

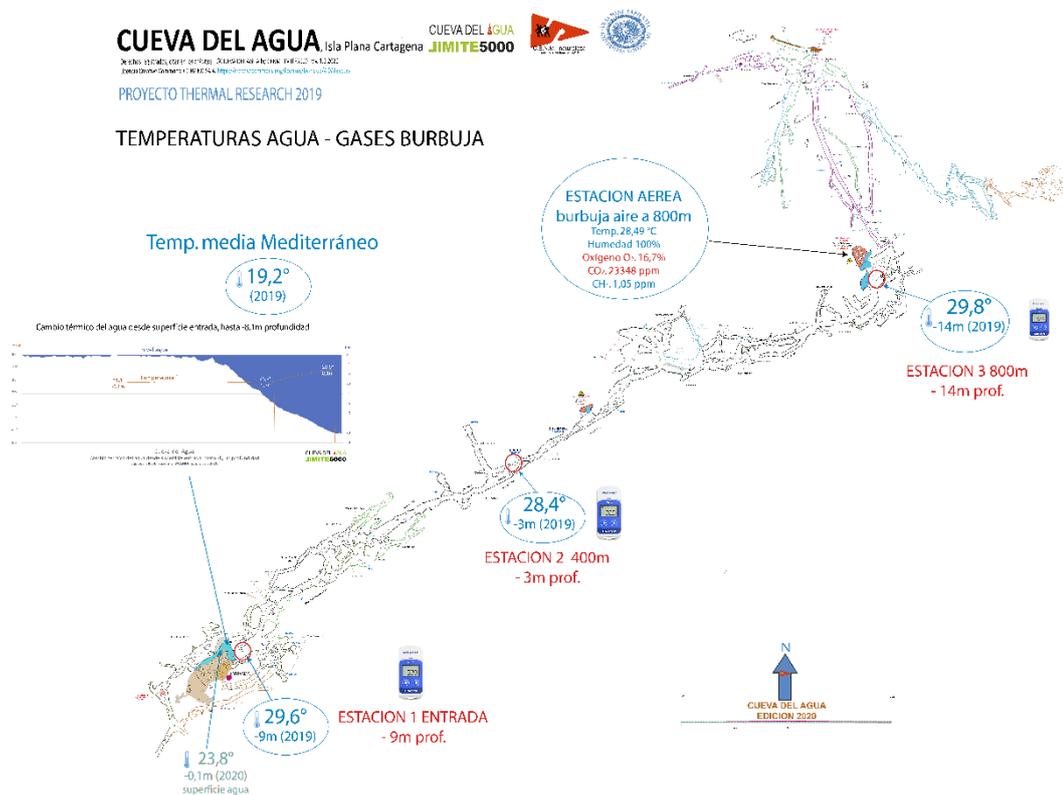
Resultados preliminares de la monitorización termo-gaseosa en Cueva del Agua, Cartagena

Proyecto Thermal Research, Cueva del Agua

José Luis Llamusí ⁽¹⁾, Andrés Ros ⁽¹⁾, Angel Fernández-Cortes ⁽²⁾, José M. Calaforra ⁽²⁾,
Fernando Gázquez ⁽²⁾, José A. Soto ⁽¹⁾

⁽¹⁾CENM-naturaleza, ⁽²⁾ Universidad Almería.

Y la colaboración del Grupo Especial de Actividades Subacuáticas de la Guardia Civil y Autoridad Portuaria de Cartagena.



Publicaciones del:

Centro de Estudios de la Naturaleza y el Mar y Universidad de Almería

Edita: CENM-naturaleza (Spain) junio 2020 rv 3.0

Resultados preliminares de la monitorización termo-gaseosa en Cueva del Agua, Cartagena

Proyecto Thermal Research, Cueva del Agua

Equipo redacción:

José Luis Llamusí ⁽¹⁾, Andrés Ros ⁽¹⁾, Angel Fernández-Cortes ⁽²⁾, José M. Calaforra ⁽²⁾, Fernando Gázquez ⁽²⁾, José A. Soto ⁽¹⁾

⁽¹⁾ CENM-naturaleza, ⁽²⁾ Universidad Almería.

Colaboración del Grupo Especial de Actividades Subacuáticas de la Guardia Civil y Autoridad Portuaria de Cartagena.

Correspondencia: cenm@cenm.es

Equipos toma de muestras:

J.L. Llamusí, J. Soto, J. Sánchez, G. Beltran, J. Ruberte, F.M. Izquierdo, A. Marín, J.L. Carcelén, J. Leandro Ronda, A. Getino.
G.E.A.S. Guardia Civil de Cartagena;
Francisco Cabañero, José A. Soto, José L. Hernández, Luis Manzano.

Edita: A. Ros J.L. Llamusí y Centro de Estudios de la Naturaleza y el Mar.
3 rv

CUEVA DEL AGUA LIMITE5000

www.cenm.es

www.cuevadelagua.es

© Licencias Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0



© Thermal Research es un proyecto de CENM-naturaleza y Universidad de Almería y Autores.

Cartagena junio 2020



CUEVA DEL AGUA
JIMITE5000



Resultados preliminares de la monitorización termo-gaseosa en Cueva del Agua, Cartagena

Proyecto Thermal Research, Cueva del Agua

José L. Llamusí ⁽¹⁾, Andrés Ros ⁽¹⁾, Angel Fernández-Cortes ⁽²⁾, José M. Calaforra ⁽²⁾, Fernando Gázquez ⁽²⁾, José A. Soto ⁽¹⁾
⁽¹⁾CENM-naturaleza, ⁽²⁾ Universidad Almería.

Colaboración del Grupo Especial de Actividades Subacuáticas de la Guardia Civil y Autoridad Portuaria de Cartagena.

Correspondencia: cenm@cenm.es

www.cuevadelagua.es

Junio 2020. Rv.2.1

Summary:

Preliminary results obtained in Phase I of the Thermal Research 2019 project, this project analyzes the dynamics of the climate of water and air in Cueva del Agua - Cartagena, this cavity is mostly flooded and the waters maintain temperatures around 29 ° C coming from a thermal aquifer. For a year, water temperatures are recorded at various fixed points in the cavity every 15 minutes, while data on the temperature of the Mediterranean are obtained by comparing them daily.

The first data obtained on the temperature of the water are presented, which indicate a constant thermalism in the Cueva del Agua, with a temperature of 29.2 ° C, from the active thermal aquifer that contributes to the Mediterranean. There is a difference with the temperature of the Mediterranean and local scale (19.2 ° C). After these analyzes, it has been verified that the cave maintains its thermalism in the studied area without external thermal influences.

Key words: *Thermalism, temperatures, hydrothermal karst, underwater cave.*

Resumen:

Resultados preliminares obtenidos en la Fase I del proyecto Thermal Research 2019, este proyecto analiza la dinámica del clima del agua y aire en Cueva del Agua – Cartagena, esta cavidad se encuentra inundada en su mayor parte y las aguas mantienen temperaturas entorno a 29°C provenientes de un acuífero termal. Durante un año se registran las temperaturas del agua en varios puntos fijos de la cavidad cada 15 minutos, a su vez se obtienen datos de la temperatura del Mediterráneo comparándolas diariamente.

Se presentan los primeros datos obtenidos sobre la temperatura del agua, que indican un termalismo constante en cueva del Agua, con una temperatura de 29,2°C, procedente del acuífero termal activo y que se aporta al Mediterráneo. Se constata una diferencia con la temperatura del Mediterráneo e escala local (19,2°C). Tras estos análisis se ha podido comprobar que la cueva mantiene su termalismo en la zona estudiada sin influencias térmicas externas.

Palabras clave: Termalismo, temperaturas, karst hidrotermal, cueva submarina.

Introducción

Cueva del Agua situada el Oeste de Cartagena, es una cavidad de origen hidrotermal con más de 4.317m. de recorrido topografiado, el 95% del recorrido está sumergido por aguas de origen termal, parte de estas están vertiendo al mar Mediterráneo, dada su proximidad. La temperatura del agua en la cavidad se mantiene durante todo el año entorno a los 29,2°C, si bien existían ciertas dudas sobre posibles intrusiones marinas en el interior, no se conocen trabajos precedentes en este sentido realizados en esta cavidad, por lo que estaba sujeto a especulaciones puntuales. El proyecto trata de establecer si las variaciones térmicas del Mediterráneo afectan a las aguas de la cavidad o por el contrario son aportes de aguas termales profundas y obtener datos reales con el rigor científico que se precisan.

Para resolver estas dudas un equipo del Centro de Estudios de la Naturaleza y el Mar y la Universidad de Almería, inician el Proyecto Thermal Research a realizar en dos fases, la primera se monitoriza la temperatura del agua en varios puntos de la cavidad y una estación de registro en el Mediterráneo registrando datos cada cierto tiempo y durante un año. Al mismo tiempo se recogen muestras de aire y mediciones de gases en dos burbujas de aire situadas en el interior de Cueva del Agua para su análisis en laboratorio. En la segunda fase se realizan muestreos en recorridos con equipos de registros de datos durante los recorridos para analizar cualquier diferencia de temperaturas o gases de las burbujas en el interior.

Los resultados de esta primera fase, obtenidos durante el año 2019, han proporcionado datos generales de la dinámica del clima en la cavidad, que registran un termalismo elevado y constante de las aguas en la cueva, en relación a las temperaturas del Mediterráneo que son variables durante el año y más bajas que en Cueva del Agua. Los datos establecen una media general de la temperatura del agua en la cavidad de 29.2°C, y del aire de la burbuja situada a 800m una media de 28,4°C, en esta se analizan otros gases como el CO₂, O₂, CH₄, Radón y otros. La investigación continua con una segunda fase de mediciones de mayor precisión puntual durante los recorridos submarinos por la cueva, detectando y analizando pequeñas variaciones de las temperaturas, objeto de un siguiente trabajo.

Metodología

Para el estudio del termalismo en Cueva del Agua se instalan tres estaciones de registro de temperaturas bajo el agua. Se elige el tramo más visitado y accesible que va desde la entrada hasta a la distancia de 800m, siendo esta la zona más próxima al mar, ver plano.

Para el registro de datos se instalan tres estaciones de termómetros dataloger RC-5 de Elitech, con una resolución de 0.1 °C, precisión de +- 0.5 °C, capacidad de 32.000 registros. Estos equipos se programan para que cada 15 minutos almacenen un registro, a su vez estos equipos se introducen en una bolsa estanca de Poliuretano termoplástico, certificación IPX8 sumergible hasta 30 metros. Previamente se realizan ensayos para evaluar posibles diferencias de temperatura y ajustes previos, se verifican que necesitan un periodo de adaptación de unos 20 minutos.

Las tres estaciones se instalan, bajo el agua, la Estación 1 en la zona de la entrada a -9m de profundidad, la Estación 2 a 400m de la entrada -3m profundidad y la Estación 3 a 800m de la entrada a -14m de profundidad, ver plano. Estos equipos se van alternando cada 3-4 meses sustituyéndolos por un segundo juego de equipos previamente ajustados.

En la burbuja de aire situada a 800m de la entrada, se instalan equipos para medición de temperatura, humedad y CO₂, los altos niveles de CO₂ que se concentran no validan los equipos que se quedan fuera de rango, por lo que se procede a extraer en bolsas muestras de aire y analizarlas en laboratorio. Estos muestreos se realizan en bolsas esterilizadas, con válvulas de seguridad y llenadas con bomba de succión y son enviados a laboratorio para su análisis. Estos muestreos aportan datos como las concentraciones de CO₂, el H₂S y la señal isotópica del carbono de ambos gases.

Junto a la toma de muestras de aire en bolsas se realiza una toma directa de la calidad del aire con un equipo multigas, Altair 4XR, este equipo proporciona datos sobre el O₂, gases explosivos LEL y H₂S.

En las mediciones del Mediterráneo se utilizan los datos proporcionados por la Autoridad Portuaria de Cartagena que tiene instaladas varias boyas en el mar a la salida de los puertos con distintos sensores, entre ellos temperatura del agua. Los datos para este periodo son tomados de la boya situada en Cabo de Palos y los registros corresponde a uno por hora durante un año.

El periodo analizado corresponde a los registros realizados durante el año 2019.

Análisis de datos obtenidos

Estaciones.

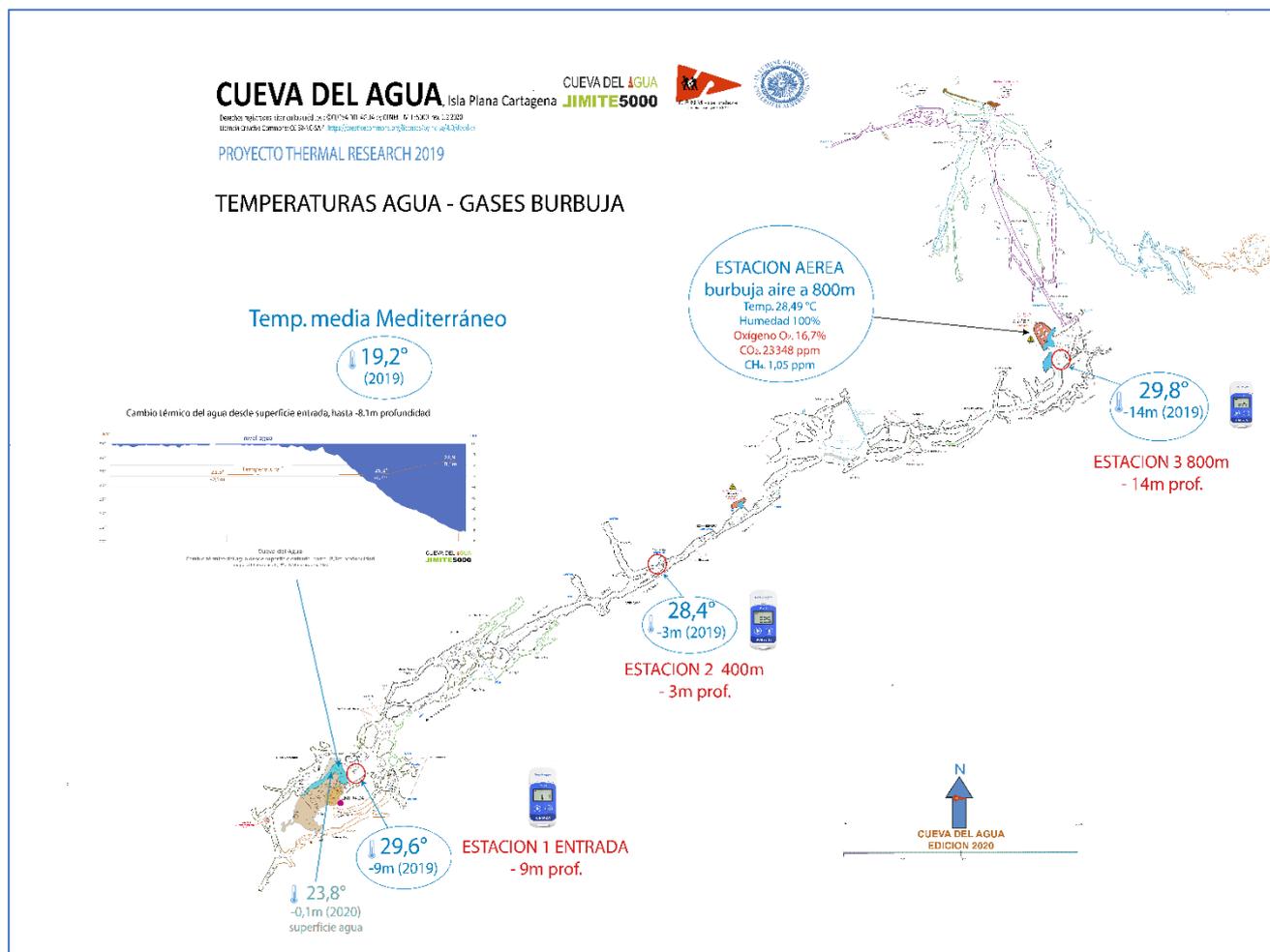
Durante el año 2019 se realizan mediciones de la temperatura del agua y se obtienen los siguientes datos:

CUEVA DEL AGUA REGISTROS

Días totales	Núm. Registros	Estación 1 Media Temp.	Estación 2 Media Temp.	Estación 3 Media Temp.	Media Temp. Total
327 (est. 2)	28.167	29,5°C	28,4°C	29.8°C	29.2°C

MAR MEDITERRANEO, boya Cabo de Palos.

Días Totales	Núm. Registros	Media Temp. Agua
327	8.226	19,2°C



Plano situación estaciones

La media total de las tres estaciones situadas en la **Cueva del Agua** es de **29,2°C**, estableciendo esta media de temperatura a la zona comprendida en el estudio desde la entrada hasta los 800m. La temperatura media del Mediterráneo en el mismo periodo ha sido de **19,2°C**.

Hay una amplia diferencia térmica con respecto a las aguas de Cueva del Agua de 10.1°C, lo que nos indica que las temperaturas de las aguas de la cueva no guardan relación con el gradiente térmico del Mediterráneo y que proviene de un aporte interno termal. Precisamos que solo se analizan las temperaturas del tramo de entrada hacia el interior hasta la distancia de 800m, el análisis en detalle de las zonas hacia el mar y profundas de la cavidad, pueden hacer variar la media general.

Otras mediciones:

Se analizan los gases de la burbuja de aire a 800m, para ello se recogen muestras de aire en bolsas específicas para tal fin y enviadas al laboratorio de la Universidad de Almería para su estudio, también se emplea un medidor multigas para el registro directo del Oxígeno y otros

gases nocivos. Los registros directos realizados en las burbujas de aire aportan los siguientes resultados:

Datos aire burbuja 800m

Fecha	Temp. aire	Humedad	CO ₂ ppm	O ₂ %	CH ₄ ppm	Radón Bq/m ³
27/05/2018		100%	22707	19,1	0,95	
09/02/2018	28,6°C	100%	24113	16,5	1,04	2300
10/04/2019	28,46°C	100%	22435		1,17	
25/07/2019		100%	24922	16,7	1,03	
10/09/2019	28,43°C	100%	25188	16,7	1,00	
14/01/2020	28,42°C	100%	21581		1,04	
15/05/2020		100%	22487	16,7	1,12	
Promedio	28,44°C	100%	23348	16,7	1,05	

Discusión

Los registros de temperaturas en Cueva del Agua durante un año, muestran una temperatura estable a lo largo del año con una media general de 29.2°C, si bien hay unas pequeñas diferencias entre las tres estaciones. La Estación 1 y Estación 3 mantienen unas temperaturas similares con muy poca diferencia 0,3°C de (29,5°C y 29,8°C). La Estación 2 presenta una diferencia con las estaciones 1 y 3 de -1,4°C, posiblemente debido a la diferencia de cotas (para la Estación 2 es de -3m de profundidad y para las Estaciones 1 y 3 es de -9m y -14m respectivamente). Hay indicios de una capa de termoclina en cotas superiores, y que son objeto de estudio en la fase II de este proyecto.

	DIAS MEDIDOS	NUM. REGISTROS	MAXIMA	MINIMA	VARIACION	T. MEDIA
ESTACION 1 ENTRADA	218	16.372	29,9°C	29,1°C	0,8°C	29,5°C
ESTACION 2 400m	327	28.167	28,5°C	28,3°C	0,2°C	28,4°C
ESTACION 3 800m	114	10.713	29,9°C	29,7°C	0,2°C	29,8°C
Mediterráneo	342	8.226	27,7°C	14,5°C	13,2°C	19,2°C

Cuadro resumen de datos obtenidos por los equipos dataloger situados en las tres estaciones de Cueva del Agua y en la boya de Cabo de Palos en el Mediterráneo.

Estación 1 (Entrada). Esta estación se sitúa cerca de la entrada a una cota de -9m. de profundidad, la temperatura media anual es de 29.5°C, la máxima registrada ha sido de 29,9°C y la mínima de 29,1°C, con una variación térmica de 0,8°C. La temperatura desciende a su punto mínimo 29,1°C en los meses de Julio y agosto, círculo grafico Estación 1. En relación a la media general de la cueva 29,2°C, la variación en la estación de Entrada es de 0,3°C.



Gráfico Estación 1 (Entrada) -9m. profundidad

Estación 2 (400m). Situada a 400m de la entrada y a una profundidad de -3m, esta estación ha sido la que ha registrado la temperatura media más baja de las tres estaciones, 28,4°C, la máxima temperatura registrada ha sido de 28,5°C y la mínima de 28,3°C con una variación de 0,20°C. Los descensos con esta amplitud térmica máxima han sido puntuales sin una permanencia en el tiempo. Se han registrado tres descensos bruscos de temperatura, uno en Enero y dos en Junio, pero no reseñables para el análisis, (círculos en gráfico Estación 2). Si destaca la diferencia con la media de temperatura de la cavidad 29,2°C y la diferencia en esta estación con esa media 28,4°C con una variación de -0,8°C, casi llegando a un grado, la diferencia de cotas de profundidad donde se estableció esta estación a -3m es la más cercana de la superficie de las tres estaciones, la 1 y 3 están entre -9m y-14m, existen indicios de una termoclina superior, que se ha ido detectando en diversos puntos de la cavidad, objeto de un estudio más detallado de la fase II.

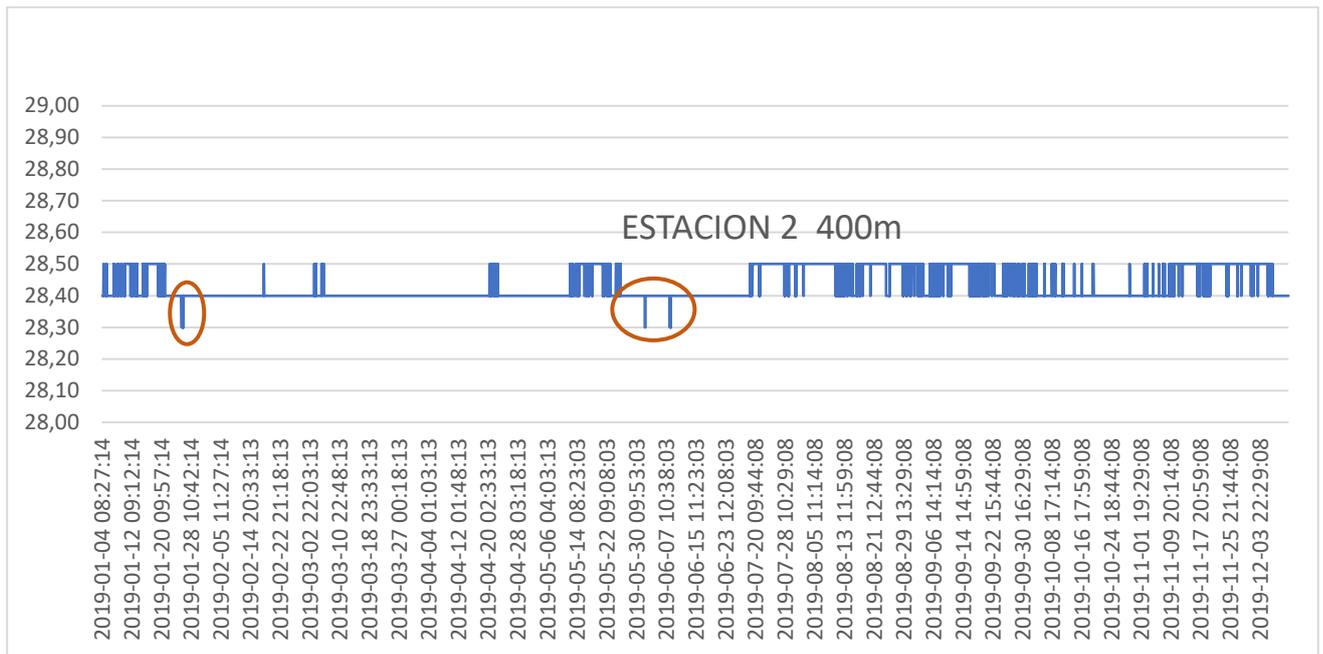


Gráfico Estación 2 (a 400m.) -3m. profundidad

Estación 3 (800m). Situada a 800m de la entrada y a una profundidad de -14m, la temperatura registrada en esta estación ha sido muy estable, con una máxima de 29,9°C y una mínima de 29,7°C (agosto), existiendo una variación térmica de 0,20°C. La media de temperatura de esta estación 29,8°C es la más alta registrada en la cavidad, 0,5°C más de la media general 29,2°C.

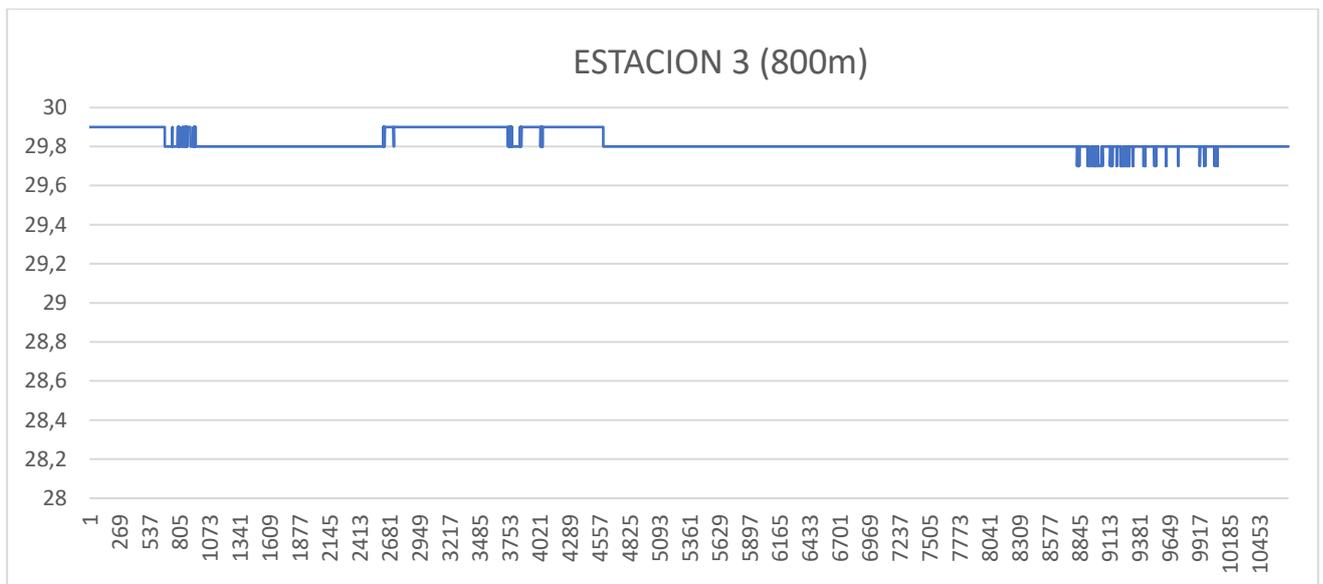


Gráfico Estación 3 (a 800m de la entrada) -14m profundidad

Temperaturas Mediterráneo, en el mismo periodo se registran los datos del mar Mediterráneo usando los datos facilitados por la Autoridad Portuaria de Cartagena, de la boya que tienen situada en el mar a la salida de Cabo de Palos. Los registros de esta boya se realizan en continuo con un registro cada hora.

La máxima temperatura registrada fue de 27,7°C en el mes de agosto coincidiendo con la subida de la temperatura generalizada del mar del verano, circulo naranja gráfico Mediterráneo. La temperatura más baja ha sido de 14,5°C registrada en el mes de febrero donde coincide la curva máxima de descenso de temperaturas de invierno, circulo azul gráfico Mediterráneo.

La curva de las temperaturas del Mediterráneo coincide con los ciclos anuales de invierno y verano, con una variación térmica entre estas dos épocas de 13,1°C, bastante más significativa que las encontradas en Cueva del Agua.

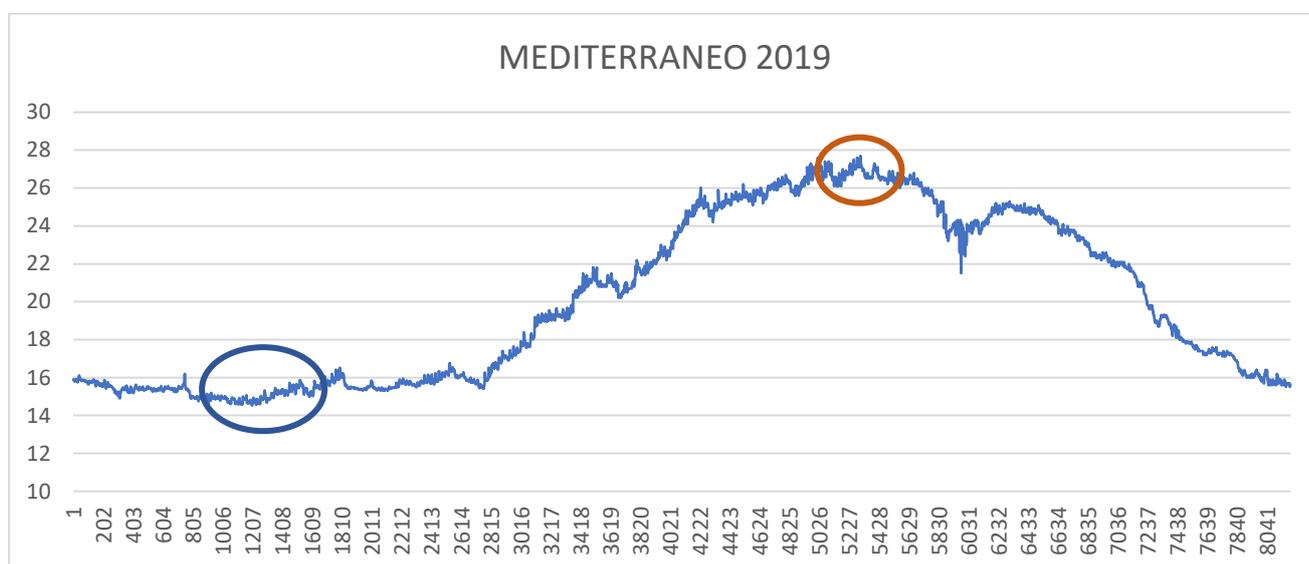


Gráfico temperaturas Mar Mediterráneo, boya de Cabo de Palos año 2019

Aire y gases en burbuja aérea a 800m. Se realizan varios muestreos de medidas de calidad del aire y recogida de bolsas de aire en la burbuja aérea situada a 800m. de la entrada de Cueva del Agua. Se analizan datos de concentración de O₂, CO₂, CH₄, Radón, Temperatura y Humedad del aire, los datos obtenido se pueden ver en el cuadro otras mediciones. Se realizan siete muestreos desde 2018 a 2020 (ver gráfico burbuja 800), se obtienen registros de CO₂ con máxima de 25188 ppm (octubre 2019) y mínima de 21581 ppm (enero 2020) con un promedio del CO₂ de 23348 ppm.

Se realizan cinco mediciones del Oxígeno O₂ con un registro máximo del 19.1% (mayo 2018) y el mínimo de 16,5% (febrero 2018) con un promedio del O₂ del 16,7%.

Se realizan siete muestreos de Metano CH₄, con un registro máximo de 1,17 ppm (abril 2019) y el mínimo de 0,95 ppm (mayo 2018) con un promedio del CH₄ de 1,05 ppm.

Registros de Radón corresponden a una sola muestra con un valor de 2.300 Bq/m³.

Temperatura ambiente de la burbuja es de 28,6°C y la humedad alcanza el 100%.

Temperatura del aire en burbuja de 800.

Para las mediciones de la temperatura del aire en la burbuja de 800m, utilizamos un equipo SBE 56 (Sea Bird Scientific), con una precisión de ± 0.002 °C (de -5 a +35 °C), resolución de 0.0001°C y estabilidad en la medición de temperatura de 0.002 °C/año. Se programa para un registro por hora y se realiza un muestreo desde el 10/02/2019 al 14/01/2020, con 7615 registros. Se obtiene un mínimo absoluto de 28,41°C y un máximo absoluto de 28,60°C (este máximo es debido a efecto térmico muy puntuales, posiblemente por influencia de las entradas de espeleobuceadores que se aproximaron al termómetros ---- en el gráfico están marcados la fecha y hora de esos efectos puntuales) Sin considerar estos incrementos provocados por las visitas, la temperatura máxima no supera los 28,49 °C, lo que indica la elevada estabilidad térmica del aire de la burbuja. Comparados con los datos obtenidos de la temperatura del agua en la estación 3 la más próxima a la burbuja que ha sido de 29,8°C, comprobamos que hay un pequeño enfriamiento en el aire con respecto al mar -1,31°C. También se observa una deriva decreciente de la temperatura del aire que inicia un paulatino enfriamiento de la atmósfera de la burbuja y que podría estar relacionada con una progresiva aminoración de la actividad termal, si bien este aspecto será objeto de un estudio más detallado en la fase II del proyecto.

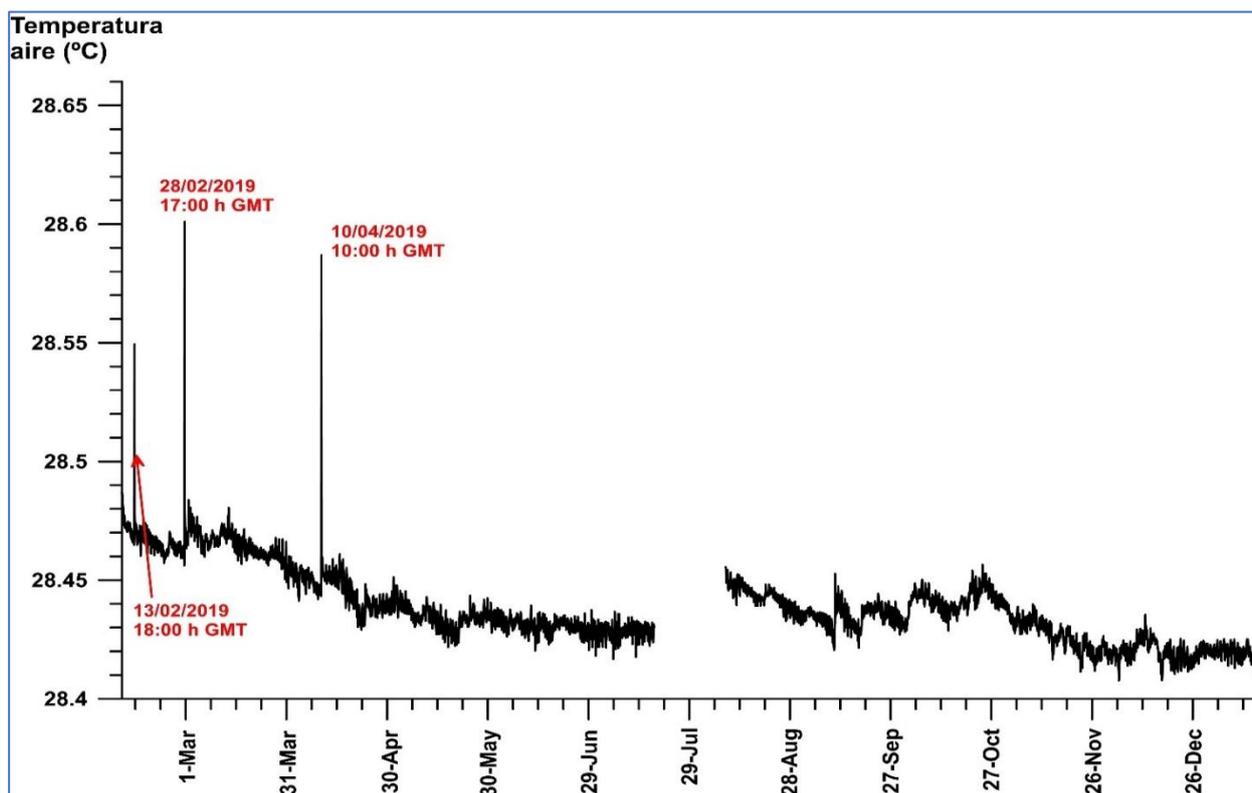


Gráfico temperaturas registradas en la burbuja de aire situada a 800m de la entrada. Equipo SBE

Medición y comparativa de la burbuja de 800 tras un periodo sin visitas (mayo 2020).

Recientemente mayo 2020 y después de varios meses sin visitas de buceadores (periodo confinamiento Covid19), se solicita la autorización para realizar una inmersión y toma de muestras

de aire en la burbuja de 800m al Grupo Especial de Actividades Subacuáticas de la Guardia Civil en Cartagena, donde se pudo medir el nivel de O₂ que fue de 16,7% y sacar una bolsa con muestras de aire de esta burbuja. Los resultados que se analizar, es comprobar si existen influencias de las visitas de buceadores en este punto, la medición del CO₂ ha sido de 22487 ppm, comparado con los otros seis registros que se tienen (ver gráfico datos burbuja aire 800m), la diferencia con la mínima registrada ha sido de +906 ppm y con respecto a la máxima ha sido de -2707 ppm. Rangos que se pueden considerar normales para las oscilaciones del CO₂ que se han registrado en la burbuja, ver gráfico

Par el registro de Metano CH₄ ha sido 1.10 ppm, con diferencias que se pueden considerar normales con respecto a los máximos registrados 1.17ppm y los mínimos 0.95. Los datos obtenidos de estas mediciones, después de una época sin visitas, difieren poco con respecto al resto de registros, por lo que la cavidad mantiene su capacidad térmica-gaseosa estable y poco se ve afectada por las visitas en su ambiente.

Conclusiones.

De todo lo analizado se confirma que la temperatura de las aguas de la cavidad son de origen termal con una media 29,2°C, manteniéndose estable durante todo el año con pequeñas variaciones que no llegan a un grado. Por el contrario, en el mar Mediterráneo la curva térmica es variable entre el invierno 14.5°C de mínima y la máxima en verano de 27,7°C y una variación térmica de 13,1°C muy lejos de los registros en Cueva del Agua que pese a tener contacto con el mar, este no afecta a la zona media y profunda de las aguas de la cavidad.

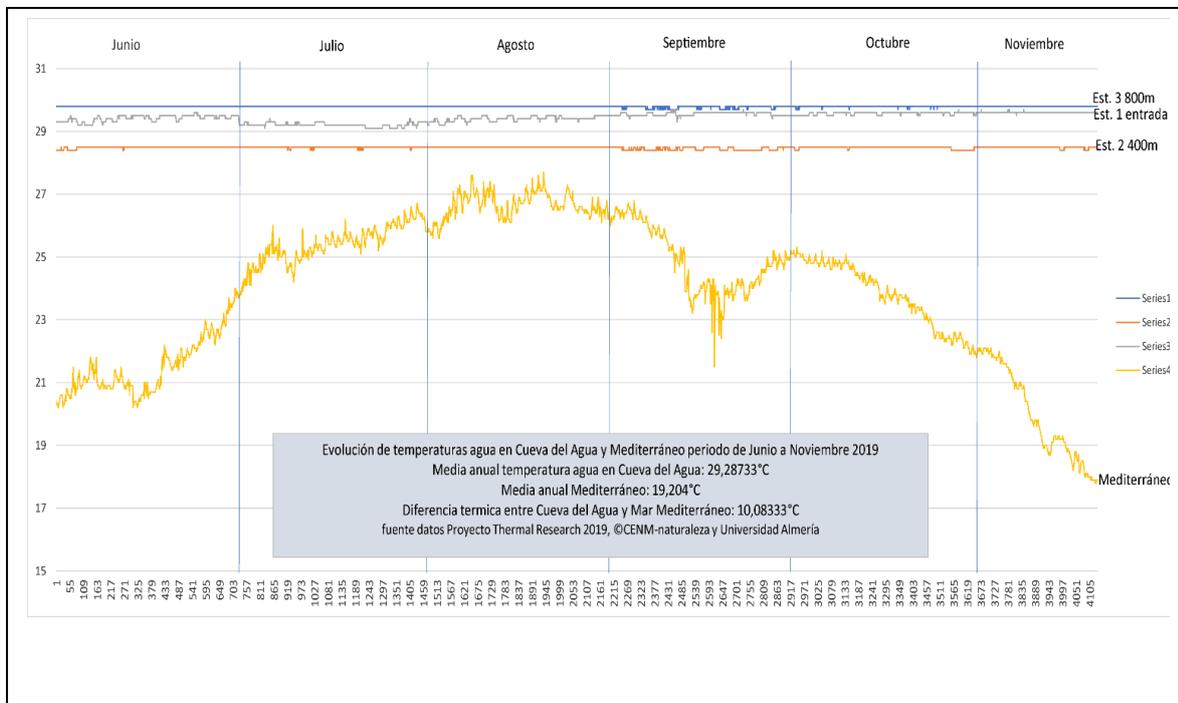


Gráfico comparativo temperaturas Cueva del Agua estaciones y Mar Mediterráneo

El cambio térmico desde el lago de entrada se produce a pocos metros. La temperatura del agua en superficie es de 23,8°, el cambio de la térmica del agua se produce a partir de los -5.7m siendo la temperatura de 25,3°, y desde los 8,1m se mantiene constante entre 28,9°, llegando a los 29,2° a partir de los 110m. de recorrido desde la entrada.

En la burbuja de aire situada a 800m, se han registrado altos niveles de CO₂ 23348 ppm de media y bajo nivel de Oxígeno 16,7% de media, y una media de CH₄ de 1,05 ppm, estos valores tienen variaciones a lo largo del año. La temperatura del aire en la burbuja mantiene una elevada estabilidad térmica 28.49°C con una diferencia con respecto a la medida en el agua (29,8°C) de -1.31°C, que requiere de un nuevo muestreo para ver si se está produciendo un paulatino enfriamiento de la atmósfera de la burbuja.

Nos encontramos ante una cavidad de origen termal con aportes activos de gases y aguas termales, que vierten al mar. La detección de una zona con una posible termoclina en varios puntos de la cavidad y en este muestro en la estación 2, indican una posible capa superficial de aguas más frías y que son objeto de la segunda parte de este trabajo con mediciones de mayor precisión y por recorridos de la cavidad.

La cavidad en todo su recorrido mantiene una temperatura más elevada que la media del Mediterráneo, en varios puntos de la cavidad se han observado corrientes de agua hacia el exterior.

Discusión

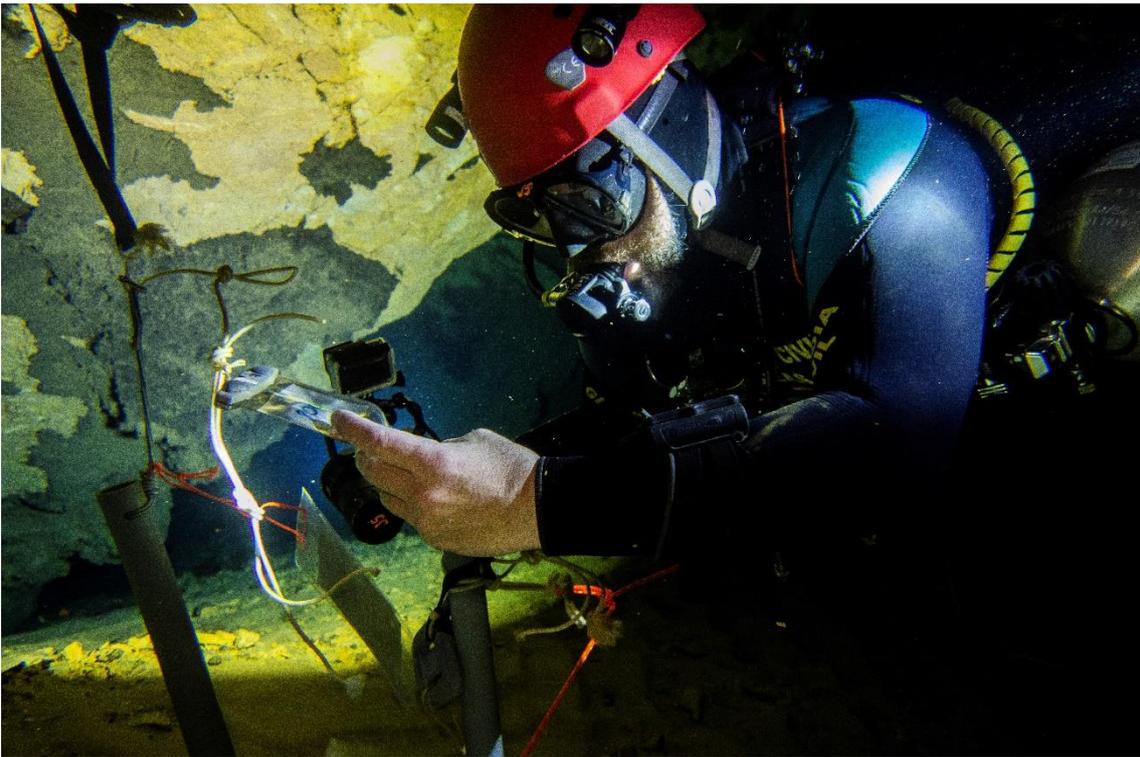
Este primer resultado de los trabajos que se han realizado durante un año, ha aportado datos para establecer que la cavidad mantiene un termalismo activo y que ésta aporta agua al mar. A raíz de este estudio se abren nuevas incógnitas, ¿caudal que emita la cueva al mar? ¿las variaciones de gases aéreos durante diversas épocas?, ¿la presencia de termoclina, hasta donde llega y cómo se mueve?, y recientemente la acumulación de calcita flotante y paredes de nubes con canales de desgasificación, pueden abrir nuevas vías de investigación y exploración en Cueva del Agua.

Nuestro especial agradecimiento en la toma de muestras de campo de: al equipo de buceadores de los GEAS de Cartagena, al equipo de buceadores de Cueva del Agua-Limite5000 y la colaboración de la Autoridad Portuaria de Cartagena, que amablemente nos han proporcionado las tablas de datos de la boya de Cabo de Palos. También nuestro agradecimiento a J. Sánchez y G. Beltran, A. Marín y otros colaboradores en las tareas de campo iniciales del proyecto.

Cartagena junio 2020



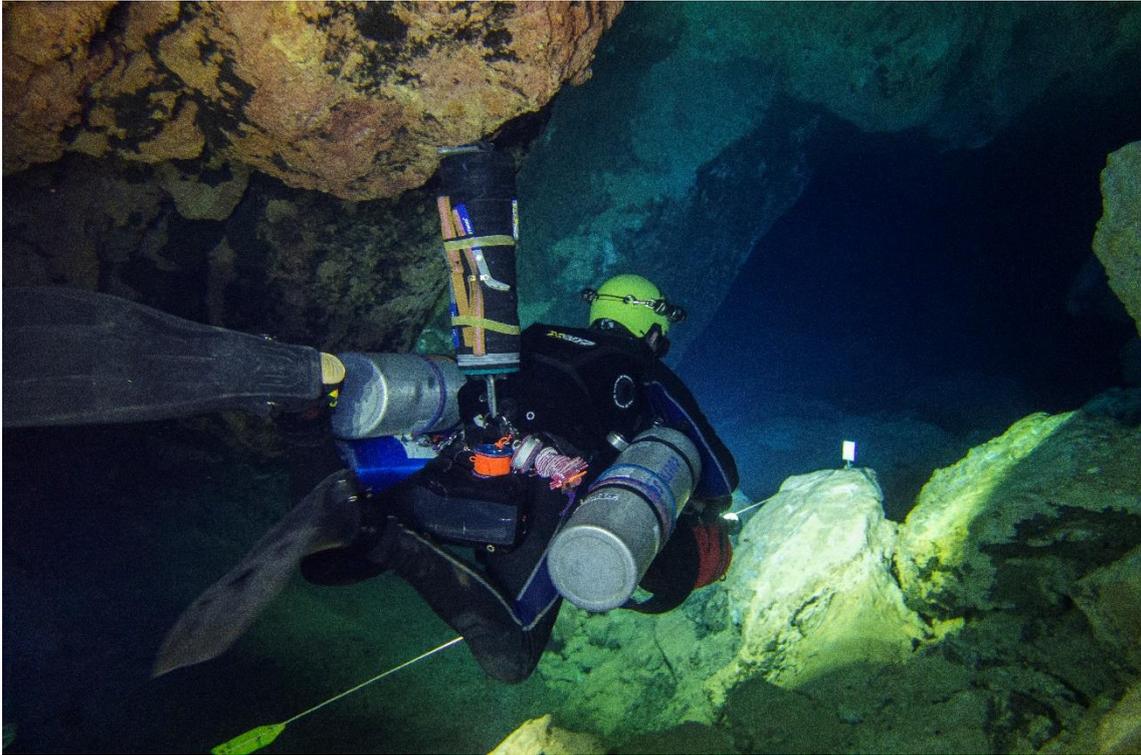
Resultados preliminares de la monitorización termo-gaseosa en Cueva del Agua, Cartagena Project Thermal Research fase I



Resultados preliminares de la monitorización termo-gaseosa en Cueva del Agua, Cartagena Project Thermal Research fase I



Resultados preliminares de la monitorización termo-gaseosa en Cueva del Agua, Cartagena Project Thermal Research fase I



Resultados preliminares de la monitorización termo-gaseosa en Cueva del Agua, Cartagena Project Thermal Research fase I