El Salvador are shown in Fig. 10. In the case of the five samples (Fig. 10, left), for a significance level of 5% and 4 degrees of freedom, the

χ^2 table gives a critical value of 9.5; since the calculated χ^2 value is higher (9.563), there is a significant difference, and the series of 5 dates is therefore not internally consistent. However, when D3 is eliminated (Fig. 10, right), with 3 degrees of freedom, the critical χ^2 value is 7.8, while the calculated value is 6.1. In this case there is no significant difference, so the series of 4 dates is internally consistent, and it is statistically coherent to confirm that D3 belongs to a different construction phase, that of the Church, which is after the construction of the tower.

internamente. En cambio, en el caso de la eliminar D3 (Fig. 10 dcha.), con tres grados de libertad, el valor crítico de X^2 es 7,8, mientras que el valor calculado es de 6,1. En este caso, no hay diferencia significativa, por lo que la serie de cuatro dataciones sí resulta consistente internamente. Desde el punto de vista estadístico, es coherente afirmar que D3 pertenece a otra fase constructiva, la de la iglesia, posterior a la edificación original de la torre.

Partiendo ya solamente de las muestras correspondientes a la torre (D1, D2, D5 y D6), se realizó un segundo refinamiento consistente en eliminar la muestra D6, que pertenece al pretil de la torre, ya que su datación muestra una horquilla temporal ligeramente superior a D1, D2 y D5. El modelado obtenido mediante R_Combine (Fig. 11) indica que, para un nivel de significación del 5 % y tres grados de libertad, el valor tabulado de X^2 es de 6,0, siendo el valor calculado de 2,0. Cuando más próximo a cero es el valor de X^2 , mayor es la concordancia entre las frecuencias observadas y

las esperadas; de ahí que el grupo de las 3 mediciones (D1, D2 y D5) sea más coherente eliminando D6 (6,0 frente a 7,8). Desde el punto de vista constructivo, este segundo refinamiento sugiere que el pretil de la torre pudo ser construido o reconstruido en el mismo periodo que la iglesia. Esta hipótesis resulta plausible, pues el pretil actúa como elemento de remate de la torre y bien pudo ser añadido unos años después.

A modo de resumen, se presentan en la Tabla 3 las edades radiocarbónicas y las edades calibradas obtenidas tras del modelado con OxCal para las dos hipótesis que resultan matemáticamente consistentes. Ambos modelos sitúan la construcción de la torre en la primera mitad del siglo xv, con un 95,4 % de probabilidad, pudiendo incluso precisarse en el segundo cuarto de dicho siglo. Estos resultados son plenamente compatibles con el análisis de los materiales recuperados en la trinchera de fundación de la torre durante las excavaciones de 2002.

Taking only the samples from the tower itself (D1, D2, D5 and D6), a second refinement was carried out by eliminating sample D6, which comes from the parapet of the tower, seeing as its date range is slightly later than those of D1, D2 and D5. The model obtained with R_Combine (Fig. 11) shows that, for a significance level of 5% and 3 degrees of freedom, the χ^2 table gives a critical value of 6.0, while the calculated χ^2 value is lower (2.0). The closer the Chi-squared value is to zero, the better the agreement between observed and expected frequencies; for this reason, the group

of 3 (D1, D2 y D5) measurements is more coherent when D6 is excluded (6,0 vs. 7,8).

From the constructive point of view, if this second refinement is accepted, it would mean that the parapet of the tower was built or rebuilt in the same period as the church. This hypothesis is plausible, since the parapet is an element that crowns the tower and it could well have been added some years later.

To summarise, Table 3 shows the radiocarbon ages and calibrated ages obtained after modelling with OxCal for the two mathematically consistent

5. CONCLUSIONES

A la vista de los materiales obtenidos en la trinchera de cimentación del muro sur de la torre, se podría considerar que su construcción tuvo lugar a mediados del siglo xv. Además, la trinchera se halla cortando niveles que, según Francisco Lozano, corresponden a los siglos xiv-xv. Este hecho, unido a las singularidades arquitectónicas de la torre –que la distinguen del resto de torres de la huerta– y la certeza de que originalmente se encontraba exenta, sugiere que su construcción es anterior a lo que tradicionalmente se venía asumiendo y a lo expresado en su día por Bendicho. Por otra parte, puede que su uso no fuese religioso desde el primer momento, sino defensivo, y que la capilla de la Virgen se ubicase en ella posteriormente, ya que su morfología se asemeja más a las torres defensivas de la costa que no a la arquitectura religiosa.

Los resultados del análisis estructural de la torre, junto con la revisión de los materiales de la excavación del año 2002 y las dataciones por Carbono 14, permiten

hypotheses. Both place the construction of the tower in the first half of the 15th century, with a probability of 95.4%, and it may even be suggested that it was most likely built in the second quarter of that century. These results are fully consistent with the analysis of the material recovered from the foundation trench of the tower during the 2002 excavation work.

5. CONCLUSIONS

In light of the material recovered from the foundation trench of the south wall of the tower, it is likely that the structure was

afirmar, con escaso margen de error, que la torre de El Salvador de Mutxamel fue edificada en el segundo cuarto del siglo xv. Asimismo, el modelado estadístico realizado con el programa OxCal confirma que las dos hipótesis planteadas son consistentes matemáticamente, coincidiendo ambas en situar la construcción de la torre en la primera mitad del siglo xv.

Por último, indicar que los resultados de la caracterización de los pigmentos de la bóveda de la planta baja no aportaron ningún dato significativo asociable a un periodo histórico concreto, ya que responden a compuestos habituales empleados a lo largo de la historia, sin adscripción cronológica posible.

Este estudio constituye solo una primera aproximación a la problemática de los orígenes de la torre de la iglesia de Mu-

txamel. Todavía queda mucho trabajo por delante para reconstruir con claridad la historia de este municipio. Futuras líneas de investigación podrían abordar las razones históricas de la construcción de una torre de carácter defensivo en este lugar, el estudio comparativo con otros ejemplos similares geográfica y temporalmente, y la profundización para un mejor conocimiento de las fases constructivas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Ayuntamiento de Mutxamel (Alicante) y a su alcalde por la financiación de esta investigación. 🏛️

NOTAS / ENDNOTES

- ¹ Berger, 1992; Heinemeier et al., 1997; Gallo et al., 2000; Marzaioli et al., 2013; Al-Bashaireh, 2015; Michalska & Czernik, 2015; Sanjurjo-Sánchez, 2016.

built halfway through the 15th century. The trench itself cuts across levels which, according to Francisco Lozano, date from the 14th–15th centuries. This fact, together with the architectural uniqueness of the Tower, which is different from the other towers watching over the fertile irrigated land and the certainty that it originally stood as a free-standing structure, suggests that its construction predates what has traditionally been assumed and what Bendicho himself records. Furthermore, its initial purpose might not have been religious but rather defensive, and that the chapel of Our Lady was set up there at a later stage, seeing as its morphology is more like that of coastal defensive towers than that of conventional religious architecture.

The analysis of the results of the structural configuration of the Tower, combined with

the reassessment of the material from the 2002 excavation work and the results of the Carbon-14 analyses, makes it possible to affirm, with a small margin of error, that the Tower of El Salvador in Mutxamel was built in the second quarter of the 15th century. Likewise, statistical modelling carried out with the OxCal program clearly shows that the two proposed hypotheses are mathematically consistent, both show that the construction date of the Tower is the first half of the 15th century

Finally, it should be noted that the results obtained from the characterisation of the pigments on the ground-floor vault do not provide any significant information that can be associated with a specific historical period, because they are commonly used compounds with no precise chronological attribution.

This study is merely the initial approach to the complex question of the origins of the Church Tower in Mutxamel, and a lot more work still has to be done in order to reconstruct the history of the town with greater clarity. Future lines of research might be able to address the historical reasons that led to the construction of a defensive tower at this particular site, undertake comparative analysis with other geographically and chronologically similar examples, and refine our understanding of the different construction phases better.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to express their gratitude to the Town Council of Mutxamel (Alicante) and its mayor for funding this research. 🏛️

BIBLIOGRAFÍA / REFERENCES

- Al-Bashaireh, K. (2015). "Radiocarbon Age Determinations of Mosaic Mortar Layers of Churches from North Jordan". *Radiocarbon*, 57(5), pp. 851-863. https://doi.org/10.2458/azu_rc.57.18197
- Bendicho, V. (1640). *Crónica de la muy Ilustre, Noble y Leal Ciudad de Alicante*. Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes, Alicante 2018.
- Berger, R. (1992). "14C dating mortar in Ireland" *Radiocarbon*, 34(3), pp. 880-889. <https://doi.org/10.1017/S0033822200064201>
- Bronk Ramsey, C. (2009). "Bayesian analysis of radiocarbon dates". *Radiocarbon*, 51(1), pp. 337-360. <https://doi.org/10.1017/S0033822200033865>
- Brotons Boix, A. (2015). *Església El Salvador de Mutxamel. 500 Anys d'història. Ajuntament de Mutxamel*. Mutxamel, 2015.
- Cabezuelo Pliego, J.V., Gutiérrez Lloret, Sonia (1990-1991). "La huerta de Alicante tras la guerra de los dos Pedros. Acerca de la construcción del Assud Nou en 1377". *Anales de la Universidad de Alicante. Historia medieval*, 8, pp. 69-98.
- Gallo, N., Fieni, L., Martini, M., Sibilia, E. (2000). "Building archaeology, 14C and thermoluminescence: two examples comparison", in Évin, J. (dir.) *14C et archéologie: 3e Cong. Int.*, Lyon, 6-10 avril 1998. Paris, 2000: Société préhistorique française, 1999, pp. 425-431.
- Girbal, J., Prada, J.L., Rocabayera, R., Argemí, M. (2001). "Dating of Bio-deposits of Oxalates at the Arc De Berà in Tarragona, Spain". *Radiocarbon*, 43(2B), pp. 637-645. <https://doi.org/10.1017/S0033822200041291>
- Heinemeier, J., Jungner, H., Lindroos, A., Ringbom, A., Von Konow, T., Rud, N. (1997). "AMS 14C dating of lime mortar". *Instruments and Methods. Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 123, pp. 487-495. [https://doi.org/10.1016/S0168-583X\(96\)00705-7](https://doi.org/10.1016/S0168-583X(96)00705-7)
- Jover F.J., Menéndez-Fueyo, J. L. (1997). "Las torres-refugio de la huerta de Alicante en el s. XVI". *Castillos de España*, 107, pp. 15-24.
- Lozano Olivares, F. (2003). *Informe de intervención arqueológica realizada en la Iglesia Arciprestal del Salvador*. Muchamiel (Alicante). File: 2002/0738-A. Unpublished.
- Marzaioli, F., Nonni, S., Passariello, I., Capano, M., Ricci, P., Lubritto, C., De Cesare, N., Eramo, G., Quirós Castillo, J. A., Terrasi, F. (2013). "Accelerator mass spectrometry 14C dating of lime mortars: Methodological aspects and field study applications at CIRCE (Italy)". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 294, pp. 246-251. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2012.09.006>
- Michalska, D., Czernik, J. (2015). "Carbonates in leaching reactions in context of 14C dating. Nuclear". *Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 361, pp. 431-439. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2015.08.033>
- Menéndez-Fueyo, J. L. (2000). "La red de torres para la defensa del litoral costero en la provincia de Alicante durante el siglo XVI: una propuesta de evolución cronotipológica". *Actas del Simposio Int. sobre Castelos*. Pamela, Portugal, pp. 733-758.
- Menéndez Fueyo, J. L. (2015). *Guardianes del miedo. El sistema de defensa de la huerta marítima de Alicante durante el siglo XVI*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Quirós Castillo, J., Marzaioli, F., Lubritto, C. (2011). "Dating mortars: three medieval Spanish architectures". *Arqueología de la Arquitectura*, 8, pp. 13-24. <http://www.rmoa.unina.it/id/eprint/908>
- Ramón, F. (2005). *Las Torres de Defensa de la Huerta de Alicante*. Ayuntamiento de Sant Joan d'Alacant.
- Reimer, P. J., Austin, W. E. N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P. G., et al. (2020). "The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 calkBP)". *Radiocarbon*, 62(4), pp. 725-757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Ringbom, Å., Hale, L., Heinemeier, J., Lindroos, A., Brock, F. (2006). "The use of mortar dating in archaeological studies of Classical and Medieval structures". *Proceedings of the 2nd Int. Cong. on Construction History*, 3, pp. 2613-2633.
- Sanjurjo-Sánchez, J. (2016). "Dating Historical Buildings: An Update on the Possibilities of Absolute Dating Methods". *Int. Jour. of Architect. Heritage*, 10 (5), pp. 620-635. <https://doi.org/10.1080/15583058.2015.1055384>
- Tubbs, L. E., Kinder, T. N. (1990). "The use of AMS for the dating of lime mortars". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 52 (3-4), pp. 438-441. [https://doi.org/10.1016/0168-583X\(90\)90453-2](https://doi.org/10.1016/0168-583X(90)90453-2)
- Van Strydonck, M., Dupas, M., Dauchotdehon, M., Pachiaudi, Ch., Marechal, J. (1986). "The influence of contaminating carbonate and the variations of 13C in mortar dating". *Radiocarbon*, 28 (2A), pp. 702-710. <https://doi.org/10.1017/S003382220000792X>
- Ward, G. K., Wilson, S. R. (1978). "Procedures for comparing and combining radiocarbon age-determinations-critique". *Archaeometry*, 20, pp. 19-31. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1978.tb00208.x>

