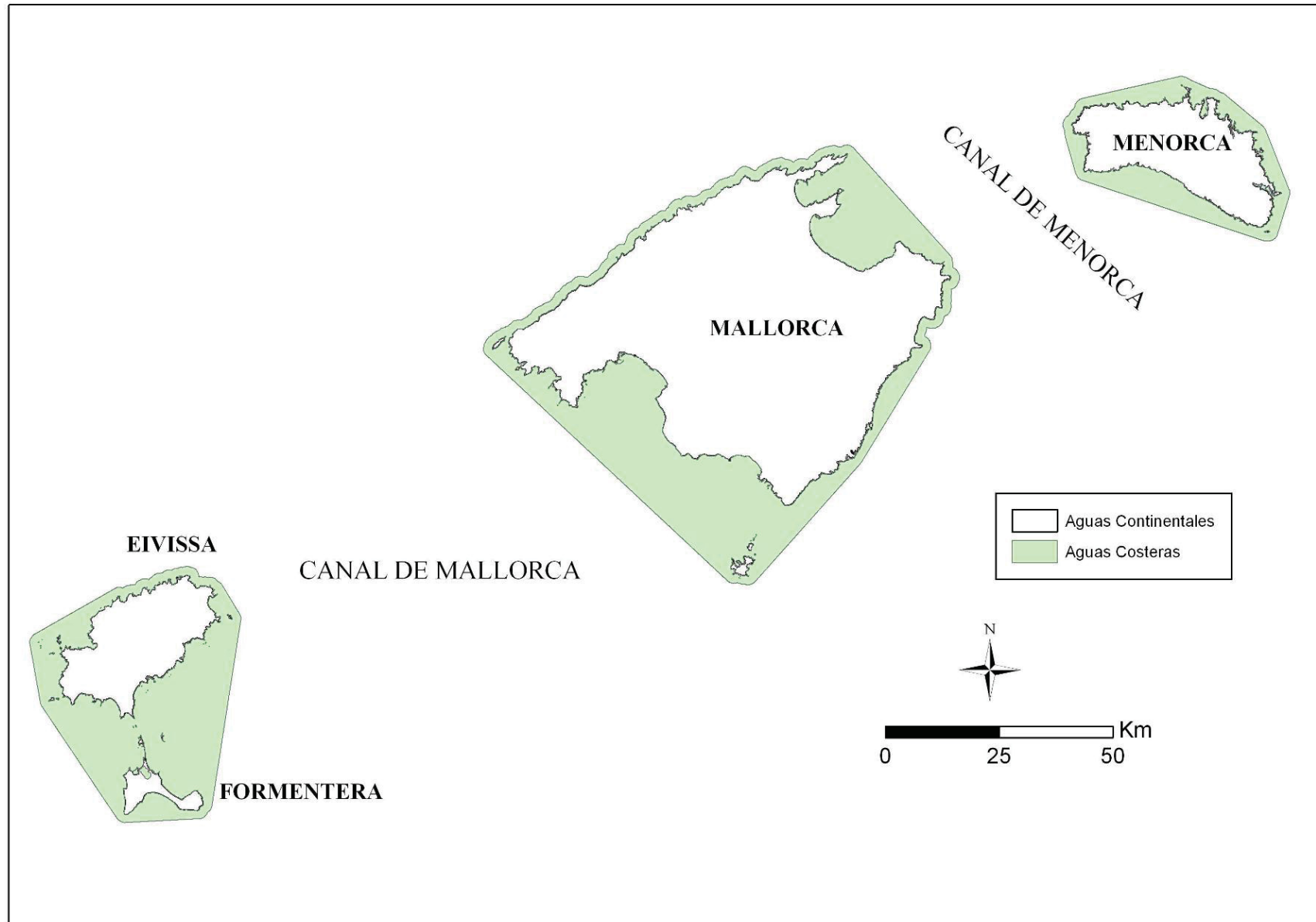


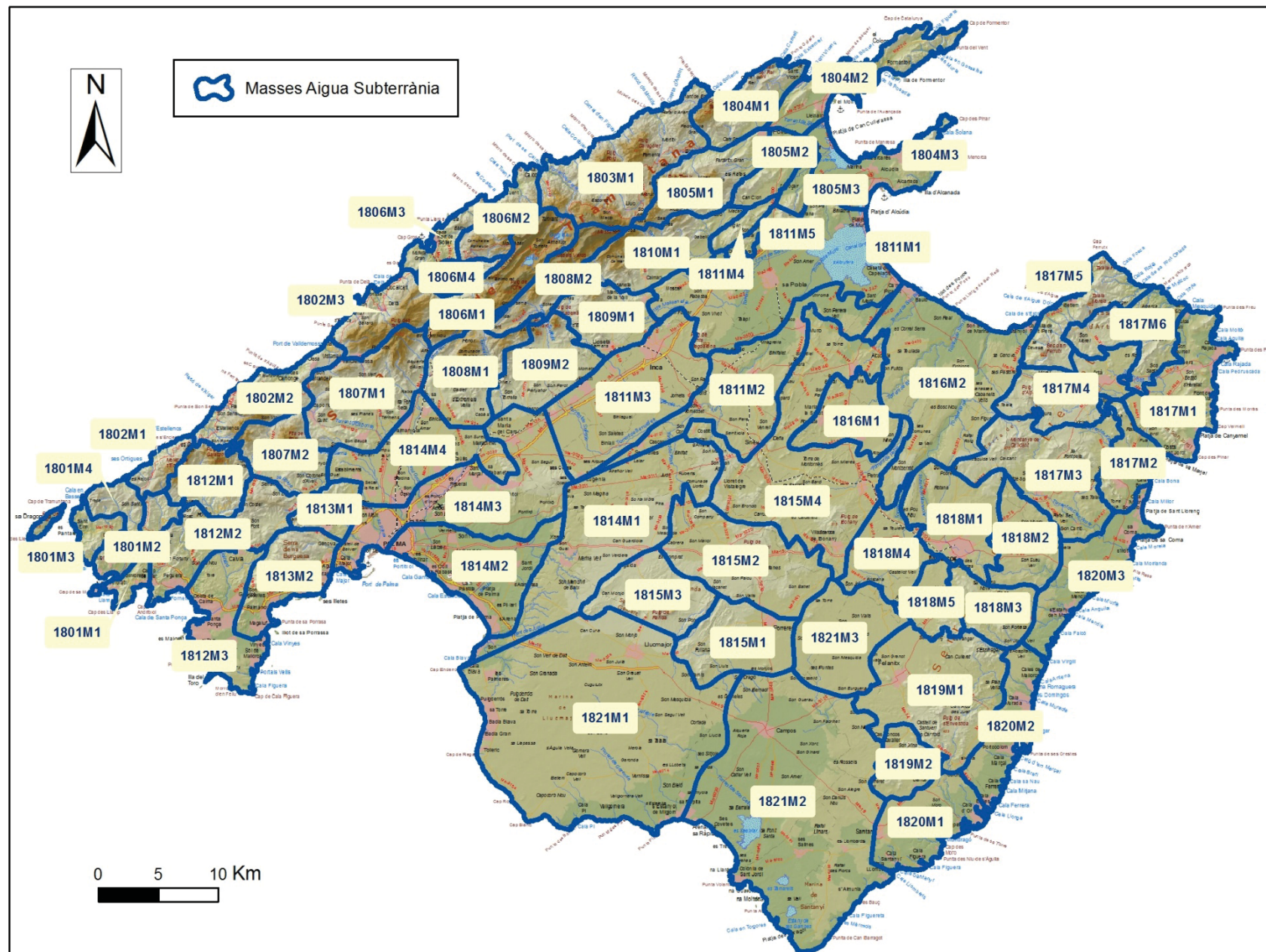
ANEXO 1. CARTOGRAFÍA DEL PLAN HIDROLÓGICO

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| ANEXO 1. CARTOGRAFÍA DEL PLAN HIDROLÓGICO | 1 |
| MAPA 1. ÁMBITO DEL PLAN | 1 |
| MAPA 2 A. MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA. MALLORCA. | 2 |
| MAPA 2 B. MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA. MENORCA. | 3 |
| MAPA 2C. MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA. EIVISSA Y FORMENTERA. | 4 |
| MAPA 3 A. MASAS DE AGUA CONTINENTAL TIPO TORRENTE. MALLORCA | 5 |
| MAPA 3 B. MASAS DE AGUA CONTINENTAL TIPO TORRENTE. MENORCA. | 6 |
| MAPA 3 C. MASAS DE AGUA CONTINENTAL TIPO TORRENTE. EIVISSA Y FORMENTERA..... | 7 |
| MAPA 4 A. MASAS DE AGUA COSTERA. MALLORCA. | 8 |
| MAPA 4 B. MASAS DE AGUA COSTERA. MENORCA..... | 9 |
| MAPA 4 C. MASAS DE AGUA COSTERA. EIVISSA Y FORMENTERA. | 10 |
| MAPA 5 A. MASAS DE AGUA DE TRANSICIÓN. MALLORCA. | 11 |
| MAPA 5 B. MASAS DE AGUA DE TRANSICIÓN. MENORCA..... | 12 |
| MAPA 5 C. MASAS DE AGUA DE TRANSICIÓN. EIVISSA Y FORMENTERA. | 13 |
| MAPA 6 A. MASAS DE AGUA TIPO RIO MUY MODIFICADAS. MALLORCA. | 14 |
| MAPA 6 B. MASAS DE AGUA TIPO COSTERA MUY MODIFICADAS. MALLORCA..... | 15 |
| MAPA 6 C. MASAS DE AGUA TIPO TRANSICIÓN MUY MODIFICADAS. MALLORCA. | 16 |
| MAPA 6 D. MASAS DE AGUA TIPO COSTERA MUY MODIFICADAS. MENORCA..... | 17 |
| MAPA 6 E. MASAS DE AGUA TIPO TRANSICIÓN MUY MODIFICADAS. MENORCA | 18 |
| MAPA 6 F. MASAS DE AGUA TIPO COSTERA MUY MODIFICADAS. EIVISSA Y FORMENTERA..... | 19 |
| MAPA 6 G. MASAS DE AGUA TIPO TRANSICIÓN MUY MODIFICADAS. PITIUSAS | 20 |
| MAPA 7 A. ZONAS HÚMEDAS. MALLORCA. | 21 |
| MAPA 7 B. ZONAS HÚMEDAS. MENORCA. | 22 |
| MAPA 7 C. ZONAS HÚMEDAS. EIVISSA Y FORMENTERA..... | 23 |

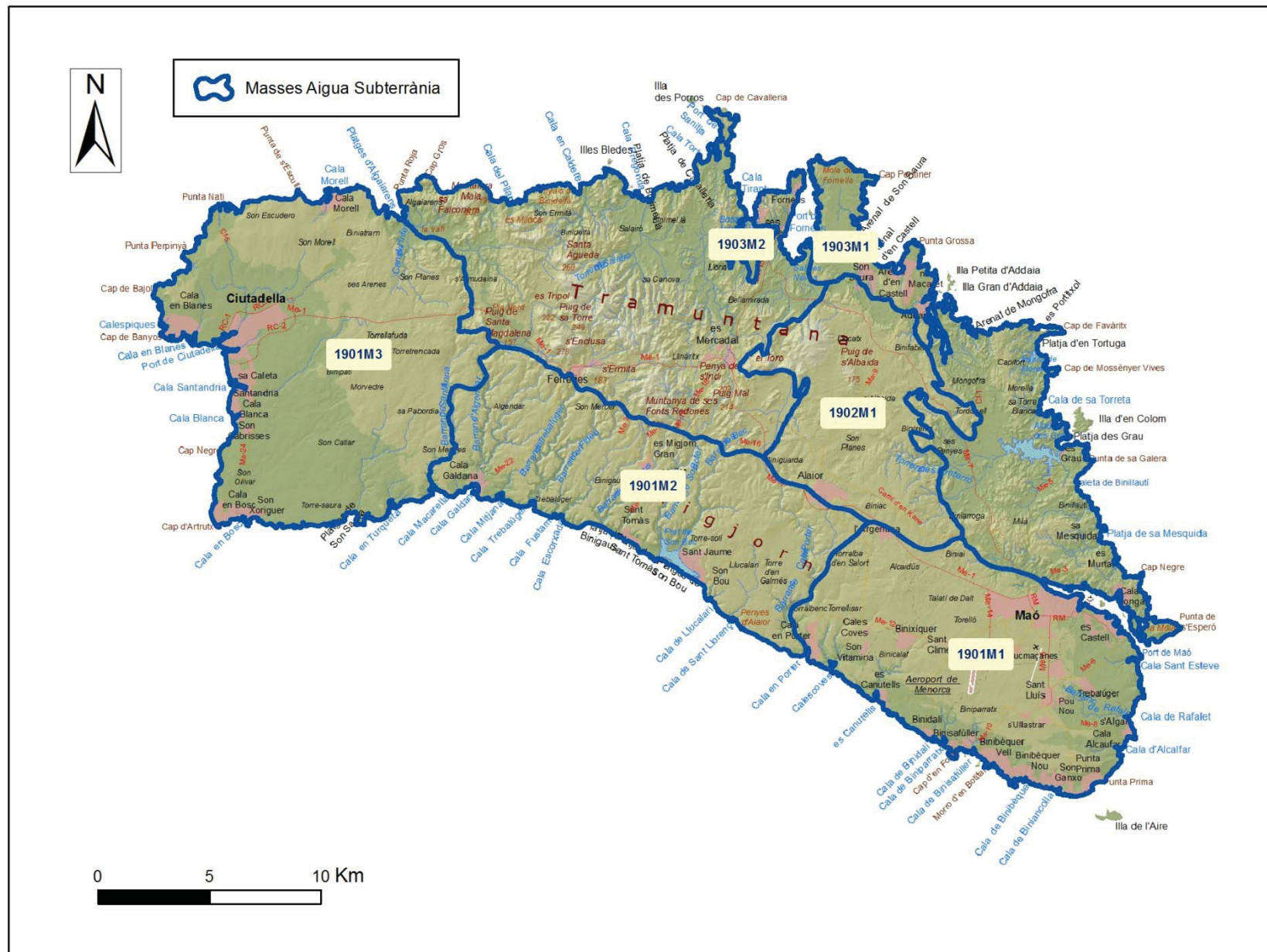
MAPA 1. ÁMBITO DEL PLAN



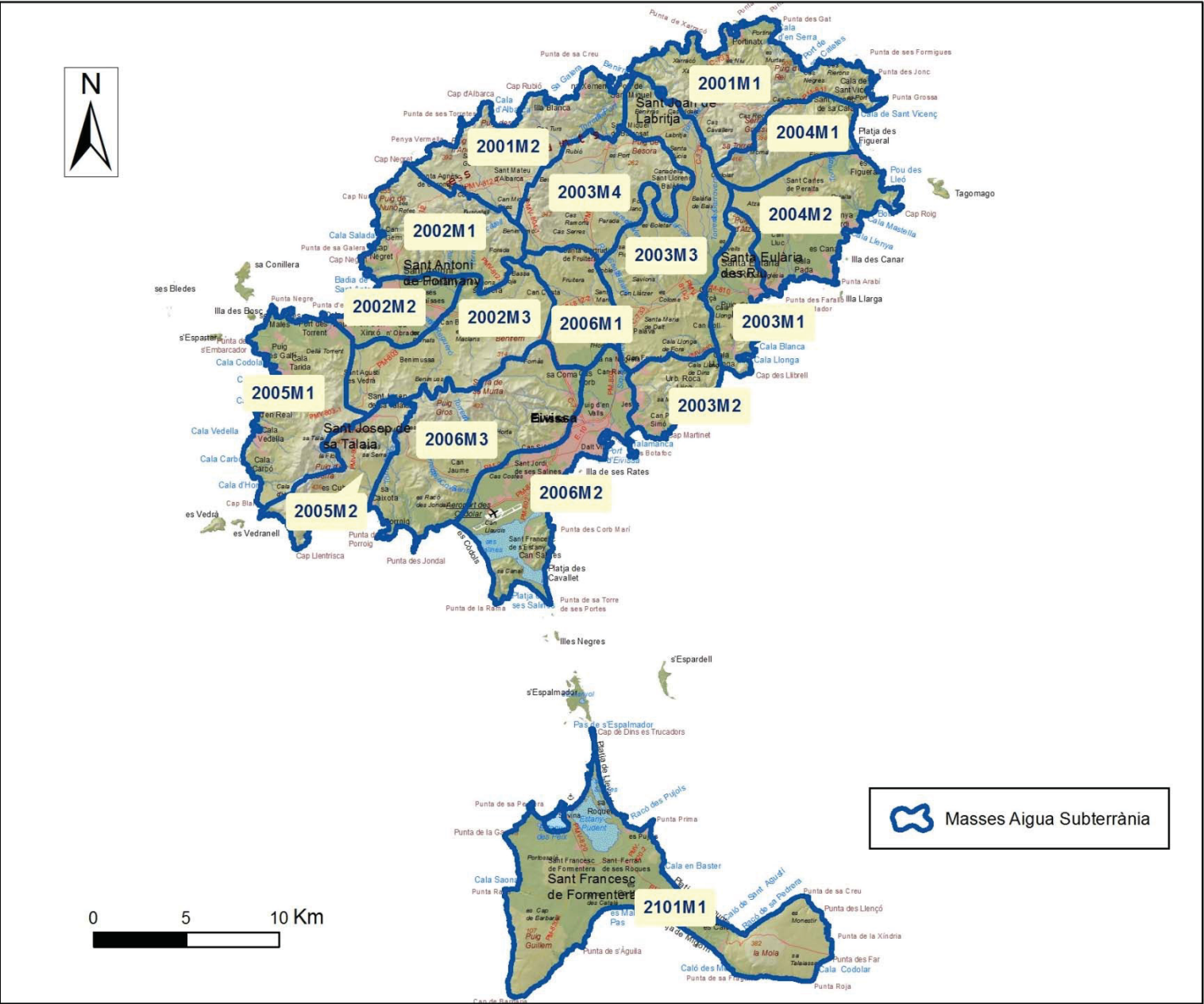
MAPA 2 A. MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA. MALLORCA.



MAPA 2 B. MASAS DE AGUA SUBTERRÀNEA. MENORCA.



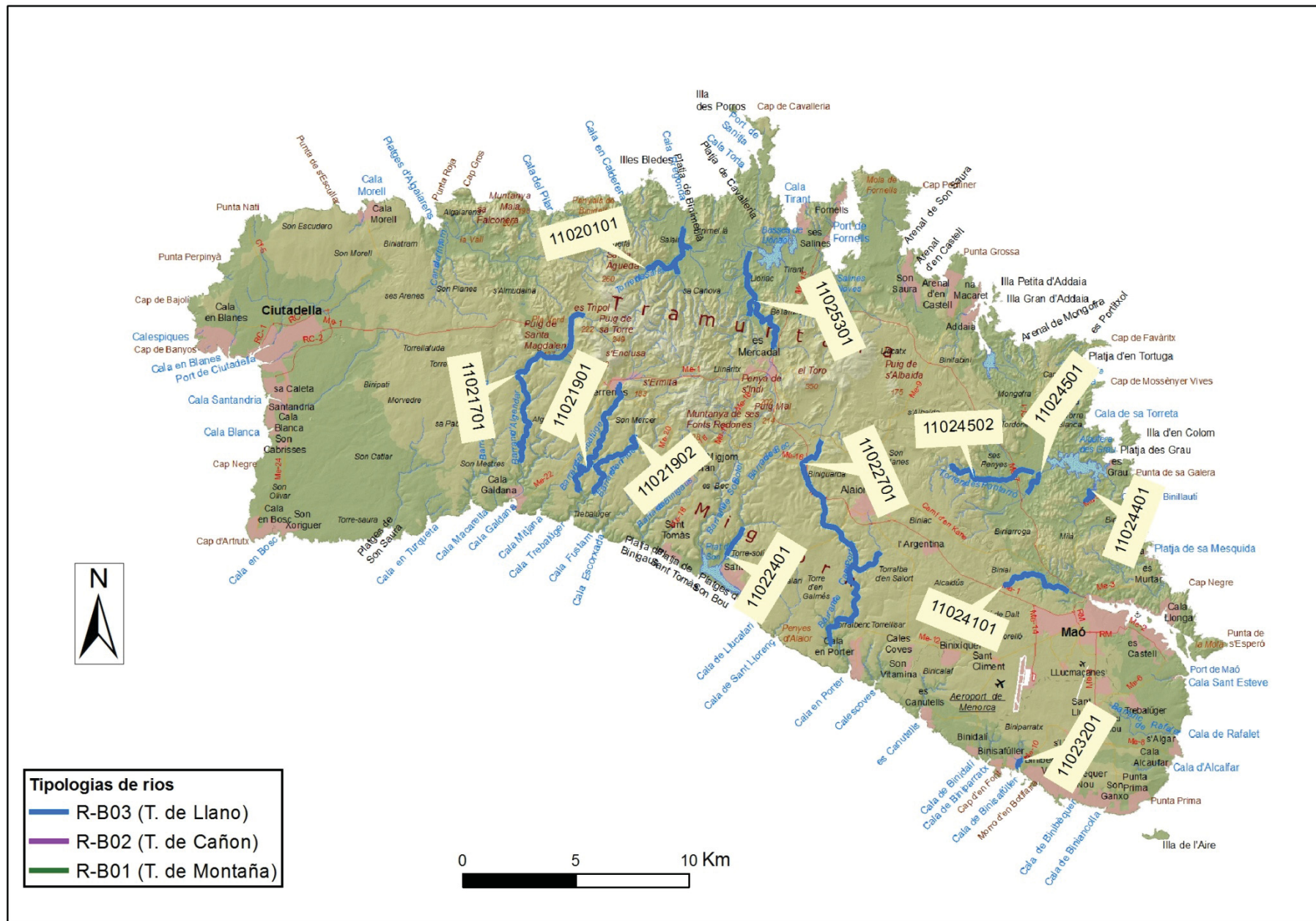
MAPA 2C. MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA. EIVISSA Y FORMENTERA.



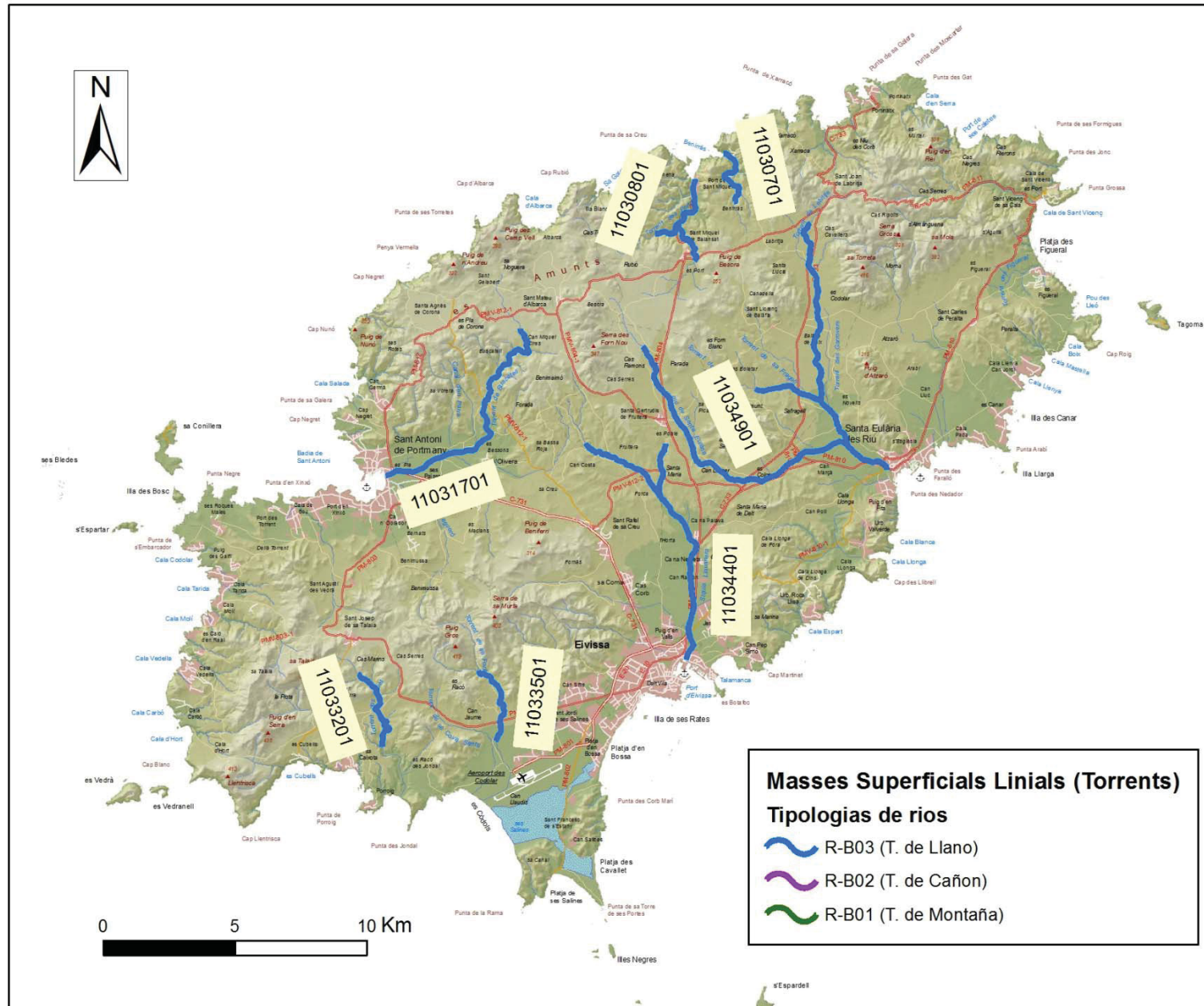
Tipologias de rios

- R-B03 (T. de Llano)
- R-B02 (T. de Cañon)
- R-B01 (T. de Montaña)

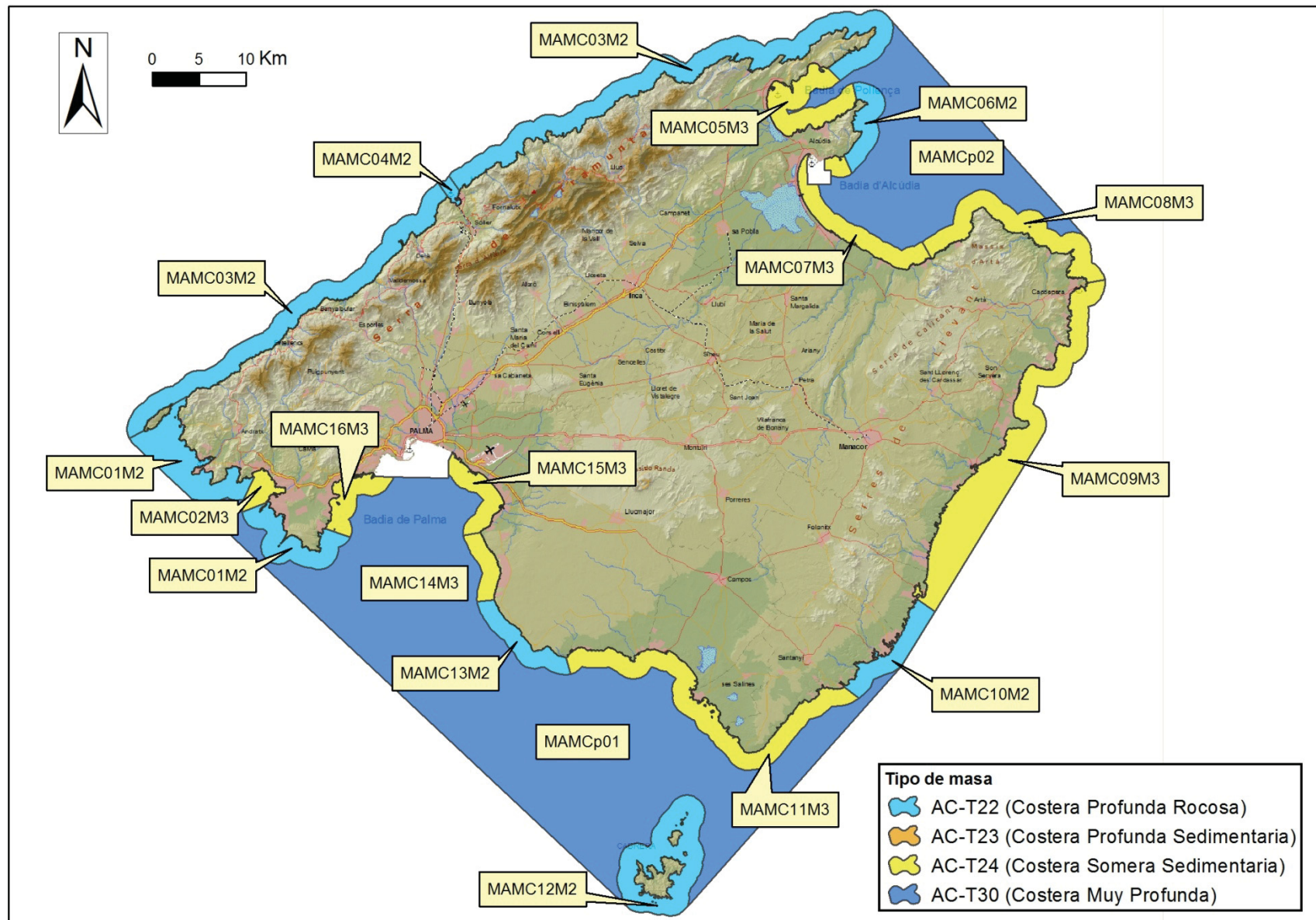
MAPA 3 B. MASAS DE AGUA CONTINENTAL TIPO TORRENTE. MENORCA.



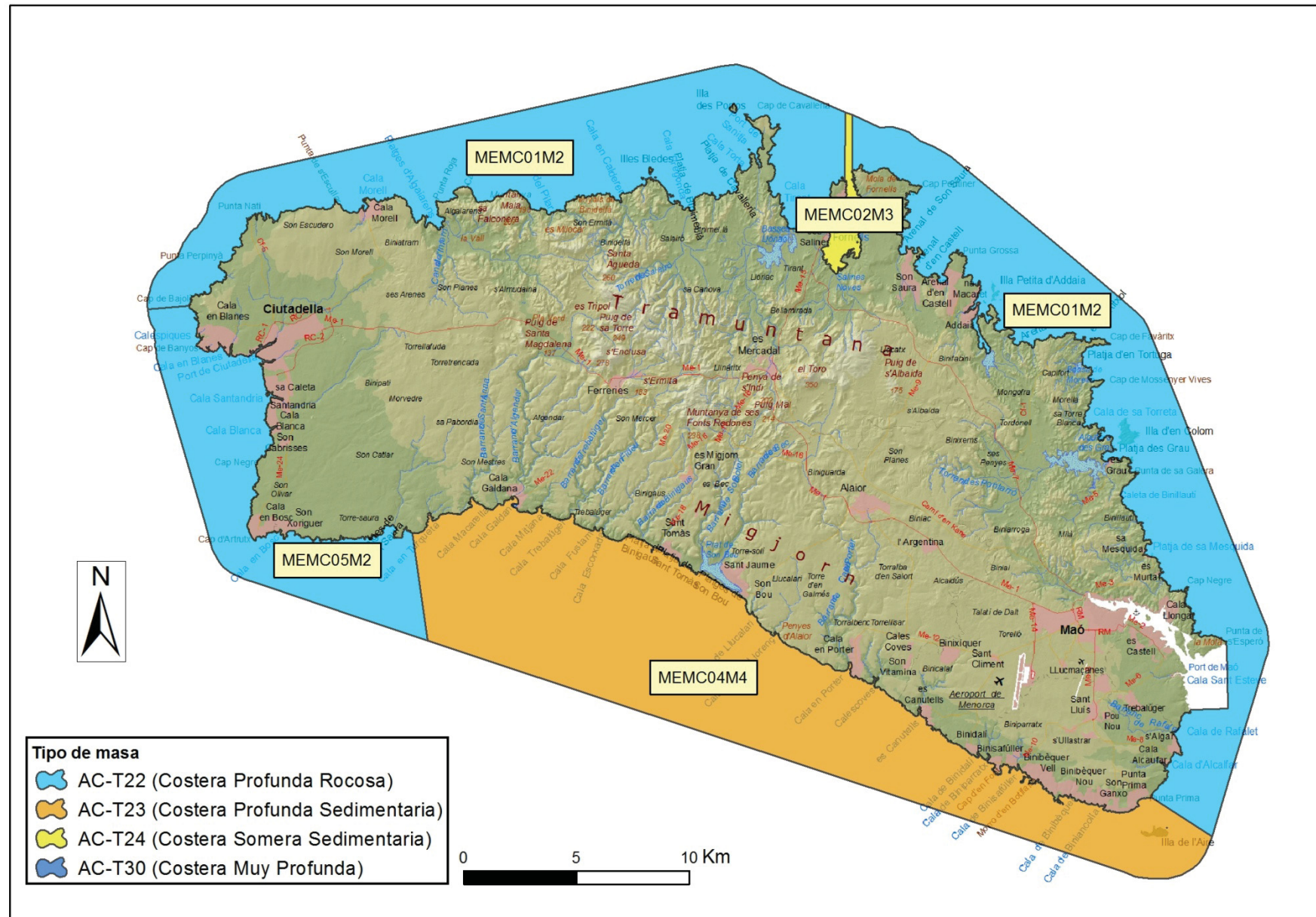
MAPA 3 C. MASAS DE AGUA CONTINENTAL TIPO TORRENTE. EIVISSA Y FORMENTERA.



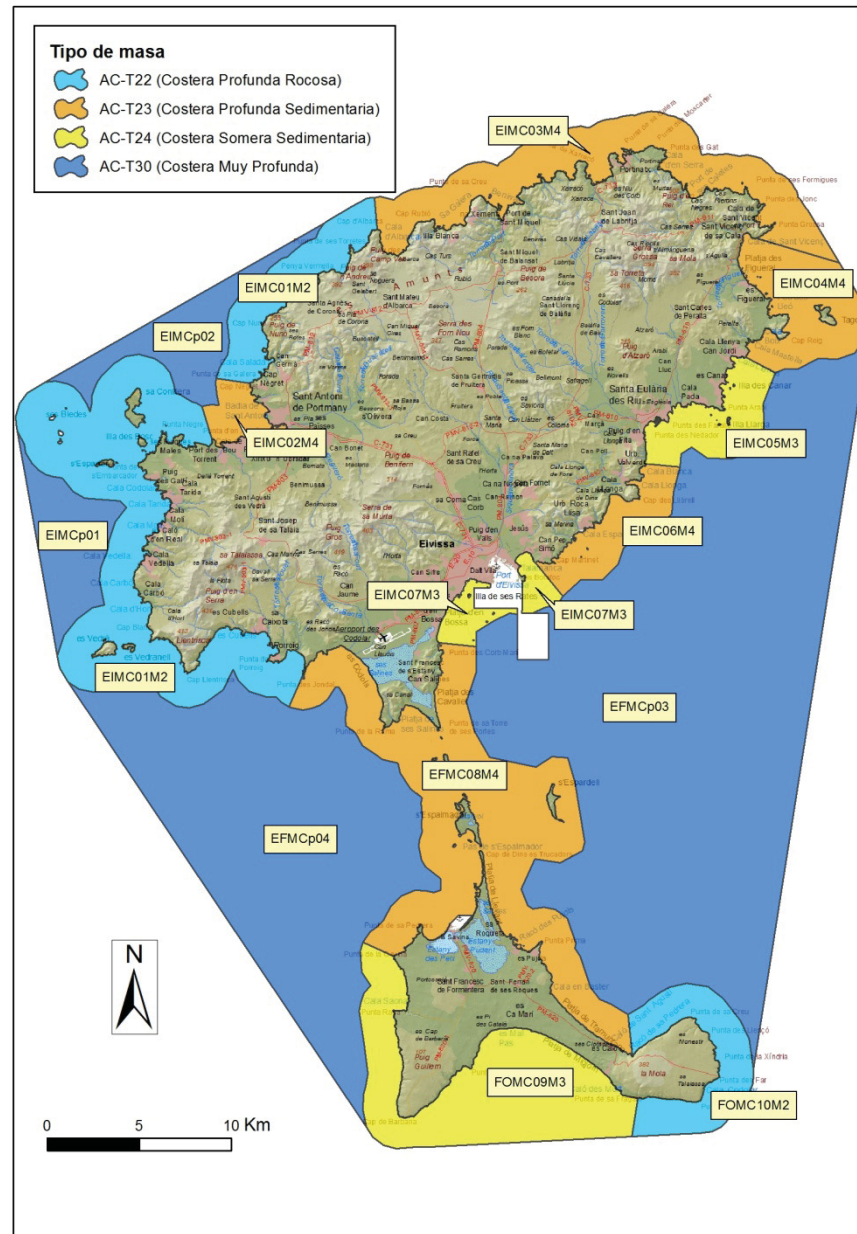
MAPA 4 A. MASAS DE AGUA COSTERA. MALLORCA.



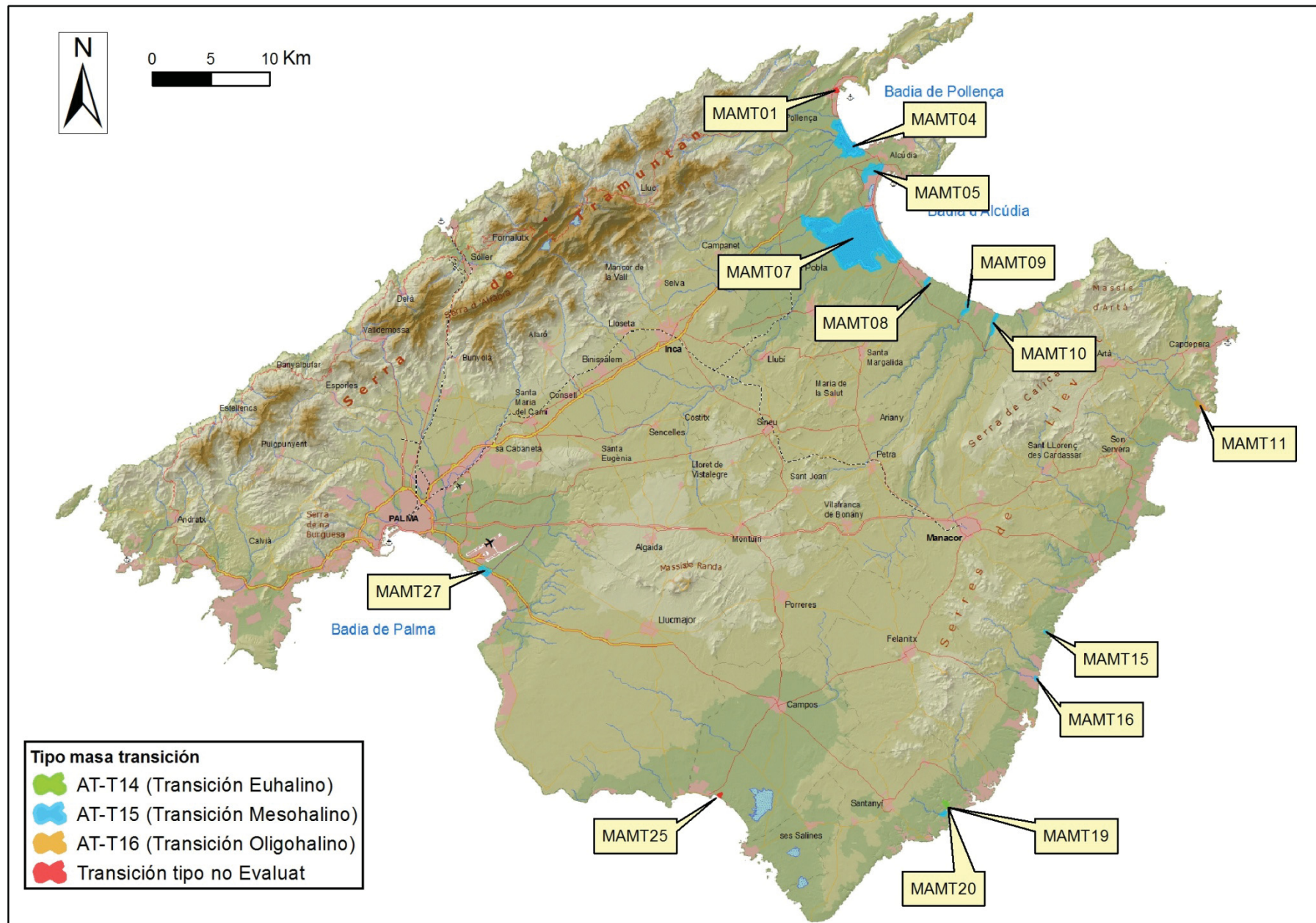
MAPA 4 B. MASAS DE AGUA COSTERA. MENORCA.



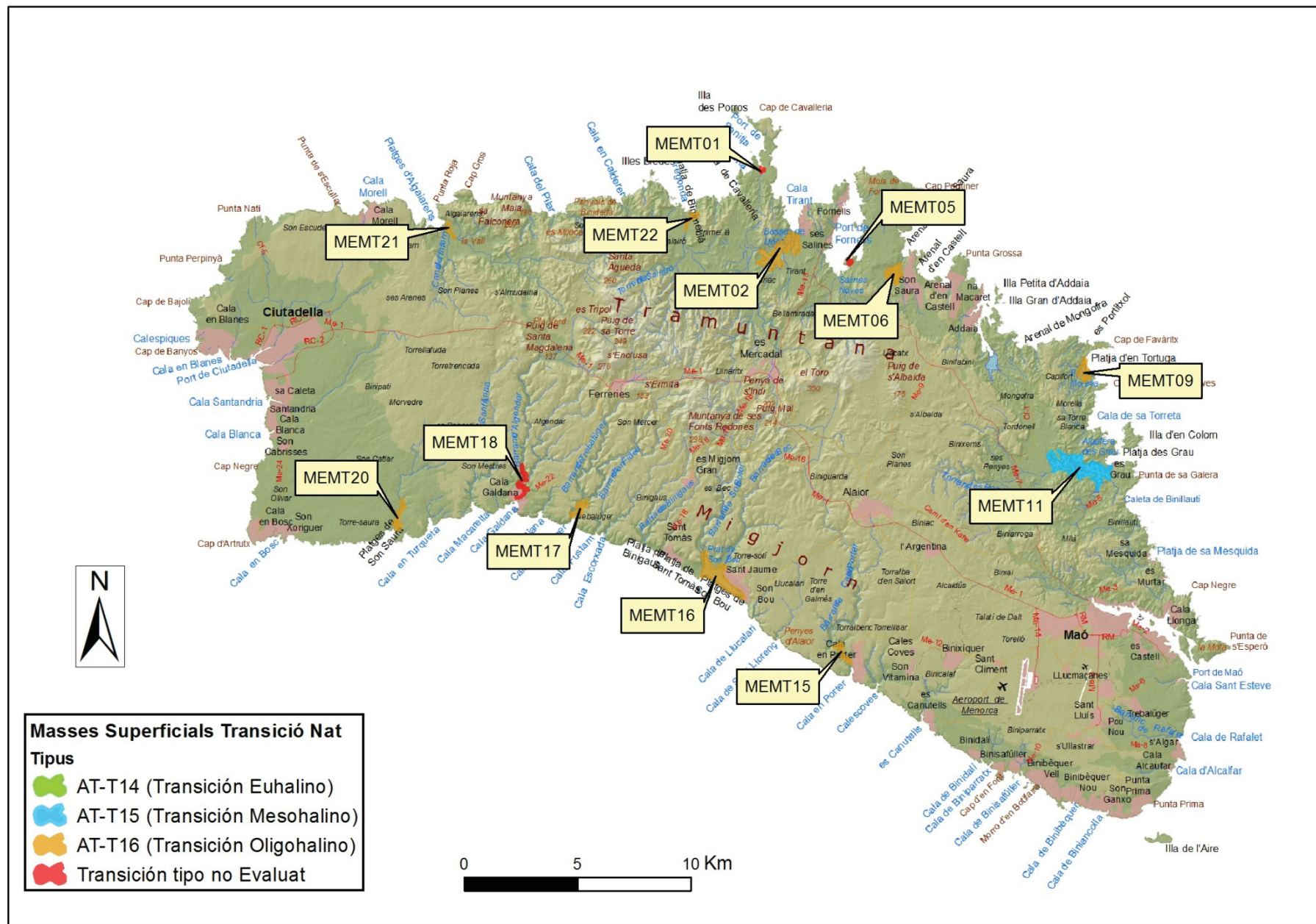
MAPA 4 C. MASAS DE AGUA COSTERA. EIVISSA Y FORMENTERA.



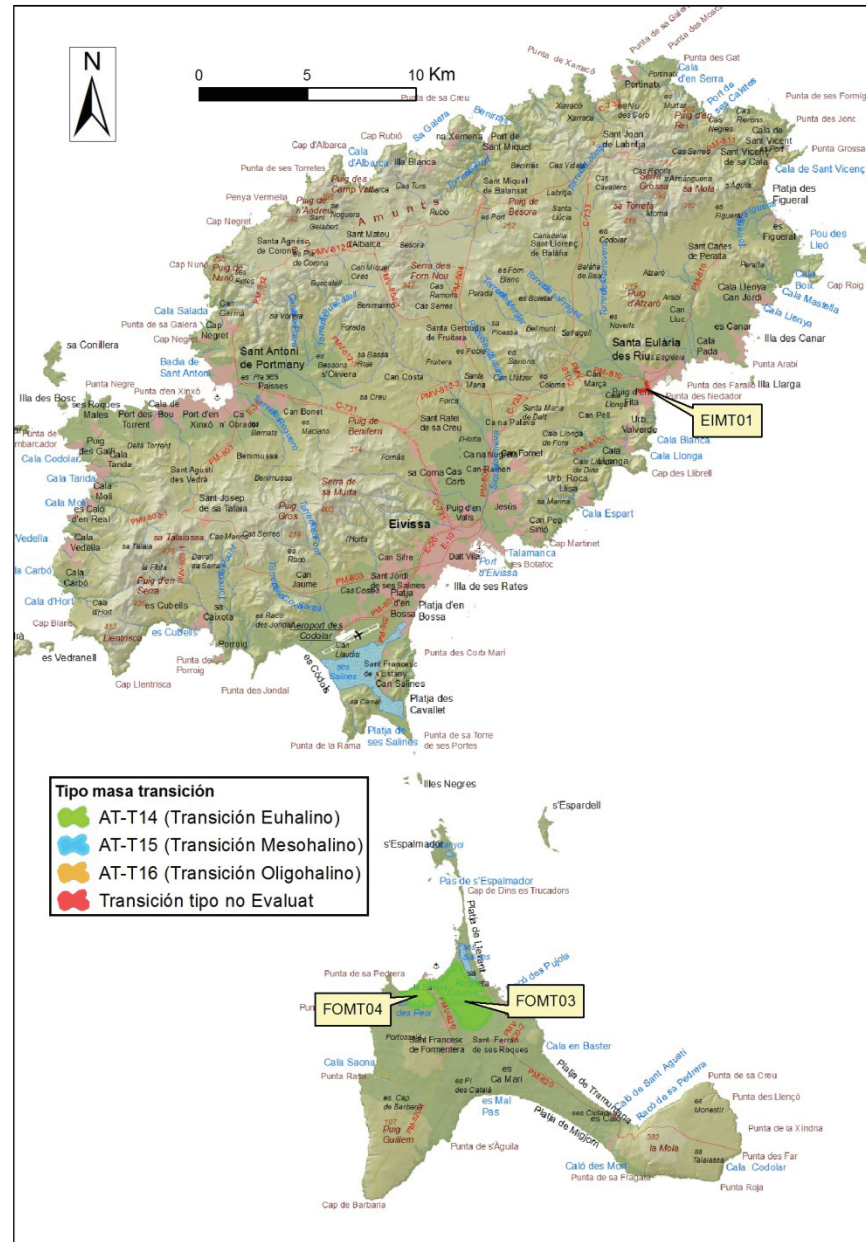
MAPA 5 A. MASAS DE AGUA DE TRANSICIÓN. MALLORCA.



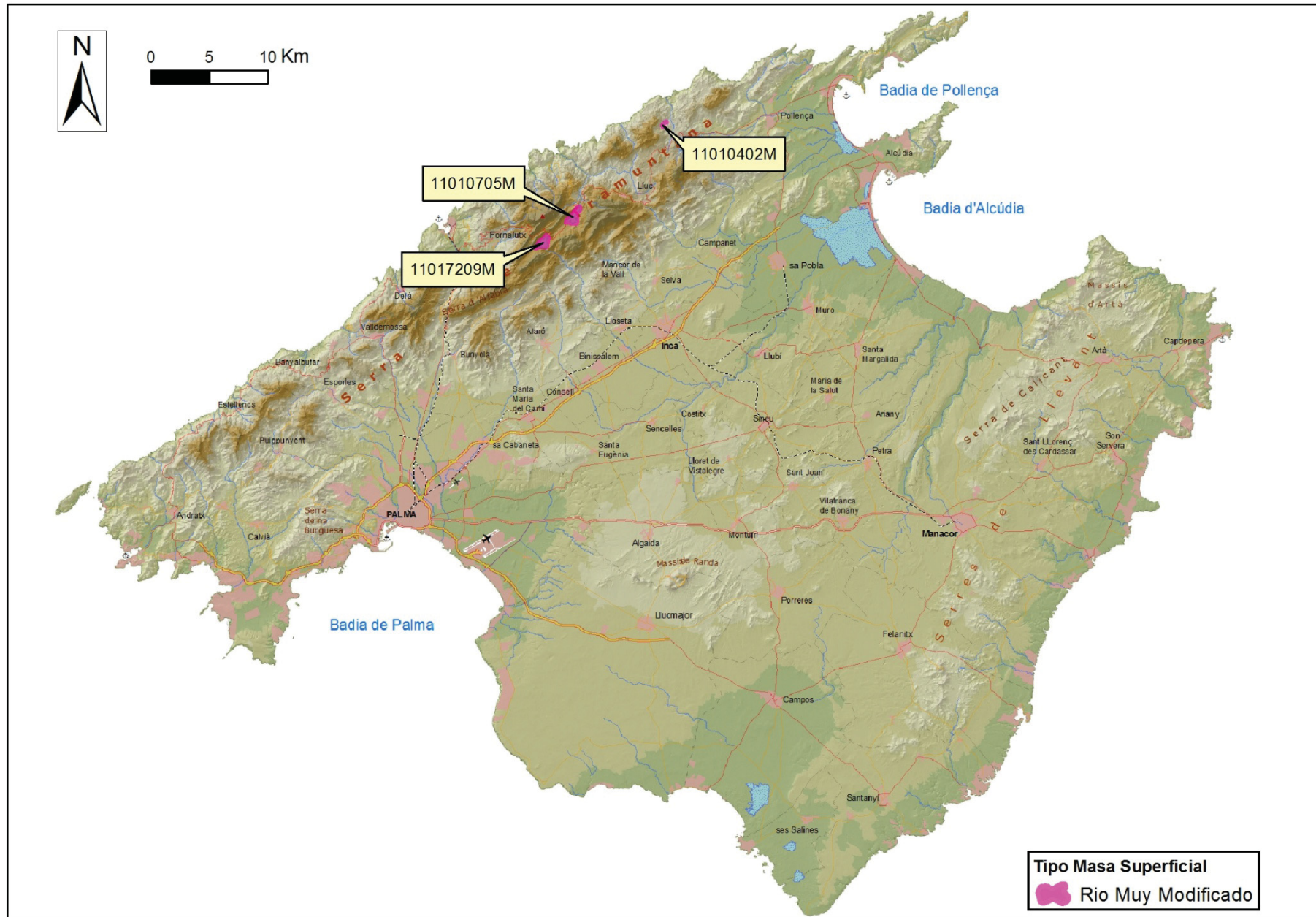
MAPA 5 B. MASAS DE AGUA DE TRANSICIÓN. MENORCA.



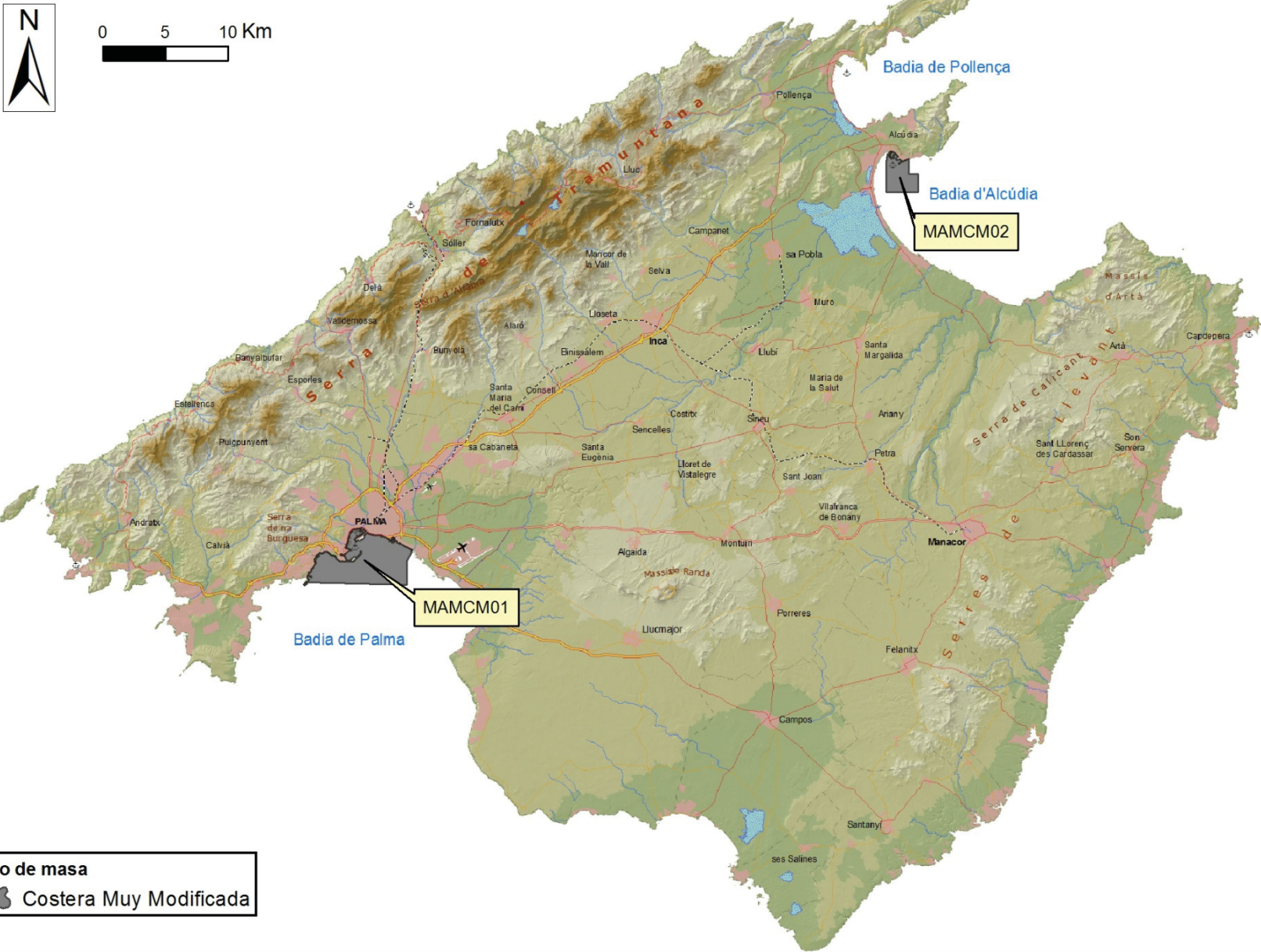
MAPA 5 C. MASAS DE AGUA DE TRANSICIÓN. EIVISSA Y FORMENTERA.



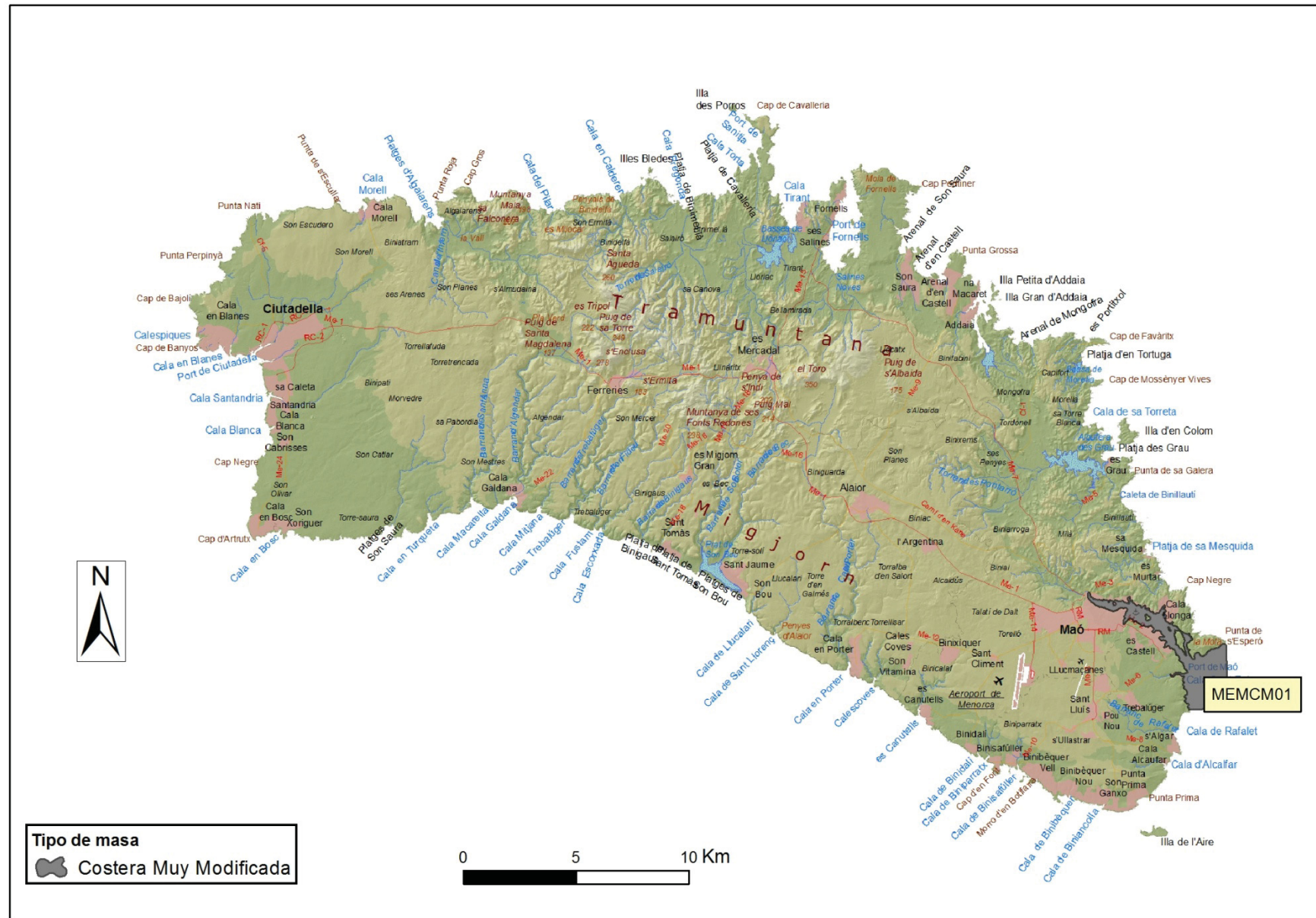
MAPA 6 A. MASAS DE AGUA TIPO RIO MUY MODIFICADAS. MALLORCA.



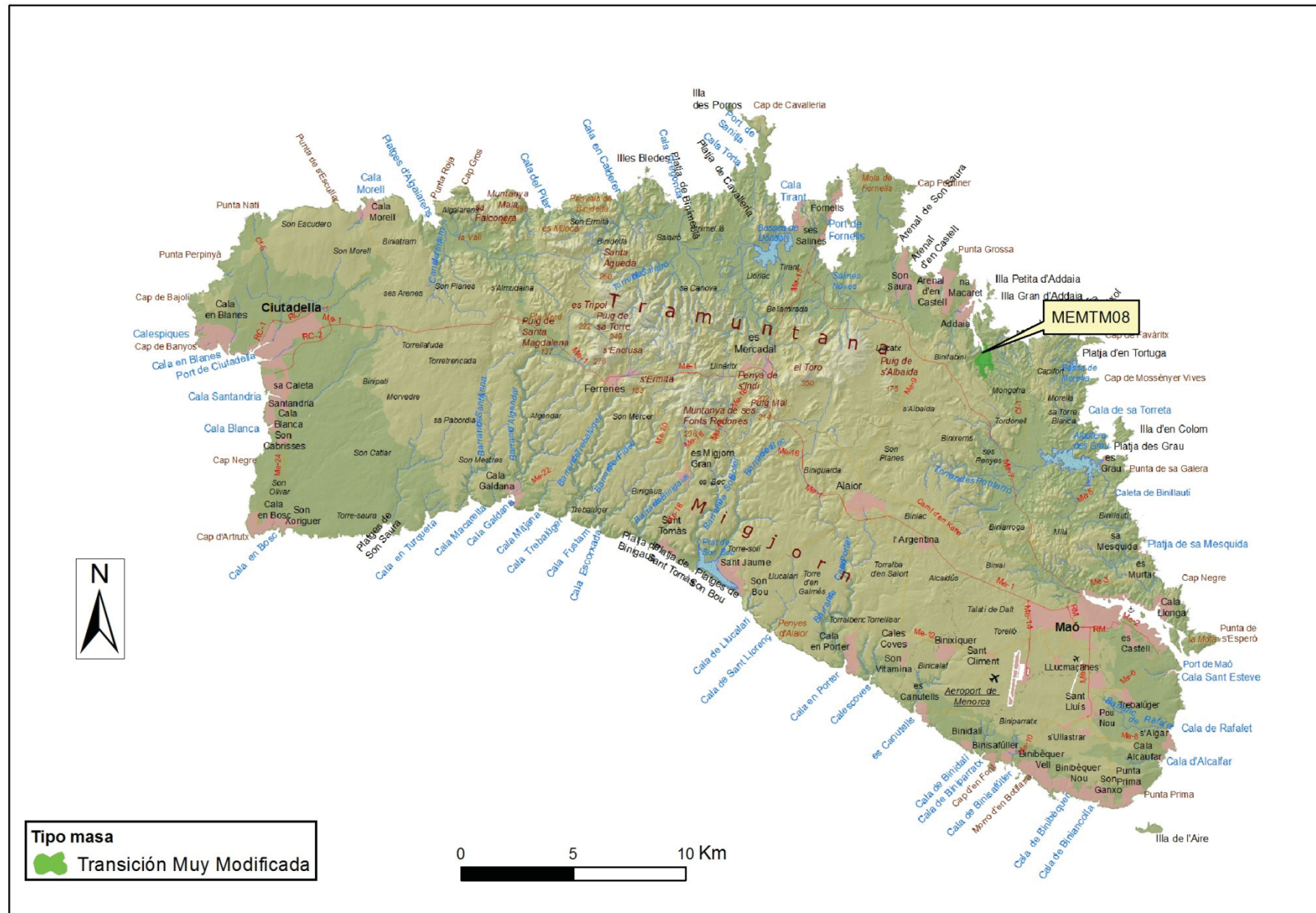
MAPA 6 B. MASAS DE AGUA TIPO COSTERA MUY MODIFICADAS. MALLORCA.



MAPA 6 D. MASAS DE AGUA TIPO COSTERA MUY MODIFICADAS. MENORCA.



MAPA 6 E. MASAS DE AGUA TIPO TRANSICIÓN MUY MODIFICADAS. MENORCA



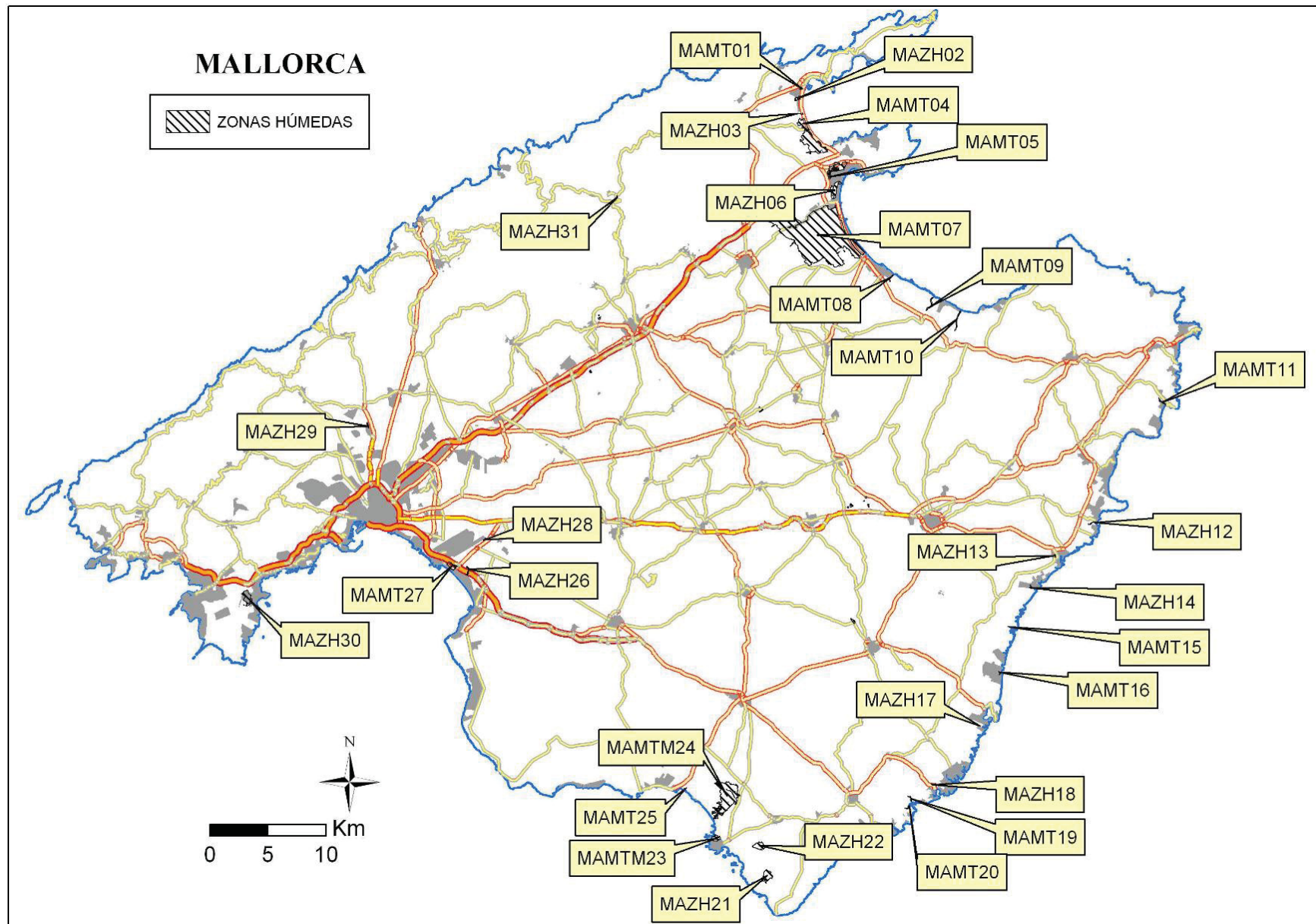
MAPA 6 F. MASAS DE AGUA TIPO COSTERA MUY MODIFICADAS. EIVISSA Y FORMENTERA



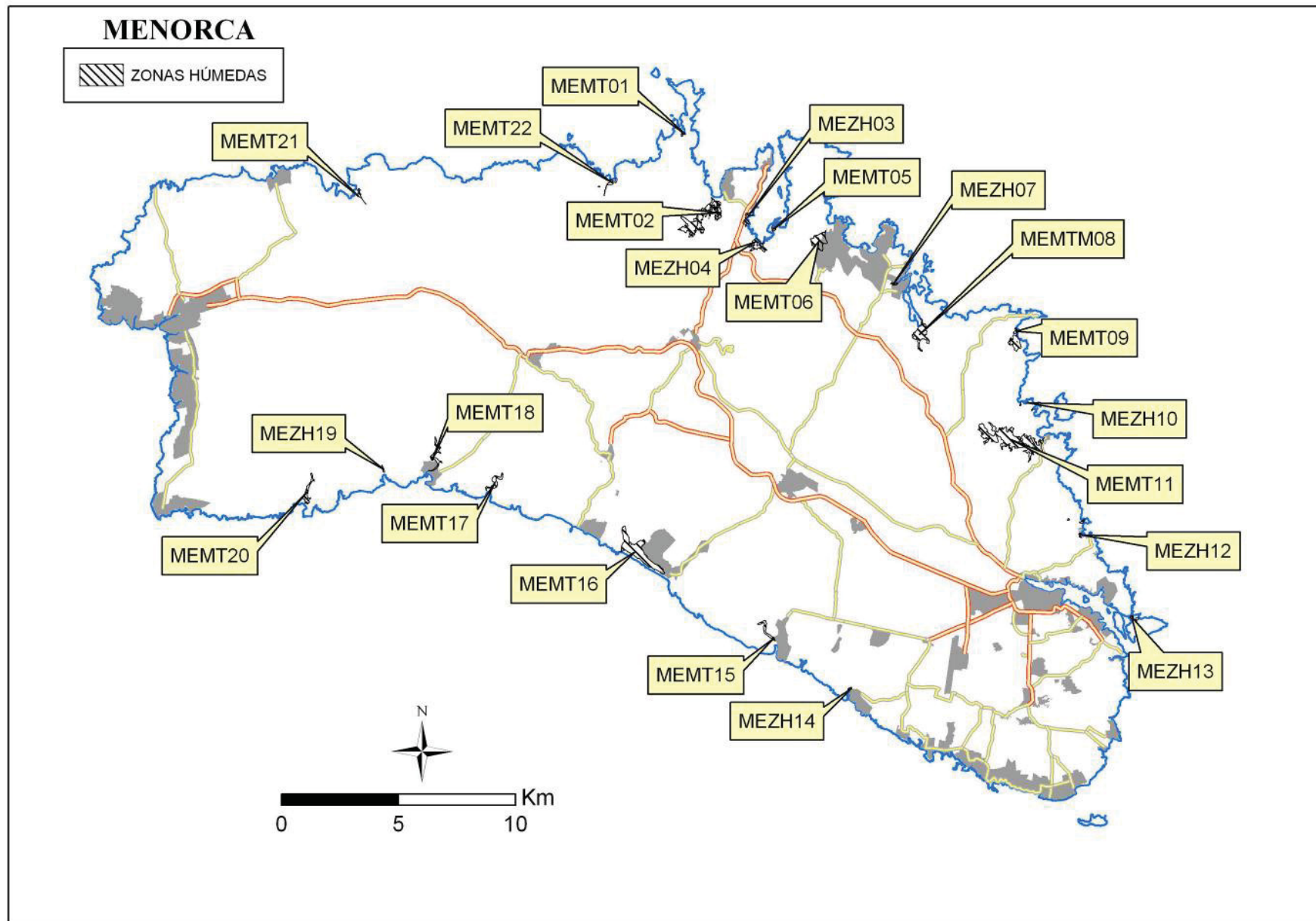
MAPA 6 G. MASAS DE AGUA TIPO TRANSICIÓN MUY MODIFICADAS. PITIUSAS



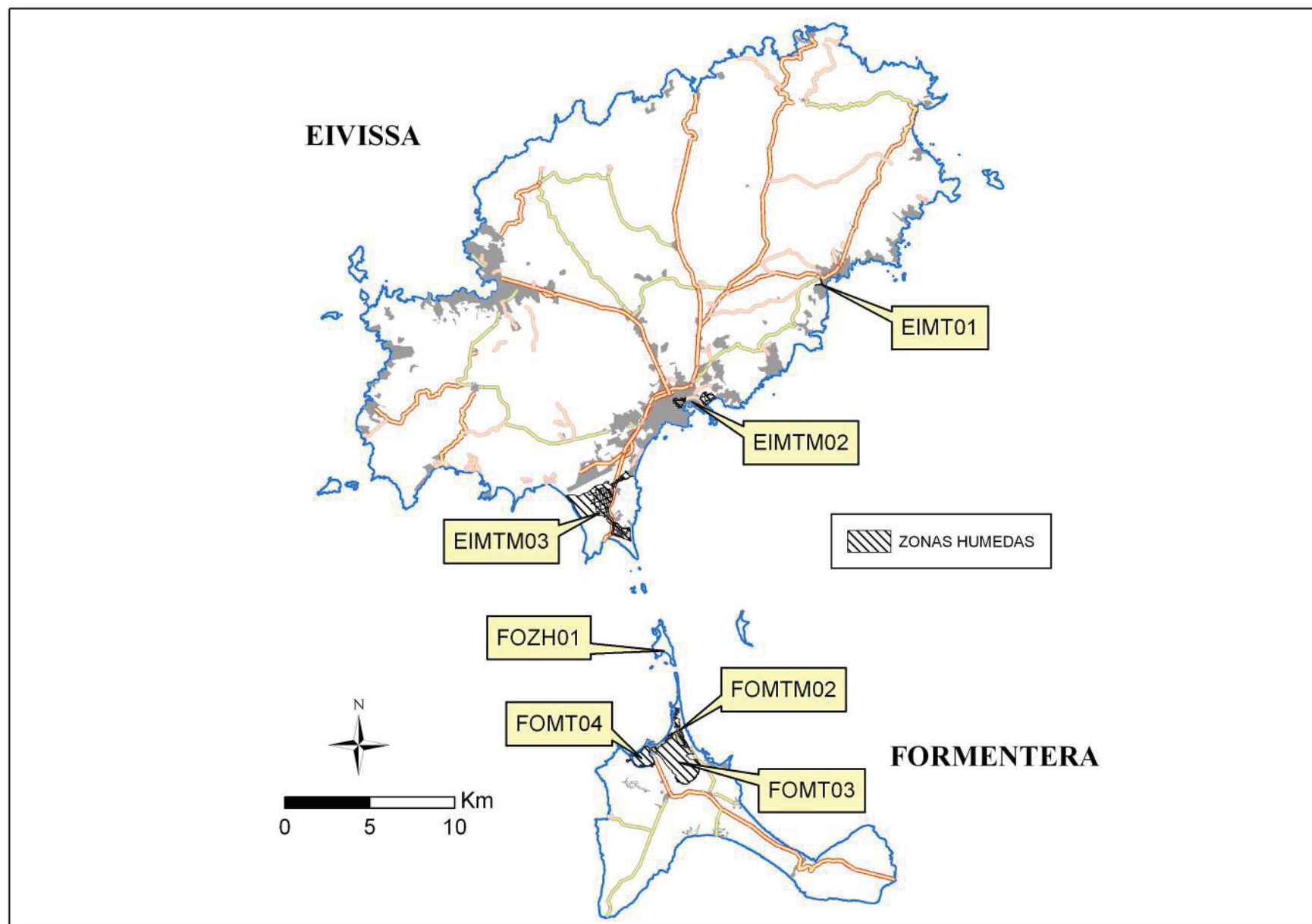
MAPA 7 A. ZONAS HÚMEDAS. MALLORCA.



MAPA 7 B. ZONAS HÚMEDAS. MENORCA.



MAPA 7 C. ZONAS HÚMEDAS. EIVISSA Y FORMENTERA.



ANEXO 2. CONDICIONES TÉCNICAS PARA LA EJECUCIÓN Y ABANDONO DE SONDEOS Y/ O POZOS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. MATERIALES DE RELLENO Y SELLADO DE POZOS. | 2 |
| 1.1. MATERIALES PERMEABLES (AGREGADOS O ÁRIDOS) | 3 |
| 1.2. MATERIALES IMPERMEABLES O DE SELLADO | 3 |
| 1.2.1. <i>Cemento</i> | 4 |
| 1.2.2. <i>Bentonita</i> | 5 |
| 1.3. COLOCACIÓN DEL MATERIAL SELLANTE..... | 6 |
| 1.3.1. <i>Colocación de obturadores o “packers”</i> | 6 |
| 2. CONDICIONES TÉCNICAS MÍNIMAS DE EJECUCIÓN DE SONDEOS.... | 7 |
| 2.1. MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN | 7 |
| 2.1.1. <i>Colocación de las tuberías</i> | 7 |
| 2.1.2 <i>Cierre o boca de la captación</i> | 9 |
| 2.1.3 <i>Desinfección, contador volumétrico y cumplimiento de prescripciones</i> | 9 |
| 2.2. CEMENTACIÓN | 10 |
| 2.2.1 <i>Profundidad de cementación</i> | 11 |
| 3. CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA CLAUSURA DE POZOS O CALICATAS | 19 |
| 3.1. CONSIDERACIONES GENERALES | 20 |
| 3.2. TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS DE POZOS | 20 |
| 3.2.1. <i>Pozos superficiales o abiertos</i> | 21 |
| 3.2.2. <i>Pozos perforados o sondeos</i> | 21 |
| 3.3. TAREAS PREVIAS AL ACONDICIONAMIENTO DEFINITIVO | 21 |
| 3.3.1. <i>Caracterización del pozo</i> | 21 |
| 3.3.2. <i>Retirada de elementos ajenos</i> | 22 |
| 3.3.3. <i>Desinfección</i> | 22 |
| 3.4. OPERACIONES DE CLAUSURA O SELLADO | 23 |
| 3.4.1. <i>Clausura temporal de un pozo</i> | 23 |
| 3.4.2. <i>Clausura definitiva de un pozo</i> | 23 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4.2.2 Clausura de pozos de acuífero multicapa..... | 25 |
| 3.4.2.3 Clausura de pozos en terrenos no consolidados..... | 27 |
| 3.4.2.4. Clausura de pozos en terrenos con fracturación leve..... | 28 |
| 3.4.2.5. Clausura de pozos en terrenos muy fracturados o carstificados | 29 |
| 3.4.2.6. Clausura de pozos surgentes..... | 29 |
| 3.4.2.7. Clausura de pozos de naturaleza no conocida..... | 30 |
| 3.5. INFORME FINAL | 31 |

INTRODUCCIÓN

A fin de garantizar la protección del dominio público hidráulico de todo tipo de contaminación, y en base al artículo 35 de la ley 8/2004, de 23 de diciembre, de medidas tributarias y administrativas, el Organismo de Cuenca elaboró el Decreto 108/2005, de 21 de octubre, que regula las condiciones técnicas de autorizaciones y concesiones de aguas subterráneas y de ejecución y abandono de los sondeos en el ámbito de las Illes Balears. A pesar de la existencia de este decreto, en cuanto a las condiciones técnicas de ejecución y abandono de los sondeos y, a efectos de protección del dominio público hidráulico, se considera conveniente desarrollar y concretar los aspectos constructivos y de abandono de las captaciones en función de las características hidrogeológicas de cada captación.

Es casi imposible plasmar y detallar todas las situaciones y los parámetros a aplicar en cada caso, por esta razón cada circunstancia concreta deberá ser analizada en los correspondientes estudios hidrogeológicos preceptivos mediante los métodos de valoración adecuados (GOD, IMPACT, REMSE, BOLSENKONTER, etc.). Se establecen una serie de situaciones hidrogeológicas tipo que permiten agrupar los parámetros a aplicar en una serie de rangos, sin perjuicio de las normas que para cada acuífero o zona del mismo puedan establecerse en el futuro.

Se debe considerar también que los pozos son construcciones que pueden representar un riesgo físico para las personas, sobre todo cuando tienen gran diámetro. Además los pozos existentes pueden representar también un riesgo de contaminación de las aguas subterráneas, ya que son una vía de entrada preferente y rápida para los contaminantes desde la superficie del terreno hasta el acuífero o pueden poner en contacto dos acuíferos con calidades químicas diferentes. Así, las aguas de escorrentía superficial pueden entrar directamente por la tubería o por el espacio que hay entre la tubería y el terreno hasta la zona saturada de agua (acuífero), lo que impide que el proceso de depuración natural que tiene lugar cuando el agua se infiltra a través del terreno sea efectivo. Por otro lado, cuando un pozo está abandonado o en desuso, suelen desaparecer los elementos de protección básicos en torno al mismo incrementando el riesgo físico para las personas y el riesgo de contaminación del acuífero.

Es necesario, por tanto, prevenir tanto los accidentes como la afección a las aguas subterráneas, ya que éstas constituyen la fuente principal de suministro público de agua potable en Baleares, y por extensión son el recurso hídrico más sensible e importante de la Unión Europea, hecho remarcado explícitamente en la Directiva 2006/118/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro (conocida como Directiva Hija de aguas subterráneas) .

El presente anexo se estructura en dos apartados diferentes. El primero se refiere a la construcción de pozos, mientras que el segundo se refiere al abandono de los pozos negativos o en desuso. Se incluye también, a manera introductoria, un primer capítulo en el que se describen los materiales que se emplean en la cementación de los pozos de nueva creación y en el abandono de pozos negativos o abandonados.

1. MATERIALES DE RELLENO Y SELLADO DE POZOS.

Para el relleno de un pozo o sondeo abandonado o negativo o para la cementación del espacio anular se utilizan básicamente dos tipos de materiales: materiales permeables (que permiten el flujo de agua a través suyo), y materiales impermeables o sellantes (que no permiten el flujo de agua).

El relleno de pozos abandonados se realiza, generalmente, con la combinación de estos dos tipos de materiales, pero en cada situación será necesario estimar en qué proporción se utilizarán.

Por otra parte para la cementación del espacio anular existente entre la tubería de un sondeo y la roca sólo se pueden utilizar materiales impermeables.

En todos los casos los materiales utilizados deberán cumplir las siguientes condiciones:

- Deben ser químicamente inertes en contacto con el agua subterránea o con las formaciones geológicas atravesadas y no deben presentar riesgo para la salud de los operadores ni exigir medidas complejas durante su manipulación.
- Deben tener un coste razonable.

Por otro lado, los materiales que se usan para el sellado del espacio anular de un pozo de nueva creación o para el sellado de un pozo existente deben cumplir las siguientes condiciones:

- Deben tener baja permeabilidad para impedir el flujo de agua.
- Deben poder ser colocados dentro de la tubería al espacio anular (espacio entre tubería y pared del pozo) el cual implica un tamaño de grano pequeño.
- Deben ser de fácil preparación y colocación en el pozo, ya que a menudo se debe utilizar una tubería de pequeño diámetro.

Hay que considerar que no es necesario que se cumplan todas estas condiciones, así, en función del tipo de pozo y acuífero serán de aplicación unas normas u otras.

1.1. MATERIALES PERMEABLES (AGREGADOS O ÁRIDOS)

Se trata de aquellos materiales sólidos de relleno que sirven para llenar el pozo o perforación, y que a la vez permiten el flujo de agua. Básicamente son arenas, piedras o materiales similares que son utilizados para rellenar el pozo en los tramos donde no hay requerimientos especiales. Estos materiales deben provenir de canteras en activo, aunque en casos debidamente justificados se pueden usar materiales que estén disponibles en la propia finca donde se ubica el pozo. En todos los casos deben ser materiales libres de contaminantes y químicamente inertes en contacto con el agua subterránea.

En aquellas zonas del pozo donde interesa mantener un flujo de agua o cuando el volumen requerido para rellenar el pozo es muy grande no suele ser recomendable utilizar exclusivamente materiales sellantes (cemento o bentonita). En estos casos, se deben utilizar materiales específicos para aislar ciertos tramos concretos de la perforación, y rellenar el resto de la perforación con agregados o áridos.

Los agregados deben estar limpios, sin contaminantes y deben ser de tamaño apropiado para minimizar atascos o la formación de puentes durante su colocación. El diámetro de partícula de los agregados no debe ser mayor de la cuarta parte ($\frac{1}{4}$) del diámetro del pozo por el que deben pasar durante su colocación. Como usualmente los agregados son vertidos desde la superficie del pozo, se debe tener cuidado durante esta operación para prevenir la formación de atascos o puentes dentro del pozo. Esto exige verificar el progreso de la operación con mediciones frecuentes de profundidad.

1.2. MATERIALES IMPERMEABLES O DE SELLADO

Los materiales impermeables o sellantes consisten en una combinación o mezcla de cemento Portland y arcilla "bentonita", y para ciertas operaciones hormigón. Estos materiales son los que se deben usar en la clausura de pozos y en la cementación del espacio anular de la parte superior de un pozo de nueva construcción ya que son una barrera de protección para el agua. Así, los materiales impermeables impiden la migración del agua a través del pozo, del espacio anular, o de las fracturas y aberturas adyacentes al agujero del pozo.

La mezcla debe ser formulada para minimizar el encogimiento y asegurar la compatibilidad con las características químicas del agua. Para colocar la pasta sellante en el pozo, generalmente será necesario utilizar una bomba de cementación y una tubería auxiliar. Este método provoca el desplazamiento positivo del agua en el pozo (ascenso), y minimiza la dilución o separación de la pasta cementante. En la operación de clausura de pozos se debe considerar que hay que esperar el tiempo de endurecimiento suficiente del sello antes de añadir "agregados" encima. Cuando se debe realizar la cementación del espacio anular de la captación y para que la pasta sellante pueda ser inyectada con facilidad, se recomienda que la densidad del material sea del orden de los 1,9 g/cm³.

1.2.1. Cemento

El cemento es un aglomerante hidráulico obtenido por cocción y posterior molienda, de una mezcla de piedra caliza y arcilla, en proporciones de 3 a 1. Cuando el cemento se mezcla con agua se suceden diversas reacciones químicas que llevan al fraguado. Durante este proceso se libera calor, el cual puede afectar a las tuberías de PVC, e inducir una pérdida de adhesión entre la tubería y el sello de cemento. El comportamiento del cemento depende de la calidad del agua de preparación y de la del pozo.

Está documentado el efecto negativo de grasas, aceites, azúcares y ácidos en la efectividad del cemento por lo tanto hay que tener especial cuidado en la calidad del agua con la que se prepara el cemento, así como también la del agua del pozo con la que entrará en contacto.

A nivel internacional, los requerimientos especificados en la norma ASTM C150 "Standard Specifications for Portland Cement", o la norma API 10B, reflejan las características que debe tener el cemento para las mezclas sellantes. En España, podrán tenerse en cuenta estas normas o sus correspondientes con las normas AENOR.

Hay varias consideraciones a tener en cuenta:

- La emulsión de cemento puro es especial para sellar aberturas pequeñas, penetrar el espacio anular vacío por fuera de la tubería, y llenar espacios en la roca circundante. Tiene algunas desventajas como el encogimiento después del endurecimiento y la posible formación de microfisuras en el contacto con la tubería. Cuando se prepara con proporciones mayores de agua, disminuye la resistencia a la compresión y aumenta la retracción. Por ello, si bien una fluidez más alta del preparado tiene la ventaja de una mayor facilidad de inyección, no es recomendable utilizar más de 20 litros de agua cada 50 kg de cemento.

La pasta de cemento se prefiere, en general, respecto al hormigón porque evita el problema de la separación entre los agregados y el cemento.

- La emulsión de hormigón consiste en la mezcla de cemento, arena y agua. El agregado de arena produce un menor encogimiento o retracción y una mayor adherencia en el encamisado y en la pared del pozo. Asimismo la presencia de la arena favorece el taponamiento de los espacios intergranulares de formaciones permeables. Estas emulsiones generalmente son utilizadas como relleno de la parte superior del pozo por encima de la zona con agua para conectar secciones cortas de la tubería, o para el llenado de pozos de gran diámetro. También son especialmente recomendables para el sellado de pozos surgentes o pozos de agua con zonas cavernosas. El mortero únicamente puede ser vertido en el pozo si no hay columna de agua, en caso contrario se debe inyectar desde el fondo hacia arriba mediante tubería.

Las emulsiones de hormigón, crean un sellado más fuerte que el cemento puro, pero no penetran tan bien en las fisuras, grietas e intersticios, y no deberían ser colocadas bajo el nivel del agua, salvo que se emplee una bomba de lodos y tubería auxiliar para inyectarla.

- Los aditivos como la bentonita pueden ser utilizados para mantener las partículas de cemento en suspensión, reducir la retracción y mejorar la fluidez, pero hay que tener presente que la proporción de bentonita debe ser de entre un 2 y un 6%. Es recomendable mezclar primero la bentonita con el agua y luego agregar el cemento. En cuanto a los aditivos para las mezclas con el cemento Portland, se recomiendan las especificaciones internacionales de la norma ASTM C494 "Standard Specifications for Chemical Admixtures for Concrete" o la API RP 10B. En España podrán tenerse en cuenta estas o sus correspondientes con las normas AENOR.

1.2.2. Bentonita

La bentonita es una arcilla montmorillonítica que aumenta de volumen (hasta 10 veces) en contacto con agua, y permanece en suspensión durante períodos de tiempo suficientemente largos. Da lugar a una suspensión de baja densidad y alta viscosidad. La pasta de bentonita produce un secado más rápido y tiene una mejor adherencia con el suelo y la tubería.

La bentonita se puede presentar de diversas maneras o productos:

- Bentonita en polvo. La mezcla de bentonita en polvo con agua en una proporción de 15% a 20% en peso resulta fácilmente manejable y genera un sellado adecuado. Conviene realizar la mezcla con hormigonera, para su mejor emulsión, y colocar la mezcla en el pozo mediante inyección por tubería y bomba de lodos desde el fondo hacia la superficie, terminando en las proximidades de la boca del pozo con un tapón de cemento o bentonita en pellets.

- Bentonita fracturada. Tiene una menor relación área/masa que la bentonita en polvo, por ello presenta una hidratación más lenta y una menor dilatación. Esto puede ser útil a la hora de ser bombeada hacia el fondo del pozo. Su mezclado debe ser suave, utilizando palas. La preparación de la mezcla debe realizarse en un rango de 220 a 300 litros de agua por cada 40 kg de bentonita. La máxima viscosidad de la pasta de bentonita que puede ser bombeada es la formada por la mezcla de 300 litros de agua cada 40 kilogramos de bentonita. Este máximo de concentración puede producir un encogimiento de hasta un 25%. No se da encogimiento en mezclas de 220 litros de agua cada 40 kilogramos de bentonita.

- Pellets o granos de bentonita. Cuando es en forma de grano o "pellet" la bentonita puede ser vertida directamente sin agregar agua desde la boca del pozo, no siendo necesario inyectarla desde el fondo. Hay que evitar que se formen puentes a lo largo de la columna,

respetando las velocidades de vertido recomendadas por el fabricante e introduciendo periódicamente una herramienta que rompa los posibles puentes que se hayan formado.

1.3. COLOCACIÓN DEL MATERIAL SELLANTE

Cuando se realiza un sellado con material cementante o se ha de llenar el espacio anular de un pozo, la mezcla debe ser inyectada a presión para asegurar el llenado de la perforación y también la penetración en el terreno circundante de cómo mínimo una pulgada a partir del diámetro exterior del agujero. La inyección debe hacerse con tubería auxiliar desde el fondo hacia arriba, de manera continua y sin interrupciones, para evitar la formación de puentes y la dilución de la mezcla, especialmente cuando se está inyectando por debajo del nivel estático. La mezcla de la arena o la arcilla con el cemento debe ser previa a su colocación, sin dejarla reposar demasiado tiempo para evitar un endurecimiento anticipado en superficie.

Cuando se quiera realizar un sellado con bentonita en “chips” o “pellets”, ésta deberá ser vertida lentamente y detener la operación cada 20 kg de arcilla para medir el fondo y verificar que no se hayan generado puentes. En este caso será necesario introducir alguna herramienta de peso que los rompa. Cuando se llene con bentonita en "pellets" o "chips" por encima del nivel estático del agua, se tendrá que verter agua al menos cada 1,5 m de ascenso del nivel del relleno para facilitar la expansión de la bentonita de forma adecuada.

1.3.1. Colocación de sellos puente

Los sellos puente (packers, en inglés) son obturadores expansibles neumáticos o mecánicos, generalmente hechos de un material expandible, como aluminio, madera, goma o neopreno, que permiten colocar un tapón a una altura determinada con el fin de aislar tramos del pozo. Posibilitan por ejemplo la adición de agregados encima.

Un sello puente se puede usar para aislar zonas fracturadas, cavernosas o para aislar dos zonas productoras en el pozo, además de ofrecer la integridad estructural necesaria para soportar materiales por encima (y por tanto, proteger a los agregados o sellantes subyacentes, de fuerzas de compresión excesivas).

2. CONDICIONES TÉCNICAS MÍNIMAS DE EJECUCIÓN DE SONDEOS

Con el fin de proteger el dominio público hidráulico subterráneo de cualquier tipo de contaminación, la ejecución de sondeos de captación de aguas subterráneas se ajustará a unas condiciones técnicas mínimas. Estas se refieren básicamente al método de construcción (descenso de las tuberías de revestimiento, cierre o boca de la captación...), y en especial a la cementación del espacio anular.

2.1. MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN

En cuanto a los materiales a utilizar y a las técnicas de construcción de pozos se deben seguir una serie de criterios que ayudan a garantizar la durabilidad de la protección del dominio público hidráulico.

- Cuando las tuberías sean de tubos de ‘chapa naval’ estos deben tener un mínimo de 4 mm de espesor.
- En la colocación de la tubería es necesario utilizar como mínimo un centrador a 120 ° cada 12 m.
- Para garantizar la eficacia de las operaciones de cementación, las desviaciones de la vertical de las perforaciones no pueden ser superiores a 1 ° por cada 50 m de perforación (1°/50 m).
- Cuando se realice la instalación de los equipos de extracción (bombas) y accesorios (tubería de impulsión, tubo piezométrico, cables, etc.), el promotor de la obra debe garantizar que se toman las medidas necesarias para garantizar la estanqueidad.

2.1.1. Colocación de las tuberías

En cualquier pozo o sondeo que se ejecute el método para descender las tuberías se realizará de forma que se asegure que no existen agujeros en la tubería. En este sentido se recomienda utilizar, siempre que sea posible, tuberías que puedan unirse mediante rosca.

En caso de que se descendan las tuberías de revestimiento por el método de la barra y perforaciones, será estrictamente necesario que las citadas perforaciones se sellen nuevamente mediante soldadura continua, una vez colocado cada tramo.

En los sondeos telescópicos, aquellos en que hay una disminución del diámetro en profundidad, las tuberías de diferente diámetro se podrán colocar siguiendo dos metodologías diferentes (ver figura 1).

Una primera opción es apoyar la tubería exterior en la roca. En este caso será necesario cementar el espacio anular entre la tubería interior y la tubería exterior así como el espacio anular entre la tubería exterior y la roca. Para tal operación será necesario la utilización de un obturador que permita cementar la zona situada por encima del mismo.

En estos casos no se permitirá dejar el espacio anular entre tuberías sin cementar.

Una segunda opción es unir las dos tuberías de diferente diámetro mediante un embudo. En este caso también será necesario utilizar un obturador para cementar la parte superior del pozo.

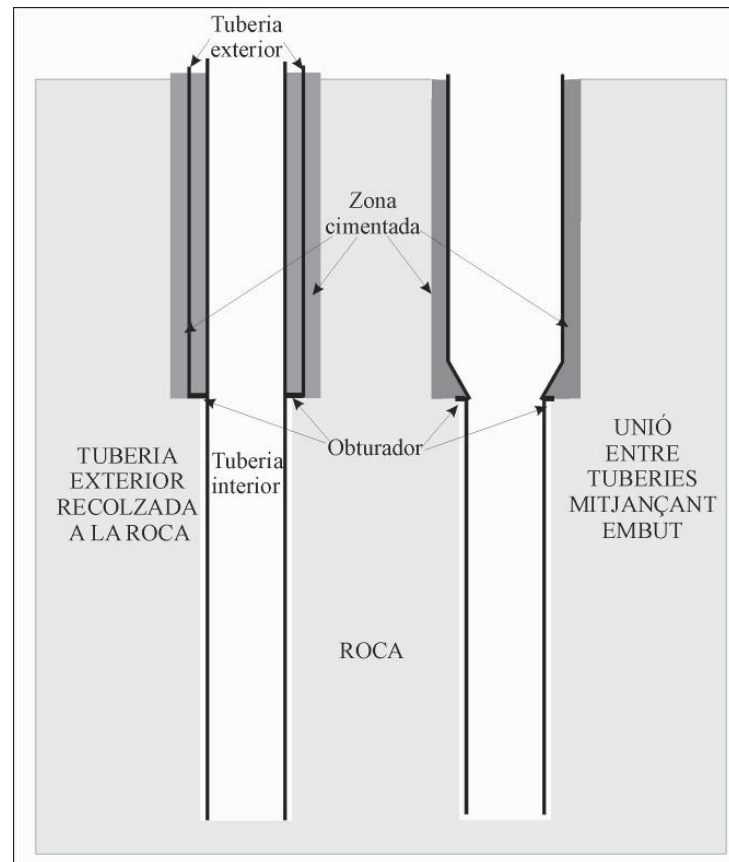


Figura 1. Colocación de las tuberías.

2.1.2 Cierre o boca de la captación

Para evitar la entrada de aguas exteriores y posibles contaminantes, la tubería de revestimiento del pozo debe sobresalir entre 30 y 50 centímetros por encima de la superficie del terreno y sobre esta se dispondrá, alrededor de dicha tubería, una placa de cemento con un espesor mínimo de 30 centímetros en el centro y de 15 en los bordes, de forma que su cara superior tenga pendiente hacia la periferia en todas las direcciones. La placa debe tener una anchura mínima de 50 centímetros alrededor de la tubería y un espesor mínimo enterrado de 30 centímetros ver figura 2).

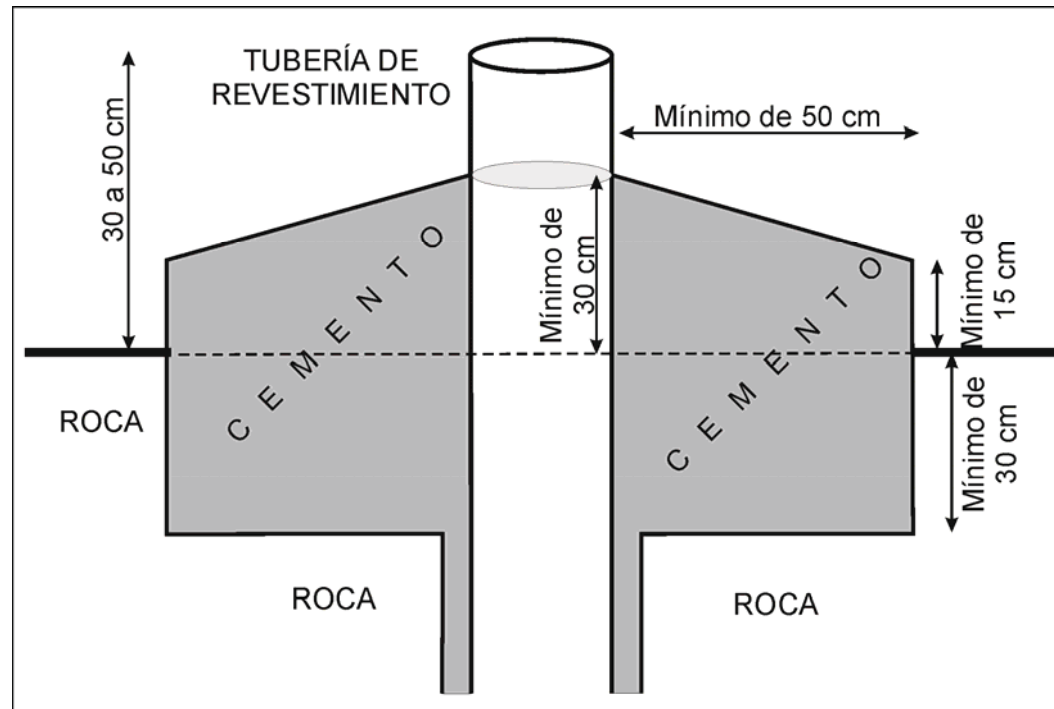


Figura 2. Cierre o boca de la captación.

2.1.3 Desinfección, contador volumétrico y cumplimiento de prescripciones

Hay que recordar que una vez terminada la perforación y, en su caso, el ensayo de bombeo, se debe proceder a la desinfección del pozo y la instalación de un tubo piezométrico y un contador volumétrico. Asimismo, se recuerda que el mantenimiento de todos los elementos de la

captación corren a cargo del propietario, y que éste debe facilitar las pertinentes inspecciones de la captación por parte de la Administración Hidráulica.

La Administración Hidráulica podrá realizar las comprobaciones pertinentes relativas al cumplimiento de las prescripciones de la autorización y los registros necesarios para comprobar el correcto sellado, antes de la puesta en funcionamiento del sondeo. Por esta razón es necesario que se comunique a la Administración hidráulica la finalización de las obras de captación antes de instalar en ellas los mecanismos para elevar el agua.

Los directores técnicos, deben certificar el cumplimiento de las condiciones impuestas o, en su caso, adjuntar a la hoja de características un registro de rayos gamma y un registro sónico, realizado por técnicos competentes, como comprobación del cumplimiento de las condiciones impuestas y de la correcta cementación del sondeo. En caso de que la Administración compruebe que no se han cumplido las prescripciones técnicas indicadas en la autorización de ejecución del sondeo se abrirá un proceso administrativo para la clausura de la captación.

2.2. CEMENTACIÓN

Los proyectos de ejecución de sondeos deben incorporar las correspondientes operaciones de cementación que garanticen que el sondeo no es una vía preferente de contaminación del dominio público hidráulico.

La cementación del espacio anular de los pozos evita la comunicación directa entre el acuífero y las aguas de escorrentía superficial, aísla los diferentes niveles acuíferos de una perforación, evita el vaciado incontrolado y continuo de determinados niveles acuíferos y ayuda a la protección de la tubería. Es necesario que todas las captaciones que se construyan dispongan en su parte más superficial de un tramo cementado. La cementación deberá adaptarse siempre a los siguientes criterios:

- La cementación deberá tener un grosor de corona mínimo de 5 cm. Es decir, entre la tubería y la pared del sondeo se debe dejar un espacio de al menos 5 cm.
- Para que la lechada de cemento pueda tener la suficiente fluidez para ser inyectada en el espacio anular del pozo la concentración de bentonita de la mezcla deberá ser de entre un 2 y un 6%. Asimismo la densidad recomendable será de 1,9 g/cm³.
- El encargado de la obra deberá comunicar el inicio de las operaciones de cementación y sellado a la autoridad hidráulica, para que, si lo considera necesario, personal de ésta pueda estar presente en esta operación.

- Cuando la profundidad de cementación sea inferior a 5 m, el vertido del material sellante se podrá realizar desde la boca del sondeo, no siendo necesario la utilización de varillaje auxiliar ni de bomba de inyección.
- Cuando la profundidad de cementación sea superior a 5 m será necesario utilizar varillaje de fondo o elementos de igual utilidad que pueden ser introducidas por el espacio anular. Asimismo en estos casos será necesario utilizar una bomba de inyección para inyectar el cemento desde el fondo e ir ascendiendo hacia la superficie.
- Las operaciones de cementación deberán realizarse de manera continuada y sin interrupciones para evitar el desagregado del material cementante. Esta operación es especialmente necesaria cuando existe un flujo dentro del sondeo debido a diferentes cargas hidráulicas de acuíferos. Por esta razón, es muy recomendable efectuar un cálculo de la cantidad de material necesario antes de empezar la cementación.
- Cuando la columna a cementar sea de longitud considerable se deberán tener en cuenta las presiones centrípetas ejercidas por la columna de cementación para que éstas no superen la resistencia nominal de la tubería, lo que puede producir el colapso de la misma. En estos casos será necesario realizar la cementación por fases.
- Una vez hayan finalizado las operaciones de cementación no se podrá llevar a cabo ninguna actividad en el pozo hasta que el cemento esté completamente forjado. Debido a que este tiempo depende de los materiales utilizados se fijará, en caso de duda, un tiempo mínimo de 72 horas desde la finalización de la cementación para continuar los trabajos de adecuación del sondeo.
- Cualquier entubación provisional que se haya utilizado en el proceso de construcción del pozo se tendrá que retirar de forma simultánea al proceso de cementación.

2.2.1 Profundidad de cementación

La profundidad hasta la que se ha de cementar el espacio anular está en función del material que aflora en la zona y de las características del acuífero que se explota. Básicamente se pueden presentar cuatro grandes grupos de acuíferos: libres, confinados, superpuestos y multicapa.

En superficie, en Baleares, afloran principalmente dos grandes grupos de rocas sedimentarias: rocas detríticas (arcillas, areniscas y conglomerados) o rocas carbonatadas. Dentro de los materiales carbonatados se pueden diferenciar los carbonatos propiamente dichos (calizas y dolomías), las calcarenitas y las margas. Por otra parte hay que diferenciar también aquellos carbonatos que están fisurados de aquellos que presentan procesos de carstificación importantes.

| Código | Nombre de la masa | Profundidad de cementación (m) | Tipo de acuífero | Materiales dominantes |
|----------|-------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------------------------|
| 18.01.M1 | Coll Andritxol | 20 - 30 | Libre | Calizas y dolomías fisuradas |
| 18.01.M2 | Port D'andratx | 10 - 15 | Libre-Confinado | calizas y dolomías fisuradas, margas y detrítico |
| 18.01.M3 | Sant Elm | 5 - 15 | Confinado-Libre | Margas, calizas y detrítico |
| 18.01.M4 | Ses Basses | 20 - 30 | Libre | Calizas y dolomías fisuradas |
| 18.02.M1 | Sa Penya Blanca | 20 - 30 | Libre | Calizas y dolomías fisuradas |
| 18.02.M2 | Banyalbufar | 20 - 30 | Libre | Calizas y dolomías fisuradas |
| 18.02.M3 | Valldemossa | 20 - 30 | Libre | Calizas y dolomías fisuradas |
| 18.03.M1 | Escorca | 20 - 30 | Libre | Calizas y dolomías fisuradas |
| 18.03.M2 | Lluc | 40 - 55 | Libre | Calizas y dolomías carstificadas |
| 18.04.M1 | Ternelles | 20 - 30 | Libre | Calizas y dolomías fisuradas |
| 18.04.M2 | Port de Pollença | 10 - 30 | Libre-Confinado | Calizas y dolomías fisuradas, margas y detrítico |
| 18.04.M3 | Alcudia | 10 - 15 | Libre-Confinado | Detrítico margas |
| 18.05.M1 | Pollença | 20 - 30 | Libre | Calizas y dolomías fisuradas |
| 18.05.M2 | Eixartell | 10 - 30 | Libre-Confinado | Margas, calizas y dolomías fisuradas |
| 18.05.M3 | L'arboçar | 20 - 30 | Libre | Calizas y dolomías fisuradas |
| 18.06.M1 | S'Olla | 20 - 30 | Libre | Calizas y dolomías fisuradas |
| 18.06.M2 | Sa Costera | 40 - 55 | Libre | Calizas y dolomías carstificadas |
| 18.06.M3 | Port de Sóller | 20 - 30 | Libre | Calizas y dolomías fisuradas |
| 18.06.M4 | Soller | 10 - 15 | Libre-Confinado | Detrítico, arcillas y yeso |
| 18.07.M1 | Esporles | 20 - 30 | Libre | Calizas y dolomías fisuradas |
| 18.07.M2 | Sa Fita des Ram | 20 - 30 | Libre | Calizas y dolomías fisuradas |
| 18.08.M1 | Bunyola | 40 - 55 | Libre | Calizas y dolomías carstificadas |
| 18.08.M2 | Massanella | 20 - 30 | Libre | Calizas y dolomías fisuradas |
| 18.09.M1 | Lloseta | 10 - 15 | Libre-Confinado | Margas, calizas y dolomías fisuradas |
| 18.09.M2 | Penyaflor | 10 - 15 | Libre-Confinado | calizas y detrítico |
| 18.10.M1 | Caimari | 20 - 30 | Libre | Calizas y dolomías fisuradas |
| 18.11.M1 | Sa Pobla | 10 - 15 | Libre | Detrítico |
| 18.11.M2 | Llubí | 25 - 40 | Libre | Calcarenitas carstificadas |
| 18.11.M3 | Inca | 10 - 15 | Superpuestos | Detrítico |
| 18.11.M4 | Navarra | 20 - 30 | Libre | Calizas y dolomías fisuradas |
| 18.11.M5 | Crestatx | 40 - 55 | Libre | Calizas y dolomías carstificadas |
| 18.12.M1 | Galatzó | 20 - 30 | Libre | Calizas y dolomías fisuradas |
| 18.12.M2 | Es Capdellà | 10 - 15 | Confinado-Libre | Margas, calizas y dolomías fisuradas |
| 18.12.M3 | Santa Ponça | 5 - 15 | Confinado | Margas, calizas y detrítico |
| 18.13.M1 | La Vileta | 40 - 55 | Libre | Calizas y dolomías carstificadas |

| Código | Nombre de la masa | Profundidad de cementación (m) | Tipo de acuífero | Materiales dominantes |
|----------|----------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------------------------------------|
| 18.13.M2 | Palmanova | 40 - 55 | Libre | Calizas y dolomías carstificadas |
| 18.14.M1 | Xorrigo | 25 - 40 | Libre | Calcarenitas carstificadas |
| 18.14.M2 | Sant Jordi | 10 - 15 | Libre | Detrítico |
| 18.14.M3 | Pont d'Inca | 25 - 40 | Superpuestos | Calcarenitas y calizas carstificadas |
| 18.14.M4 | Son Reus | 10 - 15 | Superpuestos | Detrítico |
| 18.15.M1 | Porreres | 10 - 15 | Libre-Confinado | Detrítico, calizas y dolomías fisuradas, margas |
| 18.15.M2 | Montuïri | 5 - 15 | Confinado | Margas y calizas fisuradas |
| 18.15.M3 | Algaida | 10 - 15 | Libre-Confinado | Detrítico, calizas y dolomías fisuradas margas |
| 18.15.M4 | Petra | 5 - 15 | Confinado | Margas, calizas y detrítico |
| 18.16.M1 | Ariany | 25 - 40 | Libre | Calcarenitas carstificadas |
| 18.16.M2 | Son Real | 25 - 40 | Libre | Calcarenitas carstificadas |
| 18.17.M1 | Capdepera | 10 - 30 | Libre-Confinado | Calizas y dolomías fisuradas margas |
| 18.17.M2 | Son Servera | 10 - 30 | Libre-Confinado | Calizas y dolomías fisuradas margas |
| 18.17.M3 | Sant Llorenç des Cardassar | 10 - 30 | Libre-Confinado | Calizas y dolomías fisuradas margas |
| 18.17.M4 | Ses Planes | 10 - 30 | Libre-Confinado | Calizas y dolomías fisuradas margas |
| 18.17.M5 | Ferrutx | 10 - 30 | Libre-Confinado | Calizas y dolomías fisuradas margas |
| 18.17.M6 | Es Racó | 10 - 30 | Libre-Confinado | Calizas y dolomías fisuradas margas |
| 18.18.M1 | Son Talent | 10 - 25 | Confinado-Libre | Detrítico y Calcarenitas |
| 18.18.M2 | Santa Cirga | 10 - 30 | Libre-Confinado | Calizas y dolomías fisuradas margas |
| 18.18.M3 | Sa Torre | 10 - 30 | Libre-Confinado | Calizas y dolomías fisuradas margas |
| 18.18.M4 | Justaní | 5 - 15 | Confinado | Margas y calizas fisuradas |
| 18.18.M5 | Sonacià | 5 - 15 | Confinado | Margas y calizas fisuradas |
| 18.19.M1 | Sant Salvador | 10 - 30 | Libre-Confinado | Calizas y dolomías fisuradas margas |
| 18.19.M2 | Cas Concos | 10 - 30 | Libre-Confinado | Calizas y dolomías fisuradas margas |
| 18.20.M1 | Santanyí | 25 - 40 | Libre | Calcarenitas carstificadas |
| 18.20.M2 | Cala d'Or | 25 - 40 | Libre | Calcarenitas carstificadas |
| 18.20.M3 | Portocristo | 25 - 40 | Libre | Calcarenitas carstificadas |
| 18.21.M1 | Marina de Lluçmajor | 25 - 40 | Libre | Calcarenitas carstificadas |
| 18.21.M2 | Pla de Campos | 10 - 25 | Libre | Detrítico y calcarenitas |
| 18.21.M3 | Son Mesquida | 25 - 40 | Libre | Calcarenitas carstificadas |
| 18.NM.01 | Dragonera | 5 - 15 | No masa | Margas, calizas y detrítico |
| 19.01.M1 | Maó | 25 - 40 | Libre | Calcarenitas carstificadas |
| 19.01.M2 | Es Migjorn Gran | 25 - 40 | Libre | Calcarenitas carstificadas |
| 19.01.M3 | Ciutadella | 25 - 40 | Libre | Calcarenitas carstificadas |
| 19.02.M1 | Sa Roca | 20 - 30 | Libre | Calizas y dolomías fisuradas |

| Código | Nombre de la masa | Profundidad de cementación (m) | Tipo de acuífero | Materiales dominantes |
|----------|-------------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------------------------|
| 19.03.M1 | Addaia | 20 - 30 | Libre | Calizas y dolomías fisuradas |
| 19.03.M2 | Tirant | 10 - 15 | Libre | Detrítico |
| 19.NM.01 | Ferrerries - Cavalleria | 5 - 15 | No masa | Paleozoico y detrítico |
| 19.NM.02 | La Mola - Es Grau | 5 - 15 | No masa | Paleozoico y detrítico |
| 20.01.M1 | Portinatx | 10 - 15 | Confinado-Libre | Margas, calizas y dolomías fisuradas |
| 20.01.M2 | Port de Santiquel | 40 - 55 | Libre | Calizas y dolomías carstificadas |
| 20.02.M1 | Santa Agnès | 20 - 30 | Libre | Calizas y dolomías fisuradas |
| 20.02.M2 | Pla de Sant Antoni | 10 - 15 | Libre | Detrítico |
| 20.02.M3 | Sant Agustí | 5 - 15 | Confinado | Margas, calizas y detrítico |
| 20.03.M1 | Cala Llonga | 10 - 30 | Libre-Confinado | Calizas y dolomías fisuradas, margas y detrítico |
| 20.03.M2 | Roca Llissa | 10 - 30 | Libre-Confinado | Calizas y dolomías fisuradas, margas y detrítico |
| 20.03.M3 | Riu De Santa Eulària | 5 - 15 | Confinado | Margas, calizas y detrítico |
| 20.03.M4 | Sant Llorenç de Balafia | 10 - 30 | Libre-Confinado | Calizas y dolomías fisuradas, margas y detrítico |
| 20.04.M1 | Es Figueras | 10 - 15 | Confinado-Libre | Margas, calizas y dolomías fisuradas |
| 20.04.M2 | Es Canar | 10 - 30 | Libre-Confinado | Calizas y dolomías fisuradas, margas y detrítico |
| 20.05.M1 | Cala Tarida | 20 - 30 | Libre | Calizas y dolomías fisuradas |
| 20.05.M2 | Port Roig | 5 - 15 | Confinado | Margas, calizas y detrítico |
| 20.06.M1 | Santa Gertrudis | 5 - 15 | Confinado | Margas, calizas y detrítico |
| 20.06.M2 | Jesús | 10 - 15 | Libre | Detrítico |
| 20.06.M3 | Serra Grossa | 10 - 30 | Libre-Confinado | Calizas y dolomías fisuradas, margas y detrítico |
| 21.01.M1 | La Mola | 25 - 40 | Libre | Calcarenitas carstificadas |
| 21.01.M2 | Cap de Barbaria | 25 - 40 | Libre | Calcarenitas carstificadas |
| 21.01.M3 | La Savina | 10 - 25 | Libre | Detrítico y calcarenitas |

En base a la distribución de estos grupos de materiales y tipo de acuífero se han clasificado las diferentes masas de agua subterránea definidas en el presente Plan Hidrológico de las Illes Balears, adjudicando a cada una de ellas las profundidades mínimas de cementación que se aplicarán.

En la tabla siguiente y en las figuras 3, 4 y 5 se indican cuáles son los rangos de profundidades de cementación que se aplicarán a cada masa de agua subterránea. Mientras el proyecto de construcción del pozo presentado no demuestre que en esa zona afloran unos materiales diferentes a la generalidad de la masa, se aplicará la cementación indicada.

En cualquier caso, el proyecto de construcción del pozo deberá indicar y justificar la profundidad de cementación que se pretende realizar. Se debe considerar también que cuando se trata de un acuífero confinado con una cobertura impermeable con un espesor inferior a 5 m solamente será necesario cementar la parte impermeable, es decir, desde el techo del acuífero hasta la superficie del terreno.

En el caso de acuíferos superpuestos (un acuífero libre en superficie y otros acuíferos confinados en profundidad) o acuíferos multicapa (acuíferos formados por una alternancia de capas permeables e impermeables) el proyecto de captación deberá indicar cuál de los acuíferos se pretende explotar. El acuífero que no debe ser explotado se deberá aislar adecuadamente del resto (ver figura 7). Dicho aislamiento se efectuará mediante cementación o sellado del anillo entre el entubado y la pared del sondeo, al menos en un espesor de cinco m desde la base del acuífero que no se pretende explotar. El resto del anillo puede llenarse de grava. Si el espesor de las capas confinantes es menor de cinco m, se debe sellar en todo su espesor.

En aquellas masas formadas por calizas y dolomías fisuradas, margas y materiales detríticos, en las que la cementación se ha establecido en el rango de 10 a 30 m, se deberá considerar que cuando afloran margas materiales detríticos la cementación podrá ser de entre 10 y 20 m, mientras que si afloran calizas o dolomías fisuradas la cementación deberá ser de entre 20 y 30 m.

En aquellas masas en las cuales y según la tabla anterior, afloran básicamente materiales detríticos y calcarenitas, y para las que se ha establecido un rango de cementación de 10 a 25 m, se deberá considerar que cuando afloran materiales detríticos la cementación podrá ser de entre 10 y 20 m, mientras que si afloran calcarenitas la cementación deberá ser de entre 15 y 25 m.

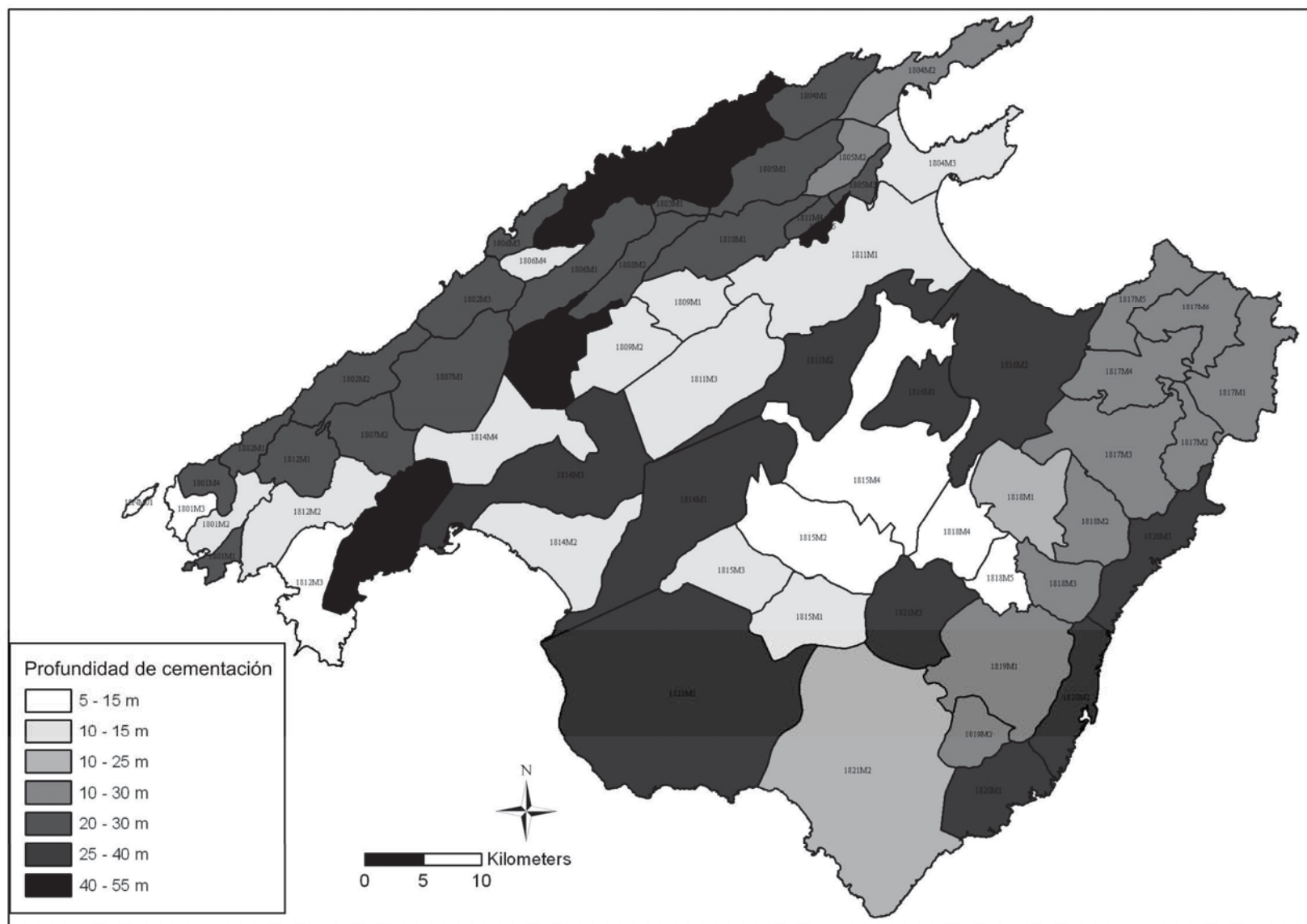


Figura 3: Profundidades de cementación en las masas de agua subterránea de Mallorca.

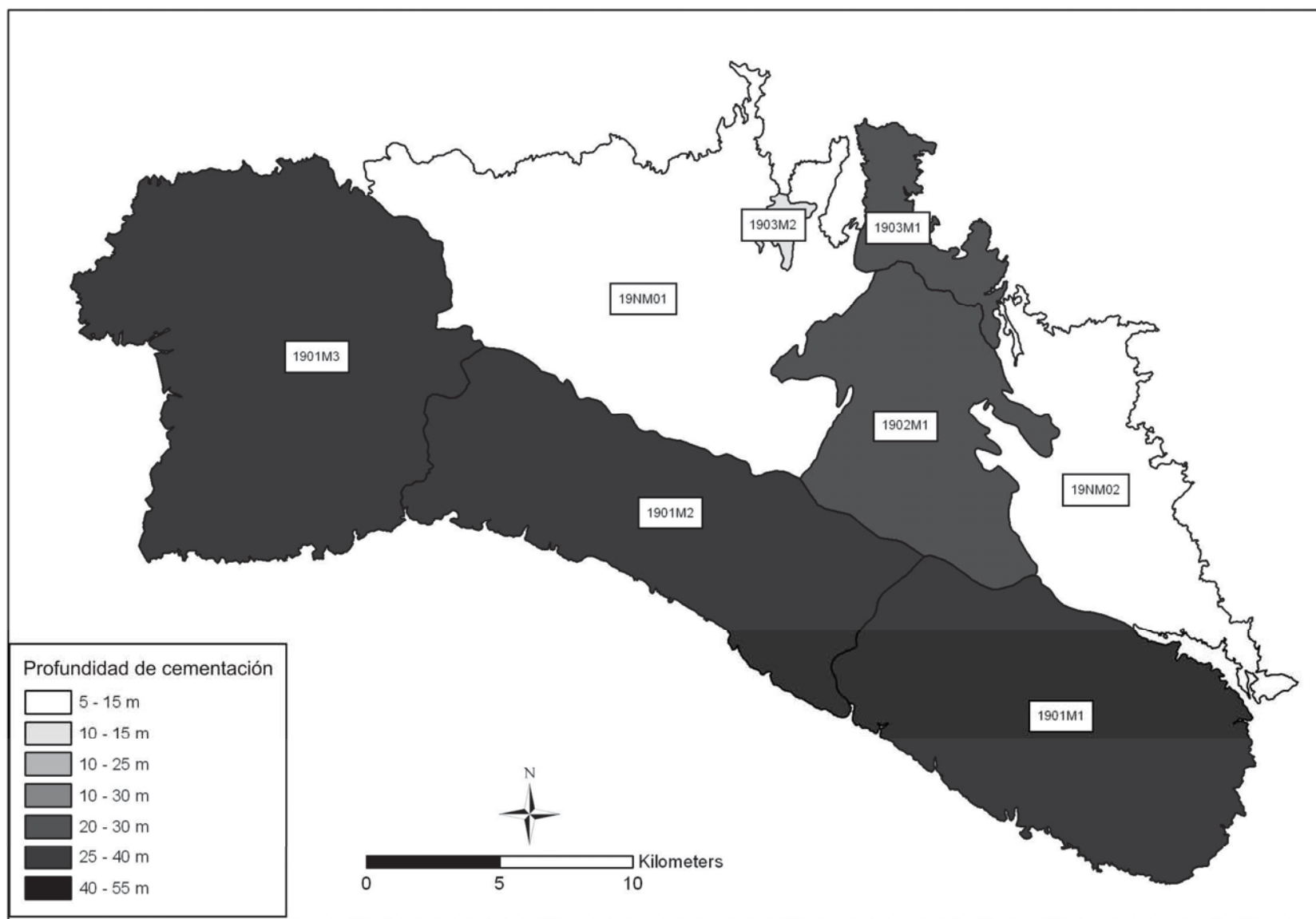


Figura 4: Profundidades de cementación en las masas de agua subterránea de Menorca.

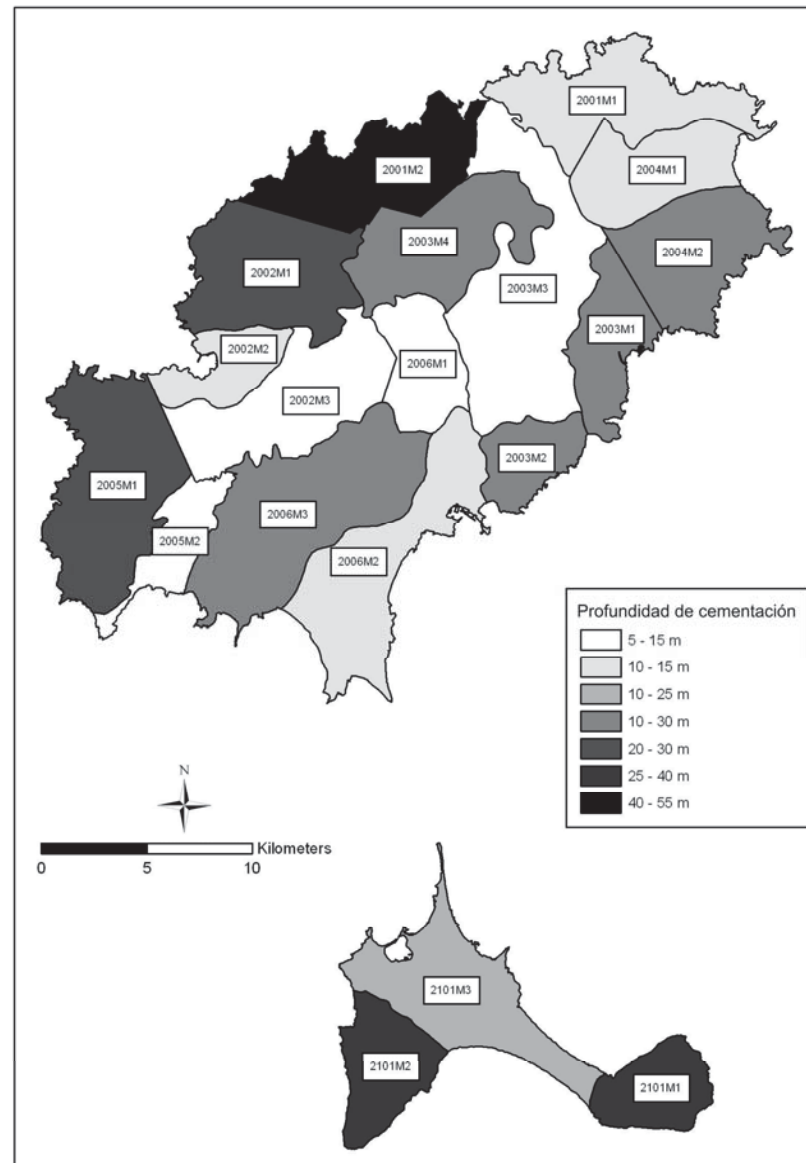


Figura 5. Profundidades de cementación en las masas de agua subterránea Pitiüsses.

3. CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA CLAUSURA DE SONDEOS O POZOS

Este apartado se redacta para disponer de una guía de prescripciones técnicas para la adecuada clausura de pozos en desuso o abandonados. Así, pretende ser la herramienta a utilizar por el propietario del pozo y/o el técnico correspondiente de la obra para conseguir los resultados adecuados.

Los principales objetivos que se pretenden alcanzar con la clausura de los pozos son:

1. Eliminar el riesgo de accidentes por la presencia de un espacio abierto en el terreno.
2. Impedir actos vandálicos y que el pozo pueda servir como depósito de materiales contaminantes o escombros.
3. Evitar la entrada de contaminantes desde la superficie.
4. Evitar modificaciones en el comportamiento hidráulico de las aguas subterráneas, como la pérdida de caudales o presiones hidrostáticas.
5. Prevenir la mezcla de agua entre diferentes acuíferos y evitar el flujo inducido del agua a través de diferentes formaciones geológicas.

Cada una de las clausuras se debe considerar como un caso particular, de esta manera, tanto los métodos como los materiales a utilizar estarán siempre determinados por las condiciones particulares del entorno y por el objetivo buscado.

Factores como las condiciones del terreno, la vulnerabilidad del medio y la presencia de pozos de abastecimiento deben ser cuidadosamente considerados antes de tomar la decisión final sobre el procedimiento y los materiales a utilizar en el sellado.

Sin perjuicio de los inventarios de pozos abandonados que pueda llevar a cabo la Administración hidráulica, los propietarios de las fincas en las que haya pozos abandonados o negativos tienen la obligación de clausurarlos para evitar posibles contaminaciones del dominio público hidráulico. En este sentido los costes de la clausura correrán a cargo del titular de la captación o propietario de la finca en la que se sitúa el pozo. En caso de que exista un peligro asociado a un pozo abandonado del que no se ha podido determinar la titularidad del mismo, la Administración hidráulica se hará cargo de la clausura del mismo.

3.1. CONSIDERACIONES GENERALES

En casos concretos debidamente justificados, una actuación mínima de protección superficial de la captación puede servir como medida temporal de clausura. En el resto de casos, es necesario cumplir con todos los pasos requeridos para una adecuada clausura del pozo.

El sellado adecuado de un pozo implica que esté limpio en su totalidad, de forma que aísle el acceso a los niveles acuíferos y se consiga la obturación superficial de la boca. Las operaciones a llevar a cabo en los procesos de clausura y sellado de pozos son básicamente la extracción de los elementos introducidos en el terreno (tuberías, filtros, bomba...) y el relleno del espacio abierto con materiales que no tengan interacción con el medio e impidan la modificación de éste por factores externos.

El tipo de pozo, las características geológicas y la situación ambiental de posible contaminación (vertidos, derrames, residuos, presencia de niveles acuíferos ya contaminados), determinan los procedimientos y materiales para la clausura. Por esta razón las actuaciones de clausura o sellado de pozos deben ser supervisadas por técnicos especialistas en hidrogeología subterránea ante la variabilidad de factores y condicionantes a considerar en cada caso.

Para la clausura de un pozo se presentará un proyecto de clausura que se basará en las indicaciones del presente anexo, y que deberá contener, como mínimo, la siguiente información:

- a) Nombre del propietario de la parcela donde el pozo está situado.
- b) Características geográficas e hidrogeológicas de la captación: Coordenadas, cota topográfica, profundidad del nivel piezométrico, masa de agua subterránea donde se localiza y otra información disponible (columna litológica, calidad del agua...).
- c) Características técnicas de la captación: Diámetro, profundidad del pozo, tipo de entubación y cementación.
- d) Tipo de clausura que se propone.

3.2. TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS DE POZOS

Los pozos pueden ser clasificados en base al método constructivo, o en relación al acuífero donde se ubican. En este anexo, se han considerado dos tipologías de pozos en función de sus características constructivas: pozos superficiales o abiertos, y pozos perforados o sondeos.

En Baleares, en base al tipo de acuífero, se pueden dar básicamente dos situaciones: acuíferos carbonatados y acuíferos detríticos.

En ciertos casos, y en cualquiera de estas tipologías, el pozo puede ser manantial, es decir puede presentar un nivel del agua por encima del brocal de pozo. En estos casos será necesario un tratamiento específico para la ejecución de los procedimientos de sellado del pozo.

3.2.1. Pozos superficiales o abiertos

Los pozos superficiales o abiertos suelen ser pozos excavados a mano (norias), por lo que suelen ser pozos antiguos. Tienen profundidades entre 5 y 25 m y diámetro entre 1 y 3 m.

Las paredes a menudo se encuentran recubiertas de ladrillos u hormigón para evitar su colapso. Estos pozos normalmente explotan acuíferos en terrenos detríticos aluviales o coluviales, y relativamente poco consolidados (conglomerados, areniscas y arcillas del Cuaternario), aunque pueden penetrar parcialmente el basamento de roca consolidada inferior.

3.2.2. Pozos perforados o sondeos

Son pozos realizados mediante maquinaria específica para tal efecto, y siguiendo diferentes metodologías de construcción. Suelen tener diámetros inferiores a 0,5 m y pueden alcanzar profundidades de cientos de m. Dependiendo del material geológico pueden presentar dos modalidades constructivas:

- Materiales poco consolidados (detríticos): el pozo suele disponer de tubería en toda su longitud, la cual dispone de tramos filtrantes en las zonas más productivas permeables.
- Materiales consolidados (carbonatos generalmente): en ciertos casos el pozo solo está entubado en su tramo superior, donde atraviesa los materiales no consolidados. La parte inferior de la captación atraviesa un terreno formado por una roca consolidada con fracturas. En esta zona acuífera en ciertos casos no se coloca tubería de revestimiento ni filtro.

3.3. TAREAS PREVIAS AL ACONDICIONAMIENTO DEFINITIVO

Antes del sellado del pozo es necesario llevar a cabo una serie de tareas que contribuyen a facilitar la operación de clausura y aseguran su efectividad. Las tareas necesarias son la caracterización del pozo, la retirada de los elementos ajenos y la desinfección.

3.3.1. Caracterización del pozo

Previamente a la determinación del proceso de clausura de un pozo, es muy importante corroborar la información respecto a las características del pozo, tanto las originales en el momento de su construcción (si están disponibles), como las actuales en el momento de proceder a la su clausura.

Una clausura efectiva del pozo depende del conocimiento sobre las características constructivas del pozo, la geología y la hidrogeología del lugar. Se debe recabar toda aquella información que pueda resultar relevante para la clausura del pozo. La información a recoger, y que debe ser utilizada para la redacción del proyecto de clausura, es:

- Situación administrativa del pozo: titularidad del pozo, existencia o no de expediente administrativo, coordenadas, cota topográfica, caudal concesionado, uso...
- Características hidrogeológicas del pozo: masa de agua subterránea donde se localiza, profundidad del agua en el momento de la clausura (en el caso de disponer de datos históricos, rango de profundidades del agua en el tiempo), y otra información disponible (columna litológica, calidad del agua, localización de las zonas acuíferas...).
- Características técnicas del pozo: profundidad y diámetro del pozo, tipo y profundidad del entubado con la distribución de las zonas ranuradas y ciegas, y otra información sobre la perforación (existencia de cementación anular...).

3.3.2. Retirada de elementos ajenos

Una vez se dispone del proyecto de clausura de pozo aprobado, antes de iniciar la clausura del pozo, hay que retirar los dispositivos del interior (bombas, tuberías, materiales auxiliares) y cualquier objeto extraño, de forma que el éxito de la actuación no se vea comprometido.

3.3.3. Desinfección

Una vez vaciado y limpiado el pozo, es necesario realizar una desinfección. Se deberá utilizar un desinfectante adecuado, como puede ser una solución de hipoclorito de calcio con un contenido de 65 a 75% de cloro.

No conviene utilizar una lejía de uso doméstico, ya que es demasiado débil para llegar al nivel de desinfección buscado. Habrá que tener la precaución de desinfectar todas las herramientas o equipos que sean introducidos en el pozo durante las operaciones. La cantidad de desinfectante a utilizar dependerá del volumen de agua en el pozo, procurando llegar a una concentración de 100 mg de cloro por litro de agua.

3.4. OPERACIONES DE CLAUSURA O SELLADO

Los pozos se pueden cerrar de manera temporal o definitiva. La clausura temporal es una medida que permite impedir que se puedan verter sustancias potencialmente contaminantes en el pozo, pero deja la posibilidad de utilizar el pozo para la extracción de agua en un futuro. Por otra parte la clausura definitiva del pozo es una acción que debe permitir asegurar la protección del dominio público hidráulico, por lo tanto una vez se ha efectuado la clausura definitiva del pozo ya no se podrá extraer agua.

3.4.1. Clausura temporal de un pozo

En caso de que el pozo no se utilice pero se tenga la intención de utilizarlo en un futuro próximo, se podrá solicitar llevar a cabo una clausura temporal del pozo. La clausura temporal de un pozo se realiza tapando la boca del mismo con una tapa de hierro y con candado, de manera que se imposibilite el vertido de sustancias dentro del mismo a través de la boca.

La clausura temporal del pozo NO será posible cuando:

- a) Exista riesgo de infiltración de aguas de escorrentía superficial por el espacio anular del pozo (boca), o
- b) Se trate de un pozo que comunique acuíferos con diferentes presiones y tipos de agua, o
- c) Sea necesario hacer una restitución del medio.

La clausura temporal incluirá los siguientes trabajos:

- 1) Si se tiene la intención de dejar una bomba dentro del pozo, será necesario poner un contador y precintar el pozo.
- 2) Si el pozo está en una zona inundable, será necesario que la boca del pozo se sitúe por encima de la cota de inundación.

3.4.2. Clausura definitiva de un pozo

Cuando el pozo esté abandonado y no se tenga intención de volver a utilizarlo, o sea un sondeo negativo será necesario llevar a cabo la clausura definitiva del mismo. Cuando el pozo sea superficial o explote un acuífero único, se puede aceptar una clausura mediante unas

acciones mínimas. Por otra parte, cuando el pozo comunica varios acuíferos es necesario llevar a cabo unas acciones obligatorias que son más o menos estrictas en función de las particularidades de cada caso.

3.4.2.1 Clausura de pozos superficiales o de acuífero único.

En aquellos casos en que el pozo explote un acuífero superficial o único, y mientras no exista riesgo de comunicación entre diferentes estratos, se podrá realizar una clausura del pozo con unas operaciones mínimas. El objetivo de esta clausura es evitar la contaminación a través del brocal y, cuando el pozo sea de gran diámetro, el riesgo debido al peligro físico de caídas dentro del pozo. Cuando se cumplen estas condiciones la clausura se debe realizar de la siguiente manera:

- 1) Retirar los elementos del interior del pozo (bomba, tuberías, cables u otros elementos) que pudieran deteriorarse. Es obligatorio retirar los 3 m más superficiales de la tubería para poder hacer un tapón sanitario al menos en los 2 m superiores del pozo. Cuando el encamisado es de PVC, es preferible destruirlo mediante la reperforación del pozo.
- 2) Si no es posible extraer la tubería por completo debido a un riesgo de derrumbe del pozo o la ruptura de la tubería es necesario realizar un corte y apertura de la tubería de revestimiento, en especial en los 3 m más superficiales de pozo. El "corte y apertura de la tubería" consiste en la realización de cortes o perforaciones longitudinales (aproximadamente 10 cm abiertos cada 40 cm de tubería).
- 3) Una vez se han extraído los elementos ajenos y se han realizado los cortes o aberturas se debe bombear el pozo para extraer el agua sucia y desinfectar con una solución de hipoclorito.
- 4) Llenar el pozo con materiales sólidos inertes (agregados) para lograr una reconstitución del terreno hasta un estado similar a las condiciones geológicas originales. Para los pozos de gran diámetro se rellenará el pozo desde el fondo hasta el nivel estático máximo, mientras que en los pozos de diámetro inferior a 0,5 m se llenará desde el fondo hasta 1 m por debajo del nivel estático máximo. Esta acción sólo se podrá llevar a cabo cuando el diámetro sea superior a 2 pulgadas. El tamaño de las partículas siempre deberá ser inferior a $\frac{1}{4}$ del diámetro del pozo. El material no puede estar contaminado y debe ser geoquímicamente inerte en contacto con el agua subterránea o con los materiales geológicos presentes. Es necesario hacer un seguimiento de la operación de llenado para controlar que no se producen puentes.
- 5) Sobre el agregado se pondrá un sello de bentonita. La potencia de este sello será de 1,5 m para los pozos de diámetro inferior a 0,5 m, mientras que para los pozos de gran diámetro se permitirá una potencia mínima de 0,5 m.

6) Por encima de este sello se debe rellenar el pozo con áridos inertes hasta 1 m por debajo del nivel del terreno.

7) La clausura del tramo más superficial se puede realizar de dos maneras. Si la Administración considera que es necesaria la restauración del medio y el pozo se localiza a más de 50 m de una edificación existente, el metro más superficial se cubrirá con suelo orgánico u otro material que sirva para restaurar completamente el terreno (ver figura 6 A). Cuando el pozo se localiza a menos de 50 m de una edificación existente, o no se considere necesaria la restitución del medio, se realizará un sello con hormigón del último m, y se construirá un dado de hormigón con pendiente hacia el exterior que sobresalga un mínimo de 0,5 m por encima del terreno natural en la parte central del pozo y tenga una base de una longitud mínima de 0,5 m (ver figura 6 B).

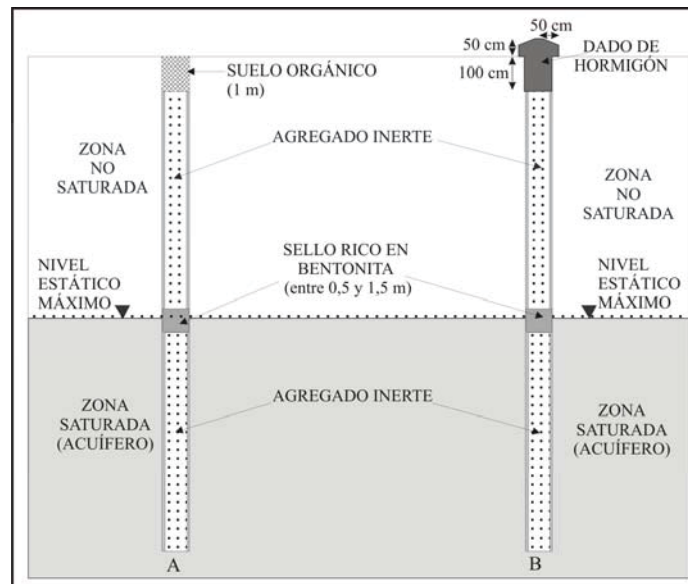


Figura 6. Esquema del procedimiento a seguir para la clausura de un pozo superficial o de acuífero único.

3.4.2.2 Clausura de pozos de acuífero multicapa.

En los casos en que el pozo explote varias capas acuíferas, y se disponga de información sobre la situación de estas capas, la clausura definitiva del pozo deberá realizarse en base a la columna litológica del pozo o disposición vertical de las capas acuíferas. Los pasos a seguir serán similares a los que se deben seguir para los pozos de acuífero único o superficial, pero será necesario la colocación de varios tapones o puentes de bentonita en función de la distribución de los estados productivos. Los pasos a seguir en estos casos serán:

1) Retirar los elementos del interior del pozo (bomba, tuberías, cables u otros elementos) que pudieran deteriorarse. Es obligatorio retirar los 3 m más superficiales de la tubería para poder hacer un tapón sanitario en, al menos, los 2 m superiores del pozo. Cuando el entubado sea de PVC, es preferible destruirlo mediante la reperforación del pozo.

2) Si no es posible extraer la tubería por completo debido a un riesgo de derrumbe del pozo o de ruptura de la tubería es necesario realizar un corte y apertura de la tubería de revestimiento. El corte o apertura será necesaria en los 3 m más superficiales de pozo y en aquellos sectores que deben ser sellados con bentonita (básicamente los techos de las capas acuíferas).

El corte y apertura de la tubería consiste en la realización de cortes o perforaciones longitudinales, (aproximadamente 10 cm abiertos cada 40 cm de tubería).

3) Una vez se han extraído los elementos ajenos y se han realizado los cortes o aberturas se debe bombear el pozo para extraer el agua sucia y desinfectarlo con una solución de hipoclorito.

4) Llenar el pozo con materiales sólidos inertes (agregados), desde el fondo hasta 1 m por debajo del techo del primer estrato acuífero, para lograr una reconstitución del terreno hasta un estado similar a las condiciones geológicas originales. Esta acción sólo se podrá llevar a cabo cuando el diámetro sea superior a 2 pulgadas. El tamaño de las partículas siempre deberá ser inferior a $\frac{1}{4}$ del diámetro del pozo. El material no puede estar contaminado y debe ser geoquímicamente inerte en contacto con el agua subterránea o con los materiales geológicos presentes. Es necesario hacer un seguimiento de la operación de llenado para controlar que no se producen puentes.

5) Sobre el agregado se pondrá un sello de cemento rico en bentonita de un mínimo de 0,5 m de potencia.

6) Después de sello se debe repetir el paso 4 (rellenar el pozo con agregado hasta 1 m por debajo del siguiente estrato acuífero), y seguidamente el paso 5 (llevar a cabo un sello de cemento rico en bentonita con un mínimo de 0,5 m de potencia). Los pasos 4 y 5 se deberán repetir tantas veces como acuíferos existan en la vertical de la perforación. Esta acción permitirá aislar los diversos acuíferos entre ellos y evitar la contaminación vertical entre cada uno de los acuíferos que atravesase el pozo.

7) Por encima del último sello de bentonita (el que se corresponde con el acuífero más superficial) se debe rellenar el pozo con áridos inertes hasta 1 m por debajo del nivel del terreno.

8) Como en el caso anterior, la clausura del tramo más superficial se puede realizar de dos maneras. Si la Administración considera que es necesaria la restauración del medio y el pozo se localiza a más de 50 m de una edificación existente, el m más superficial se cubrirá con suelo orgánico u otro material que sirva para restaurar completamente el terreno (ver figura 7 A). Cuando el pozo se localiza a menos de 50 m de una edificación existente, o no se considere necesaria la restitución del medio, se realizará un sello con hormigón del último m, y se construirá un dado de hormigón con pendiente hacia el exterior que sobresalga un mínimo de 0,5 m por encima del terreno natural en la parte central del pozo y tenga una base de una longitud mínima de 0,5 m (ver figura 7 B).

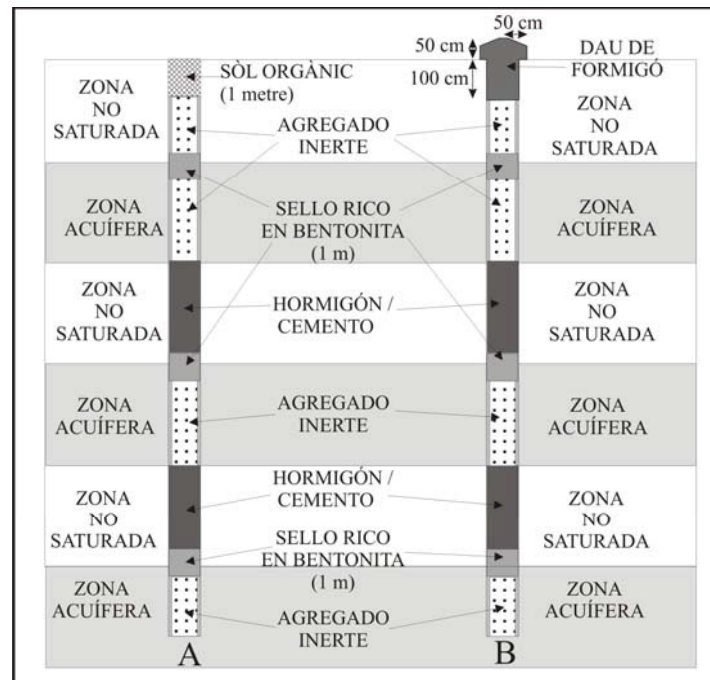


Figura 7. Esquema del procedimiento a seguir para la clausura de un pozo en acuífero multicapa.

3.4.2.3 Clausura de pozos en terrenos no consolidados

En aquellos casos en que el terreno no está bien consolidado el primer paso es la retirada de los elementos del interior del pozo, que se limitará a la extracción de la bomba y demás elementos ajenos, no siendo necesaria la extracción de la tubería. Los pasos a realizar son:

- 1) Retirar los elementos del interior del pozo (bomba, cables u otros elementos) que pudieran deteriorarse, dejando intacta la tubería de revestimiento.
- 2) Una vez se han extraído los elementos ajenos se ha de bombear el pozo para extraer el agua sucia y desinfectarlo con una solución de hipoclorito.
- 3) Una vez desinfectado deberá sellar el pozo mediante la inyección cemento rico en bentonita a presión desde el fondo hasta 1 metro de la superficie. Debido a la inestabilidad de las paredes del pozo relacionada con la naturaleza del terreno, en estos casos será necesario realizar la inyección de la pasta o cemento a la vez que se extrae la tubería de revestimiento. Así, la retirada de la tubería deberá hacer alzándose lentamente y, simultáneamente, realizar la inyección de la pasta de cemento desde el fondo del pozo mediante una tubería auxiliar. En esta operación hay que tener la precaución de que siempre el nivel del cemento inyectado se mantenga por dentro de la camisa, es decir el nivel del cemento debe estar a una cota más alta que la parte más baja de la tubería que se retira. Para que esta operación se realice con éxito será necesario estimar el volumen de material necesario para rellenar la captación y prepararlo previamente a la retirada de la tubería. Cuando no es posible retirar la tubería, se efectuará el corte para la apertura de la camisa y el posterior llenado con material cementante y la construcción del tapón superficial.
- 4) La clausura del último m de la captación también podrá realizarse de dos maneras. Si la Administración considera que es necesaria la restauración del medio y el pozo se localice a más de 50 m de una edificación existente, el m más superficial se cubrirá con suelo orgánico u otro material que sirva para restaurar completamente el terreno. Cuando el pozo se localiza a menos de 50 metros de una edificación existente, o no se considere necesaria la restitución del medio, se realizará un sello con hormigón del último m, y se construirá un dado de hormigón con pendiente hacia el exterior que sobresalga un mínimo de 0,5 m por encima del terreno natural.

Si se dispone de información precisa y suficiente de la profundidad y espesor de cada acuífero atravesado, es posible colocar arenas o gravas limpias en cada zona acuífera e instalar únicamente material sellante impermeable entre los acuíferos, con cuidado que cada sello sobrepase en ambos extremos al menos 0,5 m los límites de cada nivel acuífero. Para evitar obstrucciones o puentes el vertido del agregado se hará poco a poco, siendo necesario controlar la evolución del relleno y de verificación de no formación de puentes.

3.4.2.4. Clausura de pozos en terrenos con fracturación leve

Cuando el terreno presenta una fracturación leve las operaciones a realizar serán iguales a las realizadas para pozos en acuíferos multicapa (apartado 3.4.2.2). Por lo tanto en el primer paso será necesario retirar la tubería del pozo y luego a inyectar el material cementante, no siendo

necesario en este caso que ambas operaciones sean simultáneas. Si no es posible retirar la camisa, igualmente se procede a la inyección del material cementante, no siendo necesaria la operación de corte y apertura de la tubería en todo su recorrido.

En cualquier caso siempre es necesario cortar y extraer los 3 m de la tubería más superficiales y colocar el tampón superficial como en el resto de captaciones. Como en el resto de casos la clausura del último metro de la captación también podrá realizarse de dos maneras. Si la Administración considera que es necesaria la restauración del medio y el pozo se localice a más de 50 metros de una edificación existente, el m más superficial se cubrirá con suelo orgánico u otro material que sirva para restaurar completamente el terreno. Cuando el pozo se localiza a menos de 50 m de una edificación existente, o no se considere necesaria la restitución del medio, se realizará un sello con hormigón del último m, y se construirá un dado de hormigón con pendiente hacia el exterior que sobresalga un mínimo de 0,5 m por encima del terreno natural en la parte central del pozo y tenga una base de una longitud mínima de 0,5 m.

3.4.2.5. Clausura de pozos en terrenos muy fracturados o carstificados

En este caso, además de las tareas iniciales de medición de nivel estático del agua y profundidad del pozo, será necesario verificar también a qué profundidad empieza la cavidad cárstica o la zona de gran fracturación, para adecuar las operaciones a realizar dentro del pozo. En esta tipología de pozo por sus características geológicas y el tamaño de los huecos, a menudo no resulta fácil o posible el relleno completo de la perforación. Pero a pesar de ello hay dos posibles alternativas que son:

- a) Relleno de la cavidad con clastos no contaminados de gran tamaño.
- b) Inserción de un tampón u obturador ("packer") justo encima del comienzo de la zona de fractura o el karst.

En ambos casos, hay que colocar un tapón de hormigón por encima de la zona carstificada de al menos 1 m de espesor. El resto del sondeo se clausurará de acuerdo con los procedimientos ya descritos, que estarán en función de las características del pozo y del terreno. En cualquier caso siempre es necesario cortar y extraer los 3 m de tubería más superficiales y colocar el tampón superficial como en el resto de captaciones.

3.4.2.6. Clausura de pozos surgentes

En aquellos casos en que el nivel piezométrico del pozo sea superior a la cota de la boca del pozo, es decir cuando el pozo sea manantial, será necesario reducir la presión del agua y detener el flujo ascendente de la misma. Esto se puede conseguir de dos formas:

- a) Poner clastos al fondo con diám de partículas menores a $\frac{1}{4}$ del diámetro del pozo.

b) Mediante un obturador o "packer" que se ajuste al diámetro del pozo y quede a la mayor profundidad posible por encima de la zona de aportación de agua, para interrumpir o disminuir el caudal de surgencia.

Si con ninguno de estos dos métodos se consigue reducir la presión ascendente del agua, será necesario extraer parcialmente la tubería de revestimiento por encima de la superficie del terreno a efectos de que el nivel estático quede dentro de la tubería, y así poder proceder a su sellado.

Una vez contenida la surgencia de agua, se procederá al sellado del pozo, de acuerdo con lo expuesto en los puntos anteriores en función de la tipología de terreno y acuífero. Las mezclas sellantes deben prepararse con el mínimo de agua posible para evitar la dilución antes del fraguado y se colocarán de forma inmediata a su preparación en una maniobra continua sin interrupciones.

3.4.2.7. Clausura de pozos de naturaleza no conocida.

En muchos casos la información disponible sobre la captación es bastante limitada y no es posible hacer un proyecto de clausura de pozo relacionado con las características de la captación. Así es muy probable que se desconozca si el pozo está entubado o no, y cuál es la situación de las zonas acuíferas. En estos casos, y debido a que la captación puede comunicar varias zonas acuíferas con niveles piezométricos o cualidades diferentes, será necesario clausurar el pozo de manera que se asegure la no conexión entre acuíferos. Los pasos a seguir serán:

- 1) Retirar los elementos del interior del pozo (bomba, tuberías, cables u otros elementos) que pudieran deteriorarse. Es obligatorio retirar los restos superficiales de la tubería para poder hacer un tapón sanitario al menos en los 2 superiores del pozo. Cuando el encamisado es de PVC, es preferible destruirlo mediante la reperforación del pozo.
- 2) Una vez se han extraído los elementos ajenos se ha de bombear el pozo para extraer el agua sucia y desinfectar con una solución de hipoclorito.
- 3) Una vez desinfectado deberá sellar el pozo mediante la inyección de cemento con bentonita a presión desde el fondo hasta 2 m de la superficie. En esta operación será necesario usar una tubería auxiliar para inyectar el cemento.
- 4) La clausura de los últimos 2 m de la captación también podrá realizarse de dos maneras. Si la Administración considera que es necesaria la restauración del medio y el pozo se localiza a más de 50 m de una edificación existente, el m más superficial se cubrirá con suelo orgánico u otro material que sirva para restaurar completamente el terreno (ver figura 8 A). Cuando el pozo se localiza a menos de 50 m de una edificación existente, o no se considere necesaria la restitución del medio, se realizará un sello con hormigón del último m, y

se construirá un dado de hormigón con pendiente hacia el exterior que sobresalga un mínimo de 0,5 m por encima del terreno natural en la parte central del pozo y tenga una base de una longitud mínima de 0,5 m (ver figura 8 B).

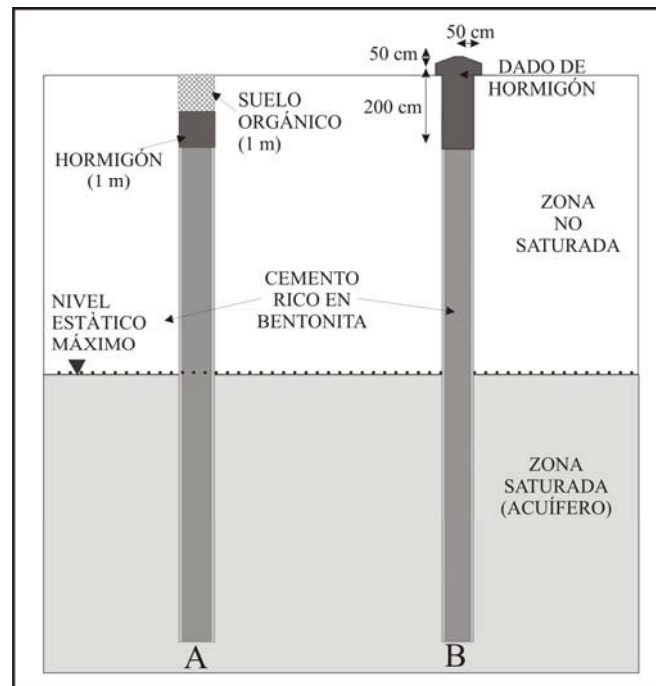


Figura 8: Esquema del procedimiento a seguir para la clausura de un pozo de características desconocidas.

3.5. INFORME FINAL

Como finalización de las tareas de clausura la empresa encargada de la obra deberá elaborar un informe final de las tareas realizadas que debe ser remitido al propietario del pozo ya la Autoridad Hidráulica. Este informe pasará a formar parte del expediente de clausura de pozo y debe contener la siguiente información:

- a) Ubicación exacta del pozo en el mapa de detalle.
- b) Datos recopilados sobre el pozo.

- c) materiales y métodos utilizados para su clausura.
- d) Procedimientos realizados.
- e) Fotografías del pozo y su entorno inmediato antes, durante y después de la actuación.

ANEXO 3. NORMAS DE CALIDAD DE LAS AGUAS POR USO Y NORMAS DE CALIDAD AMBIENTAL

El contenido de este anejo es un resumen de la normativa aplicable en cuanto a calidad de las aguas a fecha de la publicación del Plan Hidrológico de Illes Balears.

APARTADO A. RESUMEN NORMATIVO DE CALIDAD DE LAS AGUAS SEGÚN SU USO

| | Uds | RTS POTABLES (1) | CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES PARA CONSUMO HUMANO (2) | | | VIDA PISCÍCOLA (3) | CRIA MOLUSCOS (4) | BAÑO (5) | |
|-------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------|-------|----------|--------------------------|-------------------------|---------------|--------------------------|
| | | | A1 | A2 | A3 | | | Continentales | Costeras y transición |
| Acrilamida | µg/l | 0,10 | - | - | - | - | - | - | - |
| Alquitrán | Inspección visual | - | - | - | - | sin resultado | - | - | - |
| Aluminio | µg/l | 200 | - | - | - | - | - | - | - |
| Amoniaco | µg/l | - | (50) | 1500 | 4000 | 25 (5) | - | - | - |
| Amonio (NH4) | µg/l | 500 | (50) | 1500 | 4000 (O) | 1000 (200) | - | - | - |
| Antimonio | µg/l | 5 | - | - | - | - | - | - | - |
| Arsénico | µg/l | 10 | 50 | 50 | 100 | - | - | - | - |
| Bacterias coliformes | UFC/100ml | 0 | | | | | | | |
| Bario | µg/l | - | 100 | 1000 | 1000 | - | - | - | - |
| Benceno | µg/l | 1 | - | - | - | - | - | - | - |
| Benzo(a)pireno | µg/l | 0,010 | - | - | - | - | - | - | - |
| Berilio | µg/l | | | | | | | | |
| Boro | µg/l | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | - | - | - | - |
| Bromato | µg/l | 10 | - | - | - | - | - | - | - |
| Cadmio | µg/l | 5 | 5 | 5 | 5 | - | - | - | - |
| Cianuro | µg/l | 50 | 50 | 50 | 50 | - | - | - | - |
| Cloro total | µg/l | - | | | | | | | |
| Cloro combinado | µg/l | 2000 | - | - | - | - | - | - | - |

| | Uds | RTS POTABLES (1) | CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES PARA CONSUMO HUMANO (2) | | | VIDA PISCÍCOLA (3) | CRIA MOLUSCOS (4) | BAÑO (5) | |
|---------------------------------------------|--------------|---------------------|-----------------------------------------------------------|---------|----------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | | A1 | A2 | A3 | | | Continentales | Costeras y transición |
| residual | | | | | | | | | |
| Cloro libre residual | µg/l | 1000 | - | - | - | 5 | - | - | - |
| Cloruro | mg/l | 250 | (200) | (200) | (200) | - | - | - | - |
| Cloruro de vinilo | µg/l | 0,50 | - | - | - | - | - | - | - |
| Clostridium perfringens (incluidas esporas) | UFC/100ml | 0 | - | - | - | - | - | - | - |
| Cobre | µg/l | 2000 | 50 (O) | (50) | (1.000) | 40 | - | - | - |
| Cobalto | | | | | | | | | |
| Escherichia coli | UFC/100ml | 0 | (20) | (2.000) | (20.000) | - | (<300 en carne) | <900 (p90) <1.000 (p95) | <500 (p90) <1.000 (p95) |
| Coliformes totales (37°) | UFC/100ml | 0 | (50) | (5.000) | (50.000) | | | | |
| Color | mg/l Pt/Co | 15 | 20 (O) | 100 (O) | 200 (O) | - | Incremento menor que 10 Pt | - | - |
| Conductividad | µS/cm a 20°C | 2.500 | (1000) | (1000) | (1000) | - | - | - | - |
| Cromo | µg/l | 50 | 50 | 50 | 50 | - | - | - | - |
| DBO5 | mg/l O2 | - | (3) | (5) | (7) | (6) | - | - | - |
| Detergentes | µg/l | - | (200) | (200) | (500) | - | - | - | - |
| DQO * | mg/l O2 | - | - | - | (30) | - | - | - | - |
| 1,2-Dicloroetano | µg/l | 3 | - | - | - | - | - | - | - |
| Enterococos intestinales | UFC/100ml | 0 | - | - | - | - | - | <330 (p90) <400 (p95) | <185 (p90) <200 (p95) |
| Epiclorhidrina | µg/l | 0,10 | - | - | - | - | - | - | - |

| | Uds | RTS POTABLES (1) | CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES PARA CONSUMO HUMANO (2) | | | VIDA PISCÍCOLA (3) | CRIA MOLUSCOS (4) | BAÑO (5) | |
|------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------|--------------|---------------------------|-------------------------|----------------|--------------------------|
| | | | A1 | A2 | A3 | | | Continenciales | Costeras y transición |
| Enterovirus | | | | | | | | - | - |
| Estreptococos fecales | UFC/100ml | - | (20) | (1000) | (10.000) | - | - | - | - |
| Fenoles | µg/l | - | 1 | 5 | 100 | | | - | - |
| Fluoruro | µg/l | 1.500 | 1.500 | (700/ 1.700) | (700/ 1.700) | - | - | - | - |
| Fosfatos [2] | µg/l | - | (400) | (4700) | (700) | - | - | - | - |
| Fósforo total (PO4) | µg/l | | | | | 400 | | | |
| Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPA) | µg/l | 0,10 | 0,2 | 0,2 | 1 | Sin sabor No visibles | No visibles | - | 1 |
| Hierro | µg/l | 200 | 300 | 2000 | (1000) | - | - | - | - |
| Manganeso | µg/l | 50 | (50) | (100) | (1.000) | - | - | - | - |
| Magnesio | | | | | | | | | |
| Mercurio | µg/l | 1 | 1 | 1 | 1 | - | - | - | - |
| Microcistina | µg/l | 1 | - | - | - | - | - | - | - |
| Níquel | µg/l | 20 | - | - | - | - | - | - | - |
| Nitrato | mg/l | 50 | 50 (O) | 50 (O) | 50 (O) | - | - | - | - |
| Nitritos: | µg/l | 100 (ETAP) 500 (Red) | - | - | - | (30) | - | - | - |
| Nitrogen Kjedahl | µg/l | - | 1000 | 2000 | 3000 | - | - | - | - |
| Olor | Índice de dilución | 3 a 25 °C | - | - | - | - | - | - | - |
| Oxidabilidad | µg O ₂ /l | 5000 | - | - | - | - | - | - | - |
| Oxígeno disuelto | % saturación | - | (70) | (50) | (30) | 50%>7mg/l (50%> 8mg/l) | >70% | - | - |

| | Uds | RTS POTABLES (1) | CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES PARA CONSUMO HUMANO (2) | | | VIDA PISCÍCOLA (3) | CRIA MOLUSCOS (4) | BAÑO (5) | |
|-------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------|----------|--------------------------|----------------------------|----------------|--------------------------|
| | | | A1 | A2 | A3 | | | Continenciales | Costeras y transición |
| pH: | Unidades de pH | 6,5-9,5 | 6,5-8,5 | (5,5-9) | (5,5-9) | 6-9 (O) | 7-9 | - | - |
| Plaguicidas total | µg/l | 0,50 | 1 | 2,5 | 5 | - | - | - | - |
| Plaguicida individual | µg/l | 0,10 | - | - | - | - | - | - | - |
| Aldrín | µg/l | 0,03 | - | - | - | - | - | - | - |
| Dieldrín | µg/l | 0,03 | - | - | - | - | - | - | - |
| Heptacloro | µg/l | 0,03 | - | - | - | - | - | - | - |
| Heptacloro epóxido | µg/l | 0,03 | - | - | - | - | - | - | - |
| Plomo desde 01/01/2014 | µg/l | 25 10 (01/01/2014) | 50 | 50 | 50 | - | - | - | - |
| Recuento de colonias a 22 °C | UFC /1 ml | 100 | - | - | (50.000) | - | - | - | - |
| Sabor | Índice de dilución | 3 a 25 °C | - | - | - | - | - | - | - |
| Salinidad | ‰ | - | - | - | - | - | <40‰ | - | - |
| Salmonellas | | - | Ausentes en 5000ml | Ausentes en 1000 ml | - | - | - | - | - |
| Selenio | µg/l | 10 | 10 | 10 | 10 | - | - | - | - |
| Sodio | µg/l | 200.000 | - | - | - | - | - | - | - |
| Sólidos en suspensión | mg/l | - | (25) | - | - | 25 (O) | Incremento menor al 30% | - | - |
| Sustancias que se pueden extraer con cloroformo | µg/l | - | 100 | 200 | 500 | - | - | - | - |
| Sulfato | mg/l | 250 | 250 | 250 (O) | 250 (O) | - | - | - | - |
| Temperatura | °C | - | 25 (O) | 25 (O) | 25 (O) | 28 (O) | 27 | - | - |

| | Uds | RTS POTABLES (1) | CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES PARA CONSUMO HUMANO (2) | | | VIDA PISCÍCOLA (3) | CRIA MOLUSCOS (4) | BAÑO (5) | |
|--------------------------------------------|---------|---------------------|-----------------------------------------------------------|-------|-------|--------------------------|-------------------------|---------------|--------------------------|
| | | | A1 | A2 | A3 | | | Continentales | Costeras y transición |
| Tricloroeteno + Tetracloroeteno | µg/l | 10 | - | - | - | - | - | - | - |
| Trihalometanos (THMs) | µg/l | 100 | - | - | - | - | - | - | - |
| Turbidez | UNF | 1 (ETAP) 5 (RED) | - | - | - | - | - | - | - |
| Zinc | µg/l | - | 3.000 | 5.000 | 5.000 | 1.000 | 1.000 | - | - |
| Radiactividad Dosis indicativa total | mSv/año | 0,1 | - | - | - | - | - | - | - |
| Tritio | Bq/l | 100 | - | - | - | - | - | - | - |
| Actividad a total | Bq/l | 0,1 | - | - | - | - | - | - | - |
| Actividad b total | Bq/l | 1 | - | - | - | - | - | - | - |

(1) Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

(2) Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, en el desarrollo de los títulos II y III de la Ley de Aguas. Anejo I modificado por Real Decreto 1541/1994 de 8 de julio

(O) Límites ampliables en condiciones meteorológicas o geográficas extremas

() Valores guía /indicativos

(3) Directiva 2006/44/CE del Parlamento Europeo y del consejo relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces

(O) Límites ampliables en condiciones meteorológicas o geográficas extremas

() Valores guía /indicativos

(4) Directiva 2006/113/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 6 de septiembre de 2006 relativa a la calidad exigida a las aguas para la cría de moluscos.

() Valores guía /indicativos

(5) Real Decreto 1341/2007, de 11 de octubre sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño.

p(90) Calidad buena con arreglo al percentil 90

p(95) Calidad suficiente con arreglo al percentil 90

APARTADO B. NORMAS DE CALIDAD AMBIENTAL PARA SUSTANCIAS PRIOTARIAS Y OTROS CONTAMINANTES (µg/l)

De acuerdo al Real Decreto 60/2011, de 21 de enero , sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.

| Nº PRIORT | PELIGROSA | CAS-No. | Nombre | MASAS DE AGUAS CONTINENTALES SUPERFICIALES | | | |
|-----------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| | | | | TORRENTES Y ASOCIADAS | | TRANSICIÓN Y COSTERAS | |
| | | | | Valor medio anual | Concentración máxima admisible | Valor medio anual | Concentración máxima admisible |
| 1 | | 15972-60-8 | Alacloro | 0,3 | 0,7 | 0,3 | 0,7 |
| 2 | X | 120-12-7 | Antraceno | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 0,4 |
| 3 | | 1912-24-9 | Atrazina | 0,6 | 2 | 0,6 | 2 |
| 4 | | 71-43-2 | Benceno | 10 | 50 | 8 | 50 |
| 5 | X(***) | 32534-81-9 | Difeniléteres bromados (Pentabromodifenileter) | 0,0005 | - | 0,0002 | - |
| 6 | X | 7440-43-9 | Cadmio y compuestos (Clases en función de dureza del agua)* | <0,08 (Clase 1) | <0,45 (Clase 1) | 0,2 | <0,45 (Clase 1) |
| | | | | 0,08 (Clase 2) | 0,45 (Clase 2) | | 0,45 (Clase 2) |
| | | | | 0,09 (Clase 3) | 0,6 (Clase 3) | | 0,6 (Clase 3) |
| | | | | 0,15 (Clase 4) | 0,9 (Clase 4) | | 0,9 (Clase 4) |
| | | | | 0,25 (Clase 5) | 1,5 (Clase 5) | | 1,5 (Clase 5) |
| 6bis | | 56-23-5 | Tetracloruro de carbono | 12 | - | 12 | - |
| 7 | X | 85535-84-8 | Cloroalcanos C10-13 | 0,4 | 1,4 | 0,4 | 1,4 |
| 8 | | 470-90-6 | Clorfenvinfós | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,3 |
| 9 | | 2921-88-2 | Clorpirifós | 0,03 | 0,1 | 0,03 | 0,1 |
| 9 bis | | | Plaguicidas tipo ciclodieno | Σ=0,01 | - | Σ=0,005 | - |
| 9 bis | | 309-00-2 | Aldrín ² | | | | |
| 9bis | | 60-57-1 | Dieldrín ² | | | | |
| 9 bis | | 72-20-8 | Endrín ² | | | | |
| 9 bis | | 465-73-6 | Isodrín ² | | | | |
| 9ter | | NA | DDT | 0,025 | - | 0,025 | - |
| 9 ter | | 50-29-3 | p-pDDT | 0,01 | - | 0,01 | - |

| Nº PRIORT | PELIGROSA | CAS-No. | Nombre | MASAS DE AGUAS CONTINENTALES SUPERFICIALES | | | |
|-----------|-----------|------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| | | | | TORRENTES Y ASOCIADAS | | TRANSICIÓN Y COSTERAS | |
| | | | | Valor medio anual | Concentración máxima admisible | Valor medio anual | Concentración máxima admisible |
| 10 | | 107-06-2 | 1,2-dicloroetano | 10 | - | 10 | - |
| 11 | | 75-09-2 | Diclorometano | 20 | - | 20 | - |
| 12 | | 117-81-7 | Di(2-etilhexil)ftalato (DEHP) | 1,3 | - | 1,3 | - |
| 13 | | 330-54-1 | Diurón | 0,2 | 1,8 | 0,2 | 1,8 |
| 14 | X | 115-29-7 | Endosulfán | 0,005 | 0,01 | 0,0005 | 0,004 |
| 15 | | 206-44-0 | Fluoranteno | 0,1 | 1 | 0,1 | 1 |
| 16 | X | 118-74-1 | Hexaclorobenceno | 0,01 | 0,05 | 0,01 | 0,05 |
| 17 | X | 87-68-3 | Hexaclorobutadieno | 0,1 | 0,6 | 0,1 | 0,6 |
| 18 | X | 608-73-1 | Hexaclorociclohexano | 0,02 | 0,04 | 0,002 | 0,02 |
| 19 | | 34123-59-6 | Isoproturón | 0,3 | 1 | 0,3 | 1 |
| 20 | | 7439-92-1 | Plomo y compuestos | 7,2 | - | 7,2 | - |
| 21 | X | 7439-97-6 | Mercurio y compuestos | 0,05 | 0,07 | 0,05 | 0,07 |
| 22 | | 91-20-3 | Naftaleno | 2,4 | - | 1,2 | - |
| 23 | | 7440-02-0 | Niquel y compuestos | 20 | - | 20 | - |
| 24 | X | 25154-52-3 | Nonilfenol | 0,3 | 2 | 0,3 | 2 |
| | X | 104-40-5 | 4-Nonilfenol | 0,3 | 2 | 0,3 | 2 |
| 25 | | 140-66-9 | Octilfenol | 0,1 | - | 0,01 | - |
| 26 | X | 608-93-5 | Pentaclorobenceno | 0,007 | - | 0,0007 | - |
| 27 | | 87-86-5 | Pentaclorofenol | 0,4 | 1 | 0,4 | 1 |
| 28 | X | n.a. | Hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA) | - | - | - | - |
| | X | 50-32-8 | Benzo(a)pireno | 0,05 | 0,1 | 0,05 | 0,1 |
| | X | 205-99-2 | Benzo(b)fluoranteno | $\Sigma=0,03$ | - | $\Sigma=0,03$ | - |
| | X | 207-08-9 | Benzo(k)fluoranteno | | | | |
| | X | 191-24-2 | Benzo(g,h,i)perileno | $\Sigma=0,0002$ | - | $\Sigma=0,0002$ | - |
| | X | 193-39-5 | Indeno (1,2,3-cd) pireno | | | | |
| 29 | | 122-34-9 | Simazina | 1 | 4 | 1 | 4 |

| Nº PRIOR | PELIGROSA | CAS-No. | Nombre | MASAS DE AGUAS CONTINENTALES SUPERFICIALES | | | |
|----------|-----------|------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| | | | | TORRENTES Y ASOCIADAS | | TRANSICIÓN Y COSTERAS | |
| | | | | Valor medio anual | Concentración máxima admisible | Valor medio anual | Concentración máxima admisible |
| 29bis | | 127-18-4 | Tetracloroetileno | 10 | - | 10 | - |
| 29ter | | 79-01-6 | Tricloroetileno | 10 | - | 10 | - |
| 30 | X | 36643-28-4 | Compuestos de tributilestaño (catión de tributilestaño) | 0,0002 | 0,0015 | 0,0002 | 0,0015 |
| 31 | | 12002-48-1 | Triclorobencenos (todos los isómeros) | 0,4 | - | 0,4 | - |
| 32 | | 67-66-3 | Triclorometano (cloroformo) | 2,5 | - | 2,5 | - |
| 33 | | 1582-09-8 | Trifuralina | 0,03 | - | 0,03 | - |

* Clases en función de la concentración de Ca CO₃

Clase 1 <40 ppm

Clase 2 de 40 a 5 ppm

Clase 3 de 50 a 100 ppm

Clase 4 de 100 a 200 ppm

Clase 5 > 400 ppm

APARTADO C. NORMAS DE CALIDAD AMBIENTAL PARA SUSTANCIAS PREFERENTES (µg/l)

De acuerdo al Real Decreto 60/2011, de 21 de enero , sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.

| Nº Pref | CAS-No. | Nombre | MASAS DE AGUAS CONTINENTALES SUPERFICIALES | | | |
|---------|------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| | | | TORRENTES, LAGOS Y ASOCIADAS | | TRANSICIÓN Y COSTERAS | |
| | | | Valor medio anual | Concentración máxima admisible | Valor medio anual | Concentración máxima admisible |
| 1 | 100-41-4 | Etilbenceno | 30 | - | 30 | - |
| 2 | 108-88-3 | Tolueno | 50 | - | 50 | - |
| 3 | 71-55-6 | 1,1,1-Tricloroetano | 100 | - | 100 | - |
| 4 | 1330-20-7 | Xileno (suma de isómeros) | 30 | - | 30 | - |
| 5 | 5915-41-3 | Terbutilazina | 1 | - | 1 | - |
| 6 | 7440-31-5 | Arsénico total | 50 | - | 25 | - |
| 7 | 7440-50-8 | Cobre disuelto (Clases en función de dureza del agua)* | 5 | - | 25 | - |
| | | | 22 | - | | - |
| | | | 40 | - | | - |
| | | | 120 | - | | - |
| 8 | | Cromo VI | 5 | - | 5 | - |
| 9 | 7440-47-3 | Cromo total disuelto | 50 | - | - | - |
| 10 | 7782-49-2 | Selenio | 1 | - | 10 | - |
| 11 | 7440-66-6 | Zinc total | 30 | - | 60 | - |
| | | | 200 | - | - | - |
| | | | 300 | - | - | - |
| | | | 500 | - | - | - |
| 12 | 74-90-8 | Cianuros totales | 40 | - | - | - |
| 13 | 16984-48-8 | Fluoruros | 1700 | - | - | - |
| 14 | 108-90-7 | Clorobenceno | 20 | - | - | - |
| 15 | 25321-22-6 | Diclorobenceno (suma isómeros) | 20 | - | - | - |
| 16 | 51218-45-2 | Metolacoloro | 1 | - | - | - |

* Clases en función de la concentración de CaCO₃

Clase 1 <10ppm Clase 3 de 50 a 100 ppm

Clase 2 de 10 a 50 ppm Clase 4 > 100 ppm

APARTADO D. RELACIÓN DE SUSTANCIAS CONTAMINANTES

1. Compuestos organohalogenados y sustancias que puedan dar origen a compuestos de esta clase en el medio acuático.
2. Compuestos organofosforados.
3. Compuestos organoestánicos.
4. Sustancias y preparados, o productos derivados de ellos, cuyas propiedades cancerígenas, mutágenas o que puedan afectar a la tiroides, esteroidogénica, a la reproducción o a otras funciones endocrinas en el medio acuático o a través del medio acuático estén demostradas.
5. Hidrocarburos persistentes y sustancias orgánicas tóxicas persistentes y bioacumulables.
6. Cianuros.
7. Metales y sus compuestos.
8. Arsénico y sus compuestos.
9. Biocidas y productos fitosanitarios.
10. Materias en suspensión.
11. Sustancias que contribuyen a la eutrofización (en particular nitratos y fosfatos).
12. Sustancias que ejercen una influencia desfavorable sobre el balance de oxígeno (y computables mediante parámetros tales como DBO o DQO).

ANEXO 4. SISTEMAS AUTÓNOMOS DE DEPURACIÓN

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 2 |
| 2. DEPURACIÓN AUTÓNOMA Y FASES DE TRATAMIENTO..... | 2 |
| 3. SISTEMAS DE DEPURACIÓN..... | 3 |
| 3.1. DISPOSITIVOS DE PRETRATAMIENTO | 3 |
| 3.1.1. <i>Rejas de desbaste</i> | 3 |
| 3.1.2. <i>Separadores de grasas</i> | 4 |
| 3.1.3. <i>Tanques de pretratamiento externos</i> | 5 |
| 3.2. EQUIPOS DE DEPURACIÓN COMPACTOS | 5 |
| 3.2.1. <i>Tanque Imhoff</i> | 6 |
| 3.2.2. <i>Fosa séptica</i> | 7 |
| 3.2.3. <i>Fosa séptica con filtro percolador</i> | 8 |
| 3.2.4. <i>Fosa de oxidación total</i> | 9 |
| 3.2.5. <i>Recomendaciones para la instalación</i> | 11 |
| 3.3. SISTEMAS NATURALES DE DEPURACIÓN | 12 |
| 3.3.1. <i>Humedales artificiales de flujo superficial</i> | 13 |
| 3.3.2. <i>Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (FSH)</i> | 15 |
| 3.3.3. <i>Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical (FSV)</i> | 17 |
| 3.3.4. <i>Lagunaje artificial</i> | 20 |
| 3.4. SISTEMAS DE DESINFECCIÓN | 23 |
| 4. SISTEMAS DE EVACUACIÓN..... | 24 |
| 4.1. INFILTRACIÓN POR ZONA VERDE | 24 |
| 4.2. ZANJAS DE INFILTRACIÓN | 25 |
| 5. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE DEPURACIÓN AUTÓNOMO | 29 |
| 5.1. SISTEMA DE DEPURACIÓN..... | 29 |
| 5.2. SISTEMA DE EVACUACIÓN..... | 30 |
| 5.3. NORMAS DE SEGURIDAD Y SALUD | 30 |

| | |
|-------------------------------------------------------------|----|
| TABLA 1. CÁLCULO DEL NÚMERO DE HABITANTES EQUIVALENTES..... | 32 |
|-------------------------------------------------------------|----|

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLA 2. POSIBLES COMBINACIONES PARA DISEÑO DEL SISTEMA DE DEPURACIÓN QUE NO PREVEAN LA EJECUCIÓN DE SISTEMAS DE DEPURACIÓN NATURALES | 32 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

1. INTRODUCCIÓN

El objeto de este apéndice es establecer una guía, para el diseño y la instalación de sistemas de saneamiento domestico autónomo.

Dicha guía podrá ser usada tanto por arquitectos e ingenieros como por los instaladores, respectivamente para la redacción de proyectos de sistemas de saneamiento domestico autónomo y para la ejecución los mismos.

La evacuación de las aguas residuales de tipo doméstico, mediante descarga a un sistema de alcantarillado sanitario, no siempre es técnicamente factible debido a factores como topografía accidentada, población bastante dispersa, caudal insuficiente para realizar la evacuación mediante un sistema hidráulico adecuado, etc.

En dichos casos, es necesario instalar unidades específicas de tratamiento y evacuación para evitar la contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua potable.

La fuerte presión antrópica provocada por las actividades humanas (vertidos de aguas residuales, uso masivo de fertilizantes nitrogenados, gestión de purines en explotaciones agrícolas etc.) ha llevado a que la Unión Europea elaborase la Directiva 91/676/CEE, relativa a la protección de las aguas en contra de la contaminación producidas por nitratos utilizados en agricultura, transpuesta a la legislación española a través del Real Decreto 261/1996. En varios acuíferos del territorio Balear se excede el límite de 50 mg/l, fijado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el agua de consumo humano (límite que administraciones como la Agencia para la Protección del Medio Ambiente Norteamérica (EPA) sitúa en 10 mg/l de nitrato). Además existen zonas de Baleares donde incluso se alcanzan concentraciones de nitratos de 400 mg/l.

El consumo de agua con una concentración alta de nitratos tiene efectos nocivos sobre la salud. Los nitratos ingeridos son transformados en nitritos en el sistema digestivo y éstos transforman la hemoglobina en metahemoglobina, incapaz de transportar oxígeno. Aunque la formación de metahemoglobina es un proceso reversible puede llegar a provocar la muerte, especialmente en niños. Asimismo, los nitratos pueden formar nitrosaminas y nitrosamidas, compuestos potencialmente cancerígenos.

Ante estos riesgos los sistemas de saneamiento, además de prevenir la contaminación biológica, deben prevenir la contaminación por nitratos. Por ello, para las zonas más sensibles a la contaminación de acuíferos (zonas vulnerables a nitratos, perímetros de protección de pozos de

abastecimiento urbanos y zonas con vulnerabilidad del acuífero alta), se ha optado por establecer normas más restrictivas, marcando un límite máximo de concentración de nitrógeno total en el efluente depurado.

2. DEPURACIÓN AUTÓNOMA Y FASES DE TRATAMIENTO

En la depuración autónoma, entendida como la depuración de pequeños caudales de aguas residuales domésticas (o asimilables) provenientes de instalaciones aisladas, se pueden distinguir las siguientes fases tratamiento:

- Pretratamiento. Se realiza mediante un dispositivo que permite separar del efluente, restos sólidos voluminosos y sustancias en suspensión como grasas y aceites.
- Tratamiento primario. Se realiza mediante equipos compactos y permite eliminar la carga contaminante en suspensión. Durante esta fase, los procesos de depuración se realizan en condiciones anaeróbicas.
- Tratamiento secundario. Se realiza bien mediante equipos compactos o bien mediante sistemas naturales y permite eliminar la carga contaminante disuelta. Durante esta fase, los procesos de depuración se realizan en condiciones aeróbicas y anaeróbicas.
- Tratamiento terciario. Se realiza mediante un dispositivo que permite eliminar los microorganismos patógenos que sobreviven a las fases de tratamiento anteriores.
- Evacuación. Mediante infiltración por zona verde o zanja de infiltración. El primero se realiza mediante un sistema de riego superficial o subsuperficial, mientras que el segundo se realiza mediante un sistema de evacuación subterráneo. Los dos permiten realizar una ulterior depuración biológica del efluente y en el caso de la infiltración por zona verde, se realiza una reducción de Nitrógeno en el vertido por la absorción del mismo por parte de las plantas.

En los siguientes capítulos se describen los sistemas de depuración más comunes. Para cada uno de ellos se describen las características geométricas o los rendimientos que deben cumplir, y se especifican las recomendaciones para su instalación.

3. SISTEMAS DE DEPURACIÓN

Los sistemas de depuración son instalaciones que depuran las aguas residuales, mediante la realización de una o más fases de tratamiento conjuntas. Pueden estar constituidos por dispositivos prefabricados, equipos compactos prefabricados y sistemas naturales realizados en obra.

Los sistemas de depuración se pueden agrupar en las siguientes categorías:

1. Dispositivos de pretratamiento como: rejas de desbaste, separadores de grasas y tanques de pretratamiento.
2. Equipos de depuración compactos como: tanque Imhoff y fosa séptica (realizan un tratamiento primario); o como fosa séptica con filtro percolador y fosa de oxidación total (realizan un tratamiento primario más un tratamiento secundario). Además pueden llevar integrado un dispositivo de pretratamiento.
3. Sistemas de depuración naturales. Realizan un tratamiento secundario, por lo tanto deben estar precedidos por un dispositivo de pretratamiento más un equipo de depuración compacto que realice al menos un tratamiento primario.
4. Dispositivos de desinfección.

3.1. DISPOSITIVOS DE PRETRATAMIENTO

Son dispositivos que deben instalarse aguas arriba del equipo de depuración compacto. Se trata de rejas y separadores de grasas.

3.1.1. Rejas de desbaste

Tienen por objetivo separar toda la materia sólida superior a un tamaño determinado que podría ser perjudicial para los equipos de depuración compactos o para los sistemas de depuración naturales, por eso deben situarse aguas arriba de éstos.

Algunos equipos de depuración compactos llevan integrado un tanque de pretratamiento, que permite la separación de la materia sólida de forma que no es necesaria la instalación una reja de desbaste.

La capacidad y la medida de la luz del enrejado dependerán del sistema general de depuración utilizado.

Estos dispositivos deben revisarse y limpiarse periódicamente, ya que un eventual atasco colapsaría todo el sistema de depuración.

Para viviendas se desaconseja la instalación de rejillas de desbaste. En estos casos es apropiada la instalación de un tanque de pretratamiento externo (ver 3.1.3.).

En caso de instalaciones en restaurantes, hoteles y similares, y en general cuando el contenido de materia sólida es importante, se desaconseja la instalación de rejillas de desbaste. En su lugar se aconseja la instalación de filtros de tamiz en los desagües de las cocinas, además de un tanque de pretratamiento externo, que resulta obligatorio también para los equipos de depuración con tanque de pretratamiento integrado.

3.1.2. Separadores de grasas

Son dispositivos diseñados para retener las grasas y los aceites contenidos en las aguas residuales.

Los separadores de grasas externos deben situarse tan cerca como se pueda del origen de las grasas (menos de 2 m de la edificación), libre de cualquier carga rodante o estática, y deberá ser accesible para poder llevar a cabo su mantenimiento. Se situará sobre un cojín de arena de 10 cm de grosor para conseguir estabilidad.

La abertura de control y vaciado debe ser del orden de 600 mm de diámetro.

El volumen del tanque del separador de grasas va en función del tipo de actividad y de su magnitud.

Para viviendas unifamiliares, el volumen mínimo del tanque de desengrase debe ser de unos 200 l cuando el agua sólo provenga de la cocina.

En el caso de restaurantes, debe calcularse en función del número de comidas previstas y de la capacidad máxima del local.

El separador ha de ser revisado periódicamente y limpiado tantas veces como sea necesario.

Algunos equipos de depuración compactos llevan integrado un tanque de pretratamiento integrado, que permite la separación de la materia sólida, lo cual no hace necesaria la instalación de separadores de grasas.

Sin embargo, para restaurantes, hoteles y similares, y en general cuando el contenido de materia grasas y aceites vertido es importante, la instalación de separadores de grasas externos es obligatoria también para los equipos de depuración con tanque de pretratamiento integrado.

3.1.3. Tanques de pretratamiento externos

Son dispositivos diseñados para retener las grasas y los aceites, y separar la materia sólida que podría ser perjudicial para los equipos de depuración compactos o para los sistemas de depuración naturales.

La instalación de un tanque de pretratamiento sustituiría a la vez la instalación de una reja de desbaste y un separador de grasas.

El tanque de pretratamiento externo debe conectarse al conducto general de evacuación y deberá ser accesible para poder llevar a cabo su mantenimiento. A tal efecto la abertura de control y vaciado debe ser del orden de 600 mm de diámetro.

El volumen del tanque de pretratamiento va en función del tipo de actividad y de su magnitud.

En el caso de restaurantes, debe calcularse en función del número de comidas previstas y de la capacidad máxima del local.

Para viviendas individuales, el volumen mínimo del tanque de pretratamiento deberá ser de al menos 1000 l.

Debe ser revisado periódicamente y limpiado tantas veces como sea necesario.

Algunos equipos de depuración compactos llevan integrado un pequeño tanque de pretratamiento, que permite retener las grasas y los aceites, y separar la materia sólida, lo cual no hace necesaria la instalación de un tanque de pretratamiento externo.

Sin embargo, para restaurantes, hoteles y similares, y en general cuando el contenido de materia grasas y aceites vertido es importante, la instalación de tanques de pretratamiento externos es obligatoria también para los equipos de depuración con tanque de pretratamiento integrado.

3.2. EQUIPOS DE DEPURACIÓN COMPACTOS

Son instalaciones para la depuración de aguas residuales domésticas, que reproducen de forma concentrada, en un espacio limitado, un tratamiento primario (tanque Imhoff y fosa séptica) o un tratamiento primario más un tratamiento secundario (fosa séptica con filtro percolador y fosa séptica de oxidación total). Normalmente son soterrados, prefabricados y se montan en destino.

De acuerdo con la Directiva 89/106/CEE de Productos de Construcción: *“Los productos de construcción sólo podrán comercializarse si son idóneos para el uso al que se destinan. A este respecto, deberán permitir la construcción de obras que cumplan, durante un período de vida económicamente razonable, los requisitos esenciales en materia de resistencia mecánica y estabilidad, seguridad en caso de incendio, higiene, salud y medio ambiente, seguridad de utilización, protección contra el ruido, ahorro energético y aislamiento térmico, establecidos en el Anexo I de la Directiva”.*

Según el Anexo II, “Normas armonizadas con la Directiva 89/106/CEE de Productos de Construcción”, de la Resolución de 21 de diciembre de 2009 (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio - Dirección General de Industria - B.O.E. Nº 10 de 12/01/2010) - para Pequeñas instalaciones de depuración de aguas residuales (fosas sépticas) para poblaciones de hasta 50 habitantes equivalentes, la fecha de entrada en vigor del marcado CE es el 1-12-2005.

Debido a lo anterior, solo se permite la instalación de equipos de depuración con marcado CE.

3.2.1. Tanque Imhoff

Este equipo realiza un tratamiento primario del efluente. Está constituido por una cámara o cámaras superiores por las cuales pasan las aguas negras en su período de sedimentación, además de otra cámara inferior donde la materia sólida recibida por gravedad sedimenta para su digestión anaeróbica.

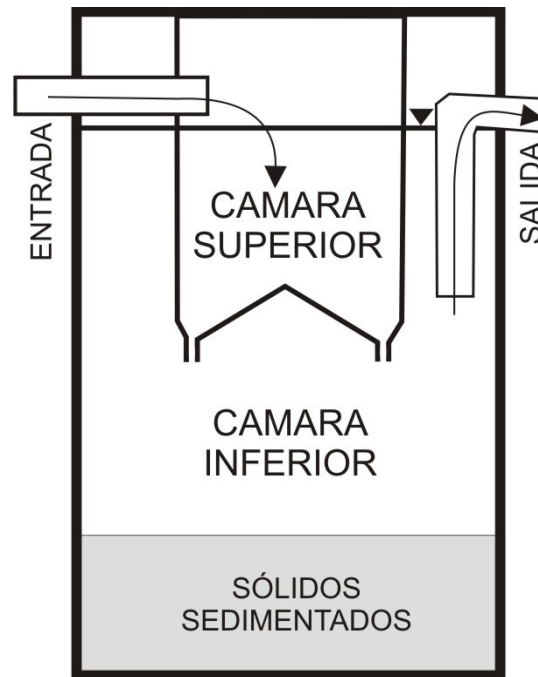


Figura 1.- Tanque Imhoff

Para una vivienda con una capacidad máxima de seis personas el volumen mínimo de la cámara inferior debe ser de 1.500 l y se aumentará en 250 l por cada habitante equivalente adicional.

3.2.2. Fosa séptica

Este dispositivo realiza un tratamiento primario del efluente. Generalmente está formado por dos compartimientos: un decantador donde tienen lugar los procesos de decantación, y un digestor donde tienen lugar los procesos de fermentación.

En el decantador, tiene lugar la decantación y sedimentación, así como el descenso de la velocidad de entrada de las aguas residuales. La materia más pesada se deposita en el fondo y la materia más ligera, asciende a la superficie dando lugar a una capa de espuma.

Tanto los sólidos sedimentados como la materia orgánica disuelta se descomponen por la acción de bacterias y hongos. Esta descomposición genera un ligero burbujeo de gases a través del líquido que puede obstaculizar la decantación de los sólidos, por lo que el equipo está dotado de un segundo compartimiento donde se dan unas mejores condiciones para la decantación.

En el digestor, se producen los procesos de fermentación en unas condiciones anaerobias, es decir, sin presencia de oxígeno las bacterias anaerobias se encargan de metabolizar la materia orgánica, gasificando, hidrolizando y mineralizando.

La materia orgánica que queda retenida en la parte inferior del tanque sufre un proceso de descomposición anaeróbica y facultativa que desprende dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y sulfuro de hidrógeno (H_2S).

A pesar de la generación de estos gases no existen olores, debido a que el sulfuro de hidrógeno se combina con los metales presentes en los sólidos sedimentados dando lugar a la formación de sulfuros metálicos insolubles.

Si se producen olores es un síntoma de que se ha perdido el equilibrio biológico de la biomasa que trabaja en ella en beneficio de las bacterias acidófilas, que producen excesivos sulfuros de hidrógeno e impiden la degradación natural. En ese caso es necesario aplicar un activador biológico ya que en esas condiciones la fosa no trabaja y la materia orgánica se acumula (sin convertirse en gases) llenando rápidamente el equipo.

Aunque la descomposición anaeróbica y facultativa, reduce permanentemente el volumen de la materia sólida acumulada en el fondo del tanque hay una acumulación de fangos que conviene mantener para asegurar la actividad biológica en el dispositivo.

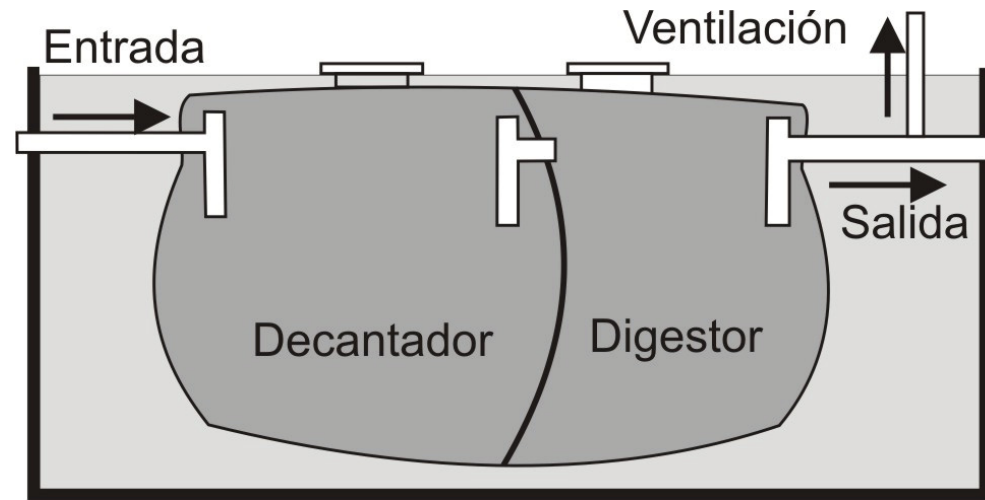


Figura 2. Fosa séptica.

El volumen mínimo de la fosa séptica será de 3.000 l para una vivienda con una capacidad máxima de seis personas. El volumen se aumentará en 500 l por cada habitante equivalente adicional.

3.2.3. Fosa séptica con filtro percolador

Este equipo realiza un tratamiento primario y un tratamiento secundario. Tras la realización del tratamiento primario, el efluente pasa al filtro percolador. En esta fase el efluente se reparte por encima de un volumen de un material inerte—normalmente, figuras de plástico de alta superficie de contacto o gravas de una granulometría determinada—sobre cuya superficie se forma una película biológica que metaboliza la materia orgánica que transportan las aguas residuales. El flujo de aire que pasa entre el material inerte puede provenir de un tiro natural o forzado.

En el mercado hay distintas combinaciones prefabricadas, como el conjunto decantador-digestor-filtro percolador. En algunos casos se incluye un clarificador.

Esta tipología de equipo no es recomendable en actividades estacionales o de temporada, en las que es apropiada la instalación de una fosa de oxidación total.

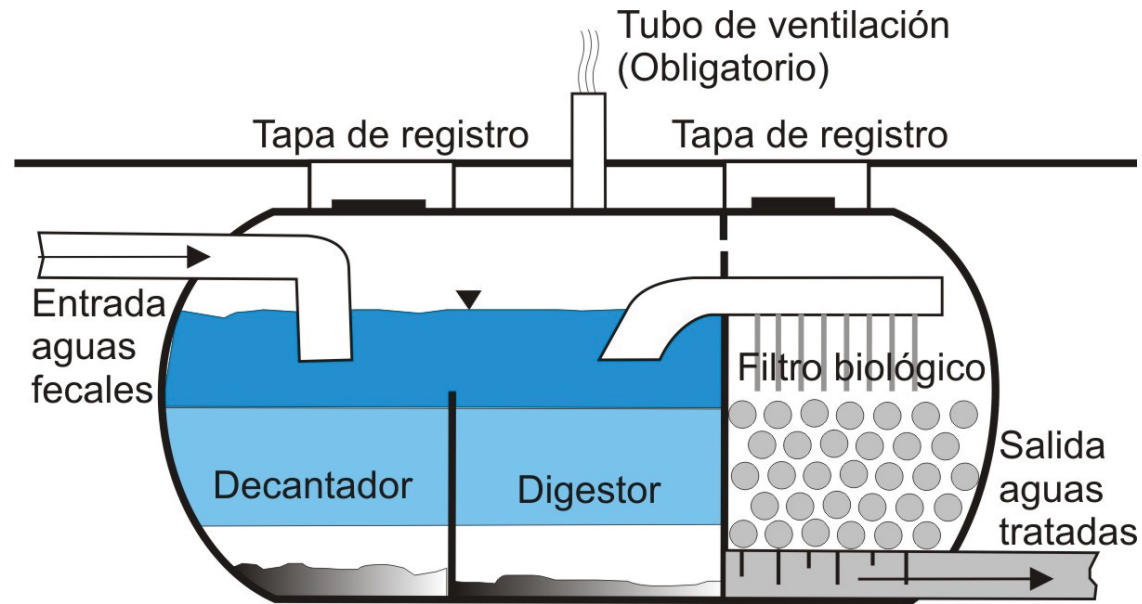


Figura 3. Fosa séptica con filtro percolador.

Para este equipo de depuración compacto no se fijan parámetros geométricos mínimos, dejando a discreción de los fabricantes la elección del diseño de cada equipo, así como de sus características geométricas.

Los rendimientos proporcionados por este tipo de equipos deben cumplir con los rendimientos establecidos por la normativa vigente en función del riesgo de contaminación del acuífero y estar certificados mediante el correspondiente marcado CE.

Dado que para esta tipología de equipo el proceso de depuración es muy simple y los rendimientos proporcionados no son muy elevados, la fosa séptica con filtro percolador sólo se debe instalar en zonas con vulnerabilidad a la contaminación baja o moderada, fuera de perímetro de protección de pozos y fuera de zona con vulnerabilidad a la contaminación por nitratos.

En la tabla 2 del presente anexo se especifican las zonas en las que se pueden instalar este tipo de equipo y los rendimientos se deben alcanzar.

3.2.4. Fosa de oxidación total

Este dispositivo realiza un tratamiento primario y un tratamiento secundario mediante fangos activos. La depuración por fangos activos se realiza en un depósito lleno de agua residual, donde se mezcla el aire (oxígeno) y el fango activo en suspensión.

A partir de este esquema general, se han desarrollado una gran variedad de equipos en función de la existencia de un pretratamiento integrado, del sistema de aireación (difusores-inyectores) o de la existencia de un decantador secundario.

Si se ha suprimido el decantador el sistema puede funcionar de forma secuencial (SBR) o disponer de membranas filtrantes (BRM).

Estos sistemas tienen un rendimiento muy estable cosa que los hace muy adecuados para actividades estacionales.

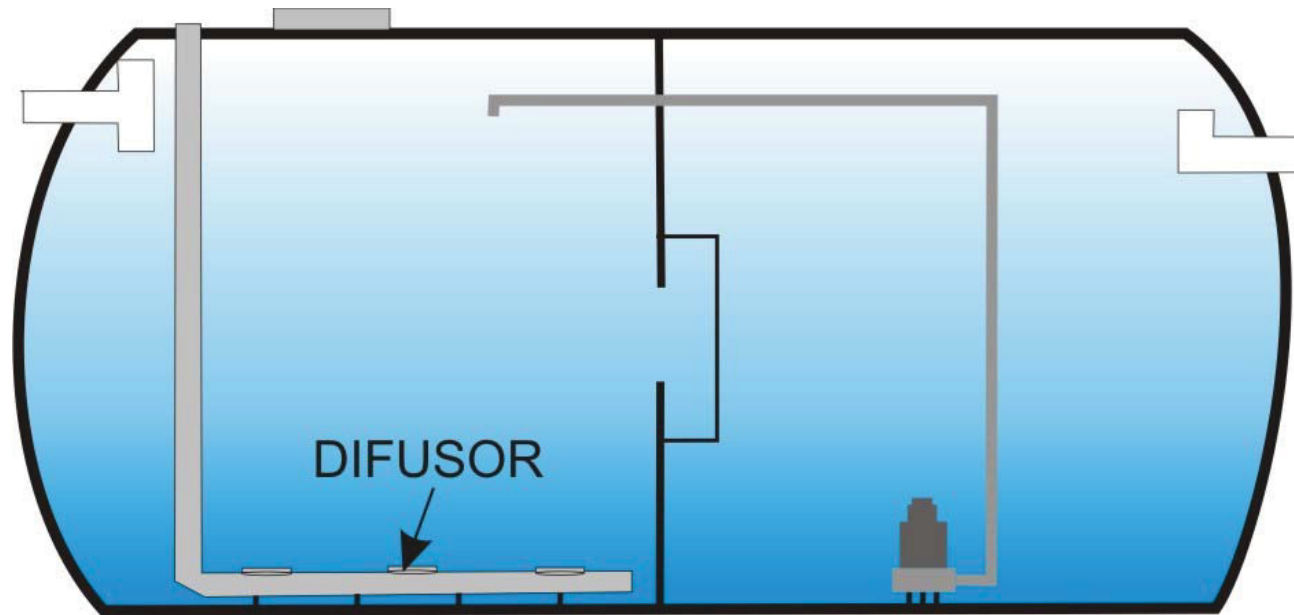


Figura 4. Fosa de oxidación total

Para este equipo de depuración compacto no se fijan parámetros geométricos mínimos, dejando a discreción de los fabricantes la elección del diseño de cada dispositivo, así como de sus características geométricas.

Los rendimientos proporcionados por este tipo de equipos deben cumplir con los rendimientos establecidos por la normativa vigente en función del riesgo de contaminación del acuífero y estar certificados mediante el correspondiente marcado CE.

En la tabla 2 del presente anexo se especifican las zonas en las que se pueden instalar este tipo de equipo y los rendimientos se deben alcanzar.

3.2.5. Recomendaciones para la instalación

Las medidas proporcionadas en este apartado (grosos y armados de solera, anchura de excavación, etc.) se consideran las mínimas aplicables. Será el proyectista el que, mediante el correspondiente proyecto, realizará el dimensionado de las estructuras a ejecutar.

De forma general, el equipo debe instalarse cerca de la edificación, preferentemente a menos de 10 m.

La pendiente del conducto de conexión debe ser de entre el 2 y el 4 %.

Nunca debe instalarse el equipo dentro de un local cerrado.

No habrá árboles de raíces fuertes y profundas al lado de la obra de instalación.

La excavación se debe realizar de manera que el equipo, una vez colocado, quede a unos 50 cm de las paredes de la excavación.

Las paredes de la excavación deberán quedar libres de cantos cortantes.

Cuando el terreno sea de buena resistencia mecánica, el equipo se situará en el fondo de la excavación, sobre un lecho de arena compactada a fin de evitar cualquier daño estructural o problema de estabilidad.

Si el terreno sea de escasa resistencia mecánica, el equipo se colocará sobre una solera de hormigón que reunirá las siguientes características mínimas: hormigón armado de resistencia HA-25; espesor 20 cm; mallazo superior e inferior con diámetro 12 mm y cuadro 30 x 30 cm. La solera de hormigón deberá colocarse sobre una capa de hormigón de limpieza.

Si el terreno presenta una capa freática que puede alcanzar el fondo de la excavación, se construirán unos muros perimetrales que absorberán el empuje lateral del terreno y protegerán el equipo. El equipo no se anclará a dichos muros, para evitar que posibles movimientos provoquen la ruptura de los depósitos.

La excavación se debe rellenar de acuerdo con las instrucciones técnicas proporcionadas por el fabricante.

Las conexiones de entrada y salida serán flexibles (juntas de caucho o de elastómero) para prevenir los asentamientos. Con el ajuste final de las conexiones de todas las tuberías, la instalación debe resultar estanca.

Los equipos generan gases a causa de la fermentación biológica que pueden producir olores desagradables y que, además, son corrosivos. Por este motivo, dichos gases deben evacuarse mediante una ventilación eficaz por encima de las viviendas.

En el caso en que se realice una losa superior, esta deberá disponer de aberturas de acceso cómodas para el control y para la extracción de los fangos.

Además de las mencionadas recomendaciones, se deberán tener en cuenta las instrucciones indicadas por escrito por el fabricante.

3.3. SISTEMAS NATURALES DE DEPURACIÓN

En los sistemas de depuración naturales como los humedales y lagunas artificiales, se reproducen los procesos de eliminación de contaminantes que tienen lugar en los humedales y en las lagunas naturales.

El carácter artificial de este tipo de sistemas de depuración viene definido por las siguientes particularidades:

- Construcción de una superficie de fondo impermeable para evitar infiltraciones de las aguas residuales en el suelo.
- Substitución del sustrato de tierra con un medio filtrante de gravillas y gravas para garantizar la conductividad hidráulica y minimizar el riesgo de colmatación.
- Elección, por parte del proyectista, de la vegetación macrófita que colonizará el humedal y contribuirá a la oxigenación del sustrato, a la eliminación de nutrientes y al desarrollo de la biopelícula.

La vegetación que se emplea en este tipo de humedales es la misma que coloniza los humedales naturales. Se trata de plantas acuáticas emergentes como carrizos, juncos, aneas, espadañas, etc..

Los dos objetivos primarios de este sistema de depuración de aguas residuales son:

1. La digestión de la materia orgánica (medida en demanda biológica de oxígeno (DBO), y sólidos en suspensión totales (SST)) a través de la digestión aeróbica y anaeróbica.
2. La conversión del amonio en gas nitrógeno, a través de los procesos de nitrificación y de desnitrificación.

Dependiendo de la forma de circulación de las aguas residuales se pueden distinguir humedales artificiales de flujo superficial y humedales artificiales de flujo subsuperficial.

Según la dirección en la que circulan las aguas a través del sustrato, los humedales artificiales de flujo subsuperficial pueden ser de flujo subsuperficial vertical y de flujo subsuperficial horizontal.

3.3.1. Humedales artificiales de flujo superficial

El humedal está constituido por una excavación con fondo impermeable, sobre el que se dispone un sustrato y vegetación. La profundidad de la lámina de agua debe ser de unos 0,4 m.

En este tipo de humedales el agua se encuentra expuesta directamente a la atmósfera y circula, preferentemente, a través de los tallos de las plantas.

La alimentación se da de forma continua y la depuración tiene lugar en el tránsito de las aguas a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente implantada. Tallos raíces y hojas caídas sirven de soporte para la fijación de la película bacteriana responsable de los procesos de biodegradación, mientras que las hojas que están por encima de la superficie del agua dan sombra a la masa de agua, limitando el crecimiento de microalgas.

La principal fuente de oxígeno para la nitrificación en los humedales es la aireación atmosférica de la superficie del agua. Aunque el humedal es poco profundo, la mayoría del líquido está en condiciones anaerobias. Como resultado, la nitrificación se llevará a cabo en la parte cercana a la superficie del agua y la desnitrificación en el resto del líquido.

Las fuentes de carbono para la desnitrificación son la capa de restos de vegetación que se encuentra sumergida, otros restos en el bentos y la DBO del agua residual.

Esta tipología de humedal necesita un pretratamiento, un tratamiento primario y un tratamiento secundario aguas arriba (fosa séptica con filtro percolador o similares).

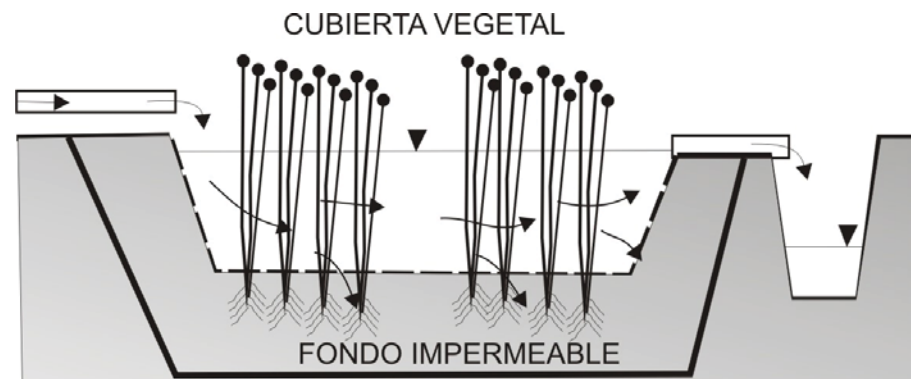


Figura 5. Humedal artificial de flujo superficial.

Dimensionado

La superficie del humedal será de al menos 6 m² por habitante equivalente.

La relación entre longitud y anchura será de aproximadamente 5/1.

La profundidad de la lámina de agua será de aproximadamente 0,4 m.

La pendiente del fondo entre entrada y salida será de de aproximadamente 0,5%.

Los taludes laterales se realizarán a 45°.

El ratio de 6 m² por habitante equivalente se considera el mínimo aplicable, mientras que los demás datos proporcionados se deben de entender como orientativos. Será el proyectista el que, mediante el correspondiente proyecto, realizará el dimensionado de las estructuras a ejecutar.

Recomendaciones para la ejecución

El terreno que corresponde a la cubierta vegetal debe retirarse de forma cuidadosa para que pueda reservarse para ser utilizado como base para la vegetación.

El fondo del humedal debe ser cuidadosamente alisado antes de la colocación del impermeabilizante, sobre todo si el impermeabilizante a utilizar es de alguna fibra sintética, que pueda llegar a perforarse. El fondo debe ser nivelado cuidadosamente de lado a lado del humedal y en la totalidad de la longitud del lecho.

Se debe impermeabilizar el fondo mediante una lamina plástica de PEAD de espesor no inferior a 2mm, protegida por debajo y por encima de una lamina de geotextil de 150-300 gr/cm². Las tres láminas se anclaran en la coronación del talud mediante grapas metálicas u otro método alternativo

Para evitar la generación de flujos preferenciales no se debe transitar con vehículos pesados por el fondo del humedal una vez impermeabilizado.

La cubierta vegetal que se reservó anteriormente, se colocará sobre la superficie impermeabilizada, de forma que sirve de base para las raíces de la vegetación.

Para el reparto de las aguas a tratar, se instalaran vertederos o tuberías perforadas para distribuir uniformemente el agua a tratar en la zona de entrada al humedal.

En el diseño se tendrán en cuenta medidas para minimizar el escape de flotantes en la zona de salida del efluente.

Las plantas acuáticas emergentes a las que se suele recurrir para la colonización del humedal son: juncos (*Juncus sp*), iris (*Iris sp*), espadaña (*Typha angustifolia*), masiega (*Claudium mariscus*), juncia (*Cyperus sp*), etc., que se plantarán mediante el empleo de rizomas o semillas.

3.3.2. Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (FSH)

Este tipo de sistemas combina la acción de un sustrato determinado (grava principalmente), con la de plantas acuáticas emergentes.

El sustrato retiene los sólidos en suspensión, a la vez que facilita una gran superficie de fijación para las bacterias que descomponen la materia orgánica; y por su parte, las plantas acuáticas absorben los nutrientes (nitrógeno y fósforo) y aportan oxígeno a través de sus raíces, lo que favorece la descomposición bacteriana.

En los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (FSH) la alimentación se efectúa de forma continua. El agua residual fluye horizontalmente a unos 0,1 m por debajo de un sustrato filtrante de gravilla-grava de unos 0,6 m de espesor (colocado por encima de un forro impermeable), en el que se fija la vegetación. En este tipo de humedal se producen procesos de desnitrificación.

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal se pueden subdividir en dos categorías: con alta carga y con baja carga, dependiendo de si el agua que reciben proviene de un tratamiento primario o de un tratamiento secundario.

Más concretamente: un humedal de alta carga, necesitará de un pretratamiento y de un tratamiento primario aguas arriba (fosa séptica, tanque Imhoff o similares), mientras que un humedal de baja carga, necesitará de un pretratamiento, de un tratamiento primario y de un tratamiento secundario aguas arriba (fosa séptica con filtro percolador o similares).

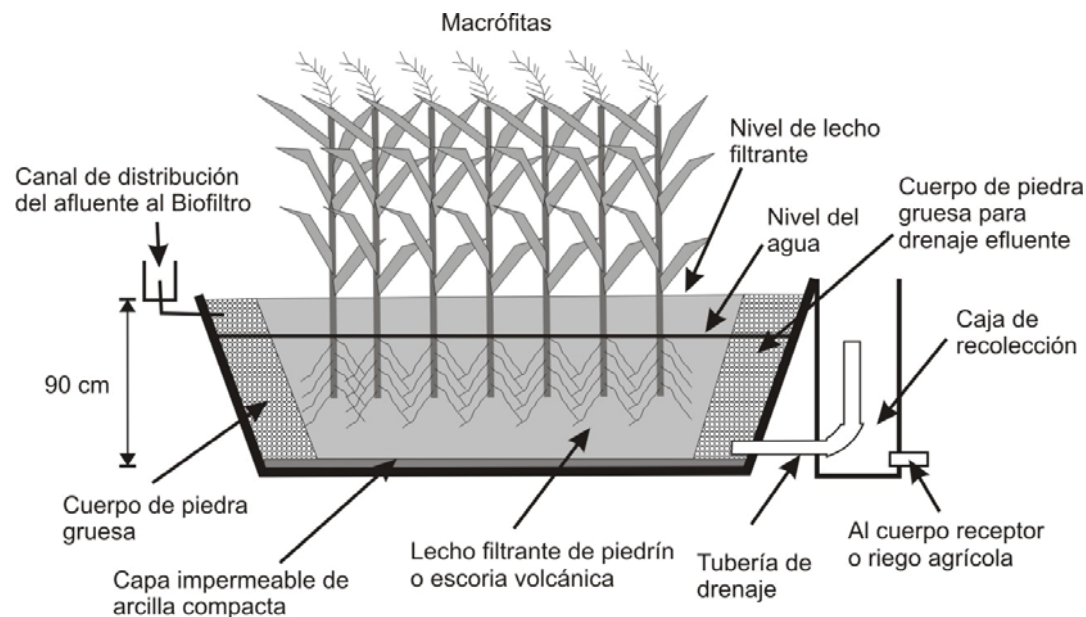


Figura 6. Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (FSH)

Dimensionado

Los humedales artificiales de alta carga (o sea los que reciben aguas provenientes de un pretratamiento y de un tratamiento primario), deberán tener una superficie de 5 m² por habitante equivalente.

Los humedales artificiales de baja carga (o sea los que reciben aguas provenientes de un pretratamiento y de un tratamiento primario y de un tratamiento secundario), deberán tener una superficie de 2 m² por habitante equivalente.

La relación entre longitud y anchura será de aproximadamente 2,5/1.

El substrato filtrante de gravilla-grava será de aproximadamente 0,6 m de espesor.

La pendiente del fondo entre entrada y salida será de aproximadamente 1%

Los taludes laterales se realizarán a 45°.

El ratio de 5 y el de 2 m² por habitante equivalente se considera el mínimo aplicable, mientras que los demás datos proporcionados se deben de entender como orientativos. Será el proyectista el que, mediante el correspondiente proyecto, realizará el dimensionado de las estructuras a ejecutar.

Recomendaciones para la ejecución

El fondo del humedal debe ser cuidadosamente alisado antes de la colocación del impermeabilizante, sobre todo si el impermeabilizante a utilizar es de alguna fibra sintética, que pueda llegar a perforarse. El fondo debe ser nivelado cuidadosamente de lado a lado del humedal y en la totalidad de la longitud del lecho.

Se impermeabilizará el fondo mediante una lamina plástica de PEAD de espesor no inferior a 2mm, protegida por debajo y por encima de una lamina de geotextil de 150-300 gr/cm². Las tres láminas se anclaran en la coronación del talud mediante grapas metálicas u otro método alternativo

El sustrato filtrante no deberá contener finos, que podrán dar lugar a posibles atascamientos. Por ello, en la realización del sustrato filtrante, si se utiliza piedra proveniente de trituración, ésta deberá estar lavada. Concretamente los áridos empleados para la ejecución del estrato filtrante serán áridos con tamaños que oscilan entre 3-6 mm para baja carga y 6-12 mm para alta carga.

Para el reparto uniforme de las aguas a tratar, se instalarán una tubería perforada, embutida en una zona de gravas gruesas (50 mm), dispuesta en la entrada y paralelamente al lado más corto.

La evacuación del efluente se realizará mediante una tubería de drenaje, embutida en el fondo de una zona de bolos gruesos (50 mm), dispuesta en la salida y paralelamente al lado más corto.

La planta acuática emergente a las que se suele recurrir para la colonización del humedal es el carrizo (*Phragmites sp*). Para el establecimiento de una optima densidad vegetativa se puede recurrir a la multiplicación vegetativa a partir de trozos de 5 cm de rizomas plantados en el sustrato (5 trozos /m²), o en alternativa a partir de trozos de 30 cm de tallo de carrizo plantados inclinados en el sustrato.

3.3.3. Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical (FSV)

Este tipo de sistemas combina la acción de un sustrato determinado (grava principalmente) con la de plantas acuáticas emergentes. El sustrato retiene los sólidos en suspensión, a la vez que facilita una gran superficie de fijación para las bacterias que descomponen la materia orgánica; y por su parte, las plantas acuáticas absorben los nutrientes (nitrógeno y fósforo) y aportan oxígeno a través de sus raíces, lo que favorece la descomposición bacteriana.

En los humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical (FSV) la alimentación se efectúa de forma intermitente, es decir, tienen fases de llenado, reacción y vertido.

Las aguas circulan verticalmente a través de un substrato de arena-gravilla, de aproximadamente 1 m de espesor, en el que se fija la vegetación. En el fondo del humedal una red de drenaje permite la recogida del efluente depurado. A esta red de drenaje se conectan un conjunto de chimeneas, que sobresalen de la capa de áridos, al objeto de incrementar la oxigenación de la capa del substrato filtrante. En este tipo de humedal se producen procesos de nitrificación.

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical se pueden subdividir en dos categorías: con alta carga y con baja carga, dependiendo de si el agua que reciben proviene de un tratamiento primario o de un tratamiento secundario.

Más concretamente: un humedal de alta carga, necesitará de un pretratamiento y de un tratamiento primario aguas arriba (fosa séptica, tanque Imhof o similares), mientras que un humedal de baja carga, necesitará de un pretratamiento, de un tratamiento primario y de un tratamiento secundario aguas arriba (fosa séptica con filtro percolador, fosa de oxidación total o similares).

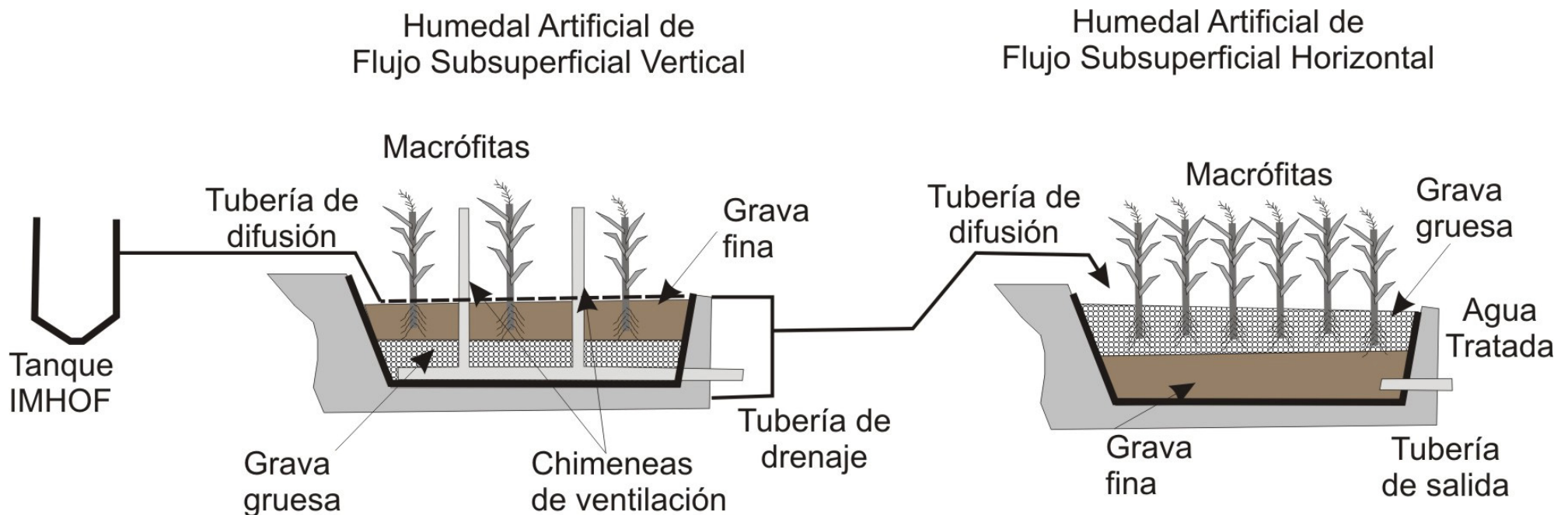


Figura 7. Combinación de humedales artificiales

Dimensionado

Los humedales artificiales de alta carga (o sea los que reciben aguas provenientes de un pretratamiento y de un tratamiento primario), deberán tener una superficie de 5 m² por habitante equivalente.

Los humedales artificiales de baja carga (o sea los que reciben aguas provenientes de un pretratamiento y de un tratamiento primario y de un tratamiento secundario), deberán tener una superficie de 2 m² por habitante equivalente.

La relación entre longitud y anchura será de aproximadamente 2,5/1.

El substrato filtrante de arena-gravilla será de aproximadamente 1 m de espesor.

La pendiente del fondo entre entrada y salida será de aproximadamente el 1%

Los taludes laterales se realizarán a 45°.

El ratio de 5 y el de 2 m² por habitante equivalente se considera el mínimo aplicable, mientras que los demás datos proporcionados se deben de entender como orientativos. Será el proyectista el que, mediante el correspondiente proyecto, realizará el dimensionado de las estructuras a ejecutar.

Recomendaciones para la ejecución

El fondo del humedal debe ser cuidadosamente alisado antes de la colocación del impermeabilizante, sobre todo si el impermeabilizante a utilizar es de alguna fibra sintética, que pueda llegar a perforarse. El fondo debe ser nivelado cuidadosamente de lado a lado del humedal y en la totalidad de la longitud del lecho.

Se impermeabilizará el fondo mediante una lamina plástica de PEAD de espesor no inferior a 2mm, protegida por debajo y por encima de una lamina de geotextil de 150-300 gr/cm². Las tres láminas se anclaran en la coronación del talud mediante grapas metálicas u otro método alternativo

El substrato filtrante no deberá contener finos, que podrán dar lugar a posibles atascamientos. Por ello, en la realización del substrato filtrante, si se utiliza piedra proveniente de trituración, deberá estar lavada. Concretamente el árido empleado para la ejecución del estrato filtrante será arena con un d₁₀ comprendido entre 0,25 y 1,2 mm, y con un d₆₀ comprendido entre 1 y 4 mm. El coeficiente de uniformidad (d₆₀/d₁₀) debe ser inferior a 3,5. Los contenidos en arcilla y finos debe ser inferior a 0,05%.

Para el reparto uniforme de las aguas a tratar, se instalarán canaletas o tuberías perforadas en la totalidad de la superficie del humedal.

La evacuación del efluente se realizará mediante unas tuberías de drenaje, embutidas en el fondo con una capa de grava (30 mm), dispuestas de forma paralela al lado más largo.

Para favorecer la oxigenación se conectarán chimeneas verticales a las tuberías de drenaje, que deben sobresalir por encima del medio filtrante.

La planta acuática emergente a las que se suele recurrir para la colonización del humedal es el carrizo (*Phragmites sp*). Para el establecimiento de una optima densidad vegetativa se puede recurrir a la multiplicación vegetativa a partir de trozos de 5 cm de rizomas plantados en el substrato (5 trozos /m²), o com alternativa a partir de trozos de 30 cm de tallo de carrizo plantados inclinados en el substrato.

3.3.4. Lagunaje artificial

Las lagunas permiten el almacenamiento de las aguas residuales durante un tiempo variable en función de la carga aplicada (cantidad de materia orgánica contenida en el agua residual) y las condiciones climáticas, de forma que la materia orgánica es degradada mediante la actividad de bacterias presentes en el medio. El contenido en oxígeno disuelto en las lagunas está fuertemente relacionado con la profundidad de las mismas, ya que las fuentes de oxígeno están asociadas a fenómenos de superficie como:

- La actividad fotosintética de las algas microscópicas.
- La aireación a través de la interfase aire-agua.

En función del contenido en oxígeno disuelto que presenten las aguas y por tanto, del tipo de mecanismos responsables de la depuración, las lagunas suelen clasificarse en:

- Anaerobias: Los procesos de descomposición son mayoritariamente anaeróbicos (en ausencia de oxígeno).
- Facultativas: Los procesos aeróbicos y anaeróbicos coexisten
- Aerobias: Los procesos de descomposición son mayoritariamente aeróbicos (con presencia de oxígeno).

En el presente apartado se hablará en general de laguna en referencia a laguna aerobia.

La tipología de laguna propuesta es un lagunaje con bajas cargas orgánicas, con un espesor de lámina de agua variable: de unos 0,3 m en la zona de entrada, hasta 1,5 m en la zona de salida.

En esta laguna al darse las condiciones propicias para la penetración de la radiación solar, (aguas relativamente claras y pocas profundas), adecuadas por lo tanto para el desarrollo de las microalgas, predominan las condiciones de presencia de oxígeno y, en consecuencia, en ellas predominan los microorganismos heterótrofos aerobios.

El medio aerobio es adecuado para el desarrollo de organismos nitrificantes que realizan la conversión del ión amonio a nitrato.

Parte de los nitratos transformados son asimilados por las algas, que lo transforman en nitrógeno orgánico.

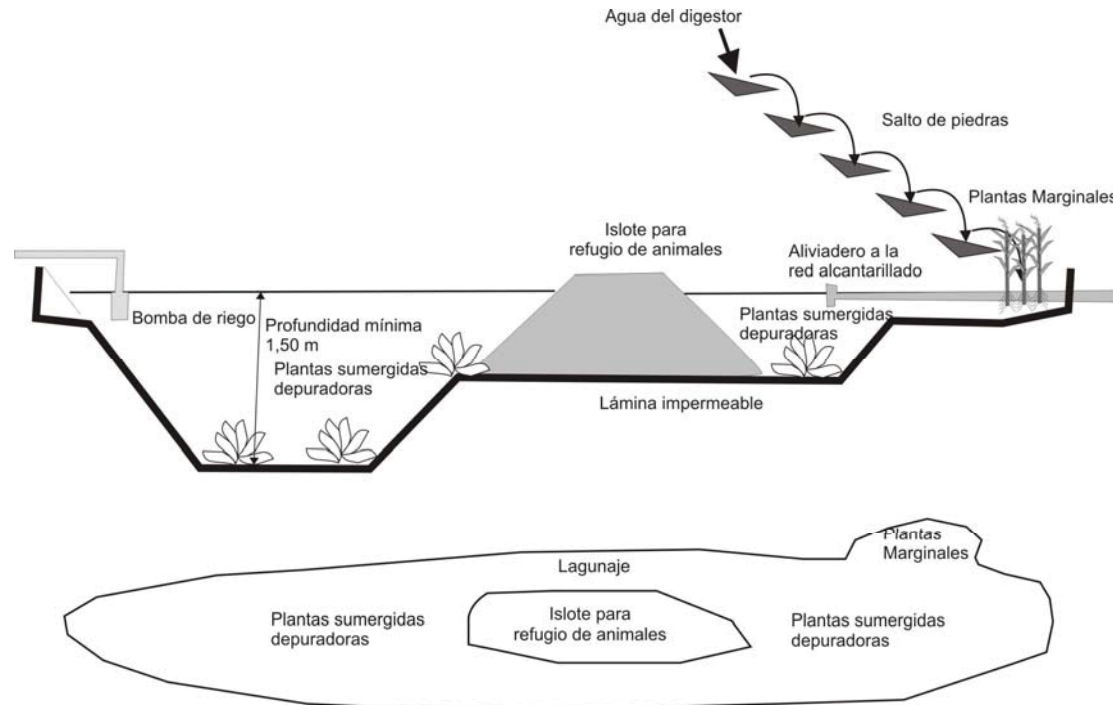


Figura 8. Ejemplo de sistema de lagunaje. Los elementos ornamentales como el salto de piedras y el islote son optativos.

Durante la noche disminuye la concentración de oxígeno disuelto y tienen lugar procesos de desnitrificación, que conducen a la pérdida neta de nitrógeno hacia la atmósfera.

Esta tipología de lagunaje necesita de un pretratamiento, de un tratamiento primario y de un tratamiento secundario aguas arriba (fosa séptica con filtro percolador o similares).

Dimensionado

El volumen total del agua debe ser de 4 metros cúbicos por persona; el tiempo del tratamiento será, como mínimo de 28 días.

Se prevén tres zonas:

- zona de entrada con superficie de al menos 1m^2 por habitante equivalente;
- zona intermedia con superficie de al menos 1m^2 por habitante equivalente;
- zona de salida con superficie restante necesaria.

La relación entre longitud y anchura será de aproximadamente 3/1.

La profundidad de la lámina de agua será de aproximadamente 0,25 m en la zona de entrada; 1 m en la zona intermedia y 1,5 m en la zona de salida.

La pendiente del fondo entre entrada y salida será del 0,5%.

Los taludes laterales se realizarán a 45° .

Recomendaciones para la ejecución

El terreno que corresponde a la cubierta vegetal debe retirarse de forma cuidadosa para que pueda reservarse para ser utilizado como base para la vegetación.

El fondo del humedal debe ser cuidadosamente alisado antes de la colocación del impermeabilizante, sobre todo si el impermeabilizante a utilizar es de alguna fibra sintética, que pueda llegar a perforarse. El fondo debe ser nivelado cuidadosamente de lado a lado del humedal y en la totalidad de la longitud del lecho.

Se impermeabilizará el fondo mediante una lamina plástica de PEAD de espesor no inferior a 2mm, protegida por debajo y por encima de una lamina de geotextil de 150-300 gr/cm². Las tres láminas se anclaran en la coronación del talud mediante grapas metálicas u otro método alternativo

Para evitar la generación de flujos preferenciales no se debe transitar con vehículos pesados por el fondo del humedal una vez impermeabilizado.

La cubierta vegetal que se reservó anteriormente, se colocará sobre la superficie impermeabilizada, de forma que sirve de base para las raíces de la vegetación.

Para el reparto de las aguas a tratar, se instalaran vertederos o tuberías perforadas en la zona de entrada al humedal.

En el diseño se tendrán en cuenta medidas para minimizar el escape de flotantes en la zona de salida del efluente.

En la zona de entrada se plantaran plantas marginales como: cálamo aromático (*Acorus calamus*), juncos (*Juncus sp.*), espadaña (*Typha angustifolia*), junco enano (*Scirpus holoschoenus*), junco lacustre (*Scirpus lacustris*), salicaria (*Lythrum salicaria*), ranúnculo de agua (*Ranunculus aquatilis*), cárex (*Carex sp.*)...

En la zona intermedia y de salida se plantaran plantas sumergidas como: lenteja de agua (*Lemna minuta*, *L. Minuta*, *L. Gibba*), filigrana mayor (*Myriophyllum spicatum*), nenúfares (*Nymphaea sp.*), ranúnculo de agua (*Ranunculus aquatilis*), sagitaria (*Sagittaria sagittifolia*).

3.4. SISTEMAS DE DESINFECCIÓN

Entre los sistemas de desinfección, que realizan un tratamiento terciario del efluente, los más conocidos son los sistemas de cloración. La cloración es el procedimiento de desinfección de aguas mediante el empleo de cloro o compuestos clorados.

Se puede emplear gas cloro, pero normalmente se emplea hipoclorito de sodio (lejía) por su mayor facilidad de almacenamiento y dosificación. En algunos casos se emplean otros compuestos clorados, como dióxido de cloro, hipoclorito de calcio o ácido cloroisocianúrico.

La cloración genera alteraciones físicas, químicas y bioquímicas en la pared de toda bacteria, de esta forma se destruye su barrera protectora dejándola indefensa, disminuyendo sus funciones vitales hasta llevarla a la muerte; como conclusión, el cloro no permite que la bacteria crezca, se reproduzca o cause ninguna enfermedad.

Existen en el mercado diversos equipos de cloración. Sin embargo los más adecuados para instalaciones de depuración autónomas son los que suministran cloro en proporción al caudal del efluente evacuado.

De acuerdo con la normativa vigente, la cloración es obligatoria en el caso de evacuación del efluente dentro de perímetro de protección de restricción máxima de pozos. En estos casos por lo tanto será necesario instalar un equipo de cloración antes del sistema de evacuación.

4. SISTEMAS DE EVACUACIÓN

Son sistemas que se construyen aguas abajo del sistema de depuración compacto (o en su caso del sistema de depuración natural), y permiten la evacuación de las aguas residuales.

Los sistemas de evacuación permitidos, son los que se realizan mediante la aplicación del efluente al terreno. Los sistemas más comunes son: las zanjas de infiltración y la infiltración por zonas verdes.

Las zanjas de infiltración efectúan una ulterior depuración biológica del efluente, mientras que la infiltración por zona verde además de dicha depuración, disminuye la concentración de nitrógeno del efluente, mediante la absorción de las plantas.

Como norma general no se permite la instalación de zanjas de infiltración a excepción de aquellos casos en que no sea posible la infiltración por zonas verdes, ya que éstos últimos proporcionan mejores rendimientos de depuración.

4.1. INFILTRACIÓN POR ZONA VERDE

Los sistemas de infiltración por zonas verdes están constituidos por una superficie de terreno sembrada con plantas superiores, y por un sistema de riego en superficie, o bien subsuperficial.

Las plantas superiores son organismos autótrofos que pueden sintetizar sus propios componentes moleculares orgánicos a partir de nutrientes inorgánicos obtenidos del medio ambiente. Esta incorporación de nutrientes minerales en sustancias orgánicas tales como pigmentos, enzimas, cofactores, lípidos, ácidos nucleicos o aminoácidos se denomina asimilación de nutrientes.

La asimilación del nitrógeno requiere una serie compleja de reacciones bioquímicas con un alto costo energético. En la asimilación del nitrato (NO_3^-), el nitrógeno es convertido en una forma de energía superior, nitrito (NO_2^-), luego en una mayor forma de energía, amonio, (NH_4^+) y finalmente en nitrógeno amídico.

Por lo tanto el sistema de infiltración por zona verde reduce la infiltración en el subsuelo de los nitratos contenidos en el efluente depurado, actuando como filtro para los acuíferos frente a la contaminación por nitratos.

Las altas concentraciones de nitratos existentes en las aguas tratadas por algunas tipologías de sistemas de saneamiento, hacen necesario la evacuación del efluente mediante la infiltración por zonas verdes, sobre todo en aquellas zonas con un riesgo alto de contaminación de acuíferos.

Dimensionado

La superficie de riego será la que minimice la infiltración al terreno. En la tabla 2 se recogen algunas superficies mínimas en función del tratamiento de las aguas residuales y las correspondientes superficies que ha de destinarse al sistema de infiltración por zona verde por habitante equivalente, dependiendo del sistema de depuración adoptado y del riesgo de contaminación existente.

Recomendaciones para la ejecución

El sistema de vertido debe disponer de:

- Un depósito de almacenamiento para las aguas depuradas.
- Un sistema de cloración (obligatorio solo en determinados casos, ver tabla 2).
- Un equipo de bombeo.
- Una red de riego (goteo, trasudación o similares).
- Una zona verde que debe estar plantada con árboles, arbustos, setos, plantas ornamentales, plantas tapizantes, etc., es decir con especies que puedan ser regadas con sistema de goteo o por trasudación.

El riego por aspersión, con agua que proceda del sistema de depuración queda prohibido. La eventual existencia de superficies sembradas con césped, grama o similares, que necesitan de un riego por aspersión, deberán regarse con agua que no proceda del sistema de depuración.

La zona verde debe estar a al menos 50 m de pozos de abastecimiento urbano.

4.2. ZANJAS DE INFILTRACIÓN

Son sistemas de evacuación constituidos por una tubería perforada colocada dentro de una zanja drenante.

Las aguas depuradas, provenientes de los sistemas de depuración compacto o en su caso de los sistemas de depuración naturales, desde el depósito de acumulación se envían por gravedad, o mediante equipo de bombeo, hacia cada una de las zanjas de infiltración proyectadas, previo paso por una caja de distribución de flujos que asegure la distribución igualitaria del efluente.

Los sólidos en suspensión del efluente quedan retenidos en la superficie del terreno. La formación de una película biológica en la interfase se produce conforme las bacterias y demás microorganismos empiezan a crecer y crear colonias sobre la materia particulada. El grosor de la película biológica crece a medida que los microorganismos metabolizan la materia orgánica existente en el efluente. La película biológica que normalmente se observa en los sistemas de infiltración al terreno resulta ser muy efectiva en la eliminación de virus y patógenos.

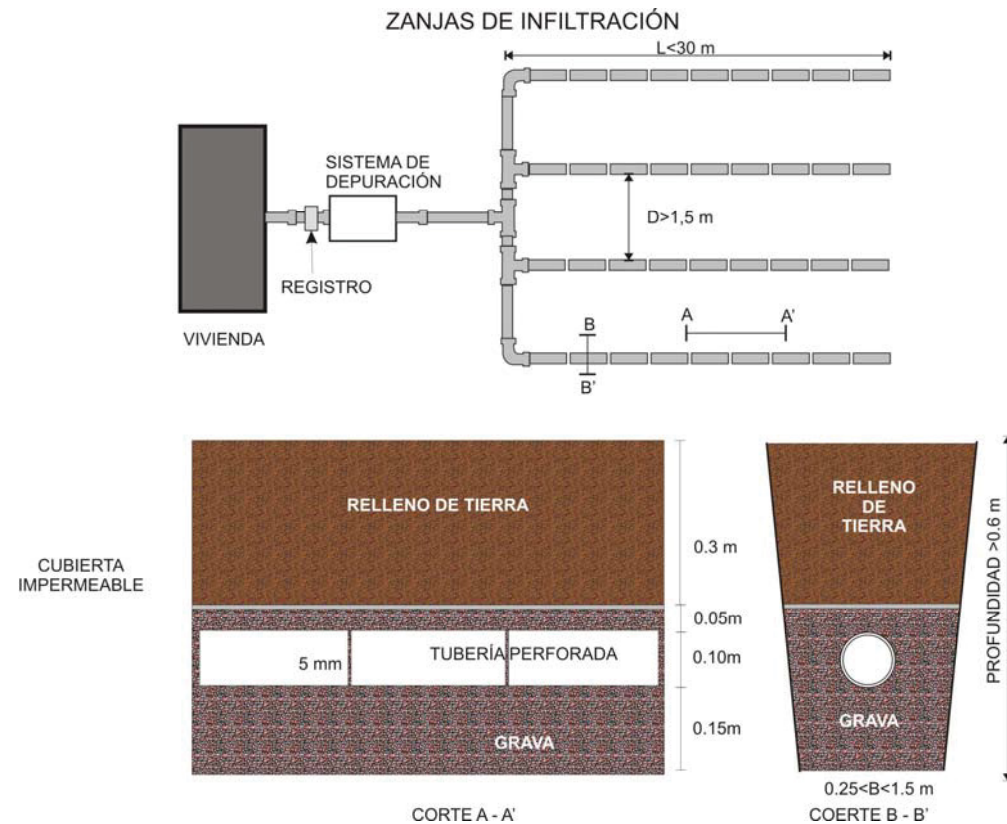


Figura 9. Zanja de infiltración

Dimensionado

El área de absorción (A), o sea los metros cuadrados de suelo necesarios para infiltrar el efluente, se calcula con la siguiente relación:

$$A = Q \times P/R$$

Donde:

Q es la aportación en litros/habitante/día (1 habitante equivalente = 130 litros/día)

P es el número de habitantes equivalentes

R es la tasa de infiltración en litros/m²/día

Calculada el área de absorción (A), para determinar la longitud de la zanja de infiltración (L) se aplicará la siguiente relación:

$$L = A/B$$

Donde:

B es el ancho de la zanja.

Para la determinación de la tasa de infiltración (R) será necesario efectuar una prueba de infiltración. A continuación se expone el procedimiento que hay que seguir:

Se efectuarán al menos dos pruebas de infiltración para dispositivos de tratamiento hasta 12 habitantes equivalentes. Se añadirá una prueba de más por cada 10 habitantes equivalentes adicionales.

Para la realización de cada prueba de infiltración se excavará, hasta la profundidad de la zanja de absorción propuesta, un pozo con lados de 0,30 m o con un diámetro de 0,30 m.

Las paredes del pozo deben ser raspadas (procurando eliminar el material suelto) con el propósito de lograr una interfase natural del suelo, y se agregará una capa de arena gruesa o grava fina de 0,05 m de espesor para proteger el fondo.

Inundar el pozo con un tirante de 0,30 m que se deberá mantener al menos durante un periodo de 4 horas.

A las 24 horas de haberse llenado el pozo, añadir agua hasta lograr un tirante de 0,15 m por encima de la capa de grava. Medir el descenso del nivel de agua en el intervalo que va del minuto 25' al minuto 30'.

El descenso (h), que ocurre durante ese intervalo, se usa para calcular la tasa de infiltración (R).

$$R = 315,5 \times (h/300)^{1/2}$$

Donde:

R es la tasa de infiltración en litros/m²/día

h es el descenso del nivel del agua producido en el intervalo que va del minuto 25' al minuto 30' (mm).

Para una tasa de infiltración inferior a 37 litros/m²/día no se recomienda el uso de zanjas de infiltración.

Recomendaciones para la ejecución

Las zanjas no se deben excavar cuando el suelo tiene altas concentraciones de humedad.

La distancia mínima de cualquier punto de la zanja de infiltración a viviendas, tuberías de aguas y pozos de abastecimiento será respectivamente de 5, 15 y 50 m.

La distancia mínima entre la zanja y cualquier árbol debe ser de 3 m.

La longitud de una zanja de infiltración no debe superar los 30 m.

Cuando se dispongan de dos o más zanjas de infiltración en paralelo, la alimentación se realizará mediante un dispositivo que asegure la distribución igualitaria de los efluentes dentro de la red de tuberías (por ej. caja de distribución de flujos con pantalla de atenuación).

El reparto subterráneo debe llevarse a cabo mediante zanjas de infiltración cuyas tuberías de distribución deberán estar colocadas lo más horizontal posible (la pendiente promedio recomendable es de 0,25%, no debiendo exceder al 0,50%).

La profundidad de las zanjas se determinará de acuerdo con la elevación del nivel freático y la tasa de infiltración.

La distancia de eje a eje de las zanjas debe ser, al menos, de 1,50 m.

El ancho de las zanjas se determinará de acuerdo con la tasa de infiltración. La dimensión recomendable es de un mínimo de 0,50 m hasta un máximo de 1,50 m., con un mínimo de 0,25 m para terreno de alta permeabilidad.

Se situarán arquetas de control para poder observar y comprobar los flujos de agua en las tuberías.

Una vez excavada la sección de la zanja se debe efectuar un raspado a las paredes y fondo se retirará el material sobrante y se rellenará la zanja con una capa de 0,15 m de espesor mínimo de grava (granulometría variable comprendida entre 20 y 50 mm), hasta obtener el nivel sobre el cual deben localizarse las tuberías de distribución.

Las tuberías de distribución deben tener un diámetro igual o superior a 100 mm y deben estar constituidas por elementos rígidos en materiales resistentes provistos de perforaciones de un mínimo de 5 mm de diámetro.

Se recubrirá la tubería con una nueva capa de grava de manera que quede cubierta y deje una capa de 50 mm de espesor mínimo por encima del borde superior de la tubería.

El terraplén de las zanjas debe realizarse después de la interposición, por encima del grueso de gravas, de un forro geotextil que separará la grava filtrante del mantillo aplicado para rellenar toda la excavación.

Las zanjas de infiltración poseen una vida útil de aproximadamente 10 años. Cabe matizar que la vida útil de las zanjas de infiltración dependerá de la granulometría del suelo, de la capacidad de infiltración, de la altura y variaciones del nivel freático, y del correcto funcionamiento y limpieza de la fosa séptica, que evitará el paso de sólidos a las zanjas de infiltración. Debido a esta cantidad de variables, la duración estimada (aproximadamente 10 años) puede sufrir fuertes variaciones y por esta razón es conveniente disponer de un sitio de reemplazo en caso de fallo o término de la vida útil del sitio original.

5. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE DEPURACIÓN AUTÓNOMO

De acuerdo con la normativa vigente, el sistema de depuración autónomo, deberá ser sometido a mantenimiento periódico.

5.1. SISTEMA DE DEPURACIÓN

Los equipos de depuración compactos deberán estar provistos del correspondiente Manual de Instrucciones, en el que se reflejan las tareas necesarias para el correcto funcionamiento del equipo, como:

- Periodicidad (estimada) de extracción de fangos.
- Periodicidad (estimada) de sustitución de elementos que sufren deterioración.
- Limpieza periódica de elementos.

- Listado exhaustivo de incidencias y relación de elementos afectados.
- Instrucciones para la sustitución de elementos deteriorados y averiados.
- Cuanta otra información se considere necesaria para la realización de las tareas de mantenimiento.

Los profesionales encargados del mantenimiento deberán atenerse a las indicaciones proporcionadas por el Manual de Instrucciones del equipo a instalar. No deberán utilizarse manuales de otros equipos, ni realizarse tareas diferentes a las indicadas en el correspondiente manual.

5.2. SISTEMA DE EVACUACIÓN

Además del mantenimiento del sistema de depuración, se deberán realizar las correspondientes tareas de mantenimiento del sistema de vertido.

Serán objeto de inspección:

- El deposito de almacenamiento de agua depurada
- El equipo de bombeo
- Los filtros
- El equipo de cloración
- Todo los demás equipos auxiliares.
- En el caso de zanjas de infiltración se inspeccionaran las correspondientes arquetas de inspección y se vigilará sobre la correcta distribución igualitaria de los efluentes dentro de la red de tuberías.
- En el caso de infiltración por zona verde se inspeccionará la red de riego y se vigilará el buen estado de las especies vegetales.

5.3. NORMAS DE SEGURIDAD Y SALUD

Los trabajadores encargados de las tareas de mantenimiento deberán llevar equipos de protección individual, debidamente homologados. Concretamente se trata de:

- Gafas antiproyecciones, para protección frente a proyección de partículas o líquidos, aerosoles, gases irritantes, etc., que puedan producirse durante las operaciones.
- Guantes de protección frente a productos químicos y microorganismo patógenos. Deben ser estancos al aire y al agua y resistentes a la degradación por los productos químicos. (ver norma UNE-EN 374).
- Equipos de protección respiratoria filtrantes que protejan contra los aerosoles sólidos o líquidos o contra gases irritantes y/o tóxicos. Si el nivel de oxígeno está por debajo del 20,5% deberá proveerse al trabajador de equipos aislantes con suministro de aire. (Norma UNE-EN 132 a 149).
- Calzado de protección que proteja frente a golpes por caída de herramientas en manipulación, y de la humedad, y con suela antideslizante para evitar caídas por resbalones.
- Ropa de trabajo antihumedad y que proteja frente a riesgos para la salud producidos por agentes patógenos. (Norma UNE-EN 340).

Al salir de la zona de trabajo, el trabajador deberá quitarse las ropas de trabajo y los equipos de protección personal que puedan estar contaminados, y deberá guardarlos en los lugares que no contengan otras prendas, quedando prohibido llevarlos a su domicilio.

Las ropas de trabajo y los equipos de protección personal se deberán lavar y descontaminar.

Se deberá disponer de productos para la limpieza ocular y antisépticos para la piel. El personal deberá lavarse siempre que haya habido contacto con aguas residuales.

Se deberá llevar a cabo una vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos a riesgos biológicos, siguiendo unos protocolos específicos. (Ley de Prevención de Riesgos Laborales y R.D. 664/1997)

TABLA 1. CÁLCULO DEL NÚMERO DE HABITANTES EQUIVALENTES

| Tipo de uso* / actividad* | Número de habitantes equivalentes (h-e) |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Viviendas | 1 persona = 1 h-e |
| Casas de colonias | 1 plaza = 1 h-e |
| Casas rurales | 1 plaza = 1 h-e |
| Casas para seminarios, cursos, etc. | 1 alumno = 1 h-e |
| Hoteles | 1 cama = 1,1 h-e |
| Campings | 1 plaza = 1 h-e |
| Restaurantes | 1 comensal = 1/4 h-e |
| Salas de fiesta y similares | 1 lugar = 1/4 h-e |
| Espacios de ocio o deportivos de más de 4 h de actuación | 1 lugar = 1/3 h-e |
| Espacios de ocio o deportivos de menos de 4 h de actuación | 1 lugar = 1/4 h-e |
| Trabajadores residentes de las actividades anteriores | 1 trabajador = 1 h-e |
| Trabajadores no residentes de las actividades anteriores | 1 trabajador = 1/4 h-e |

* El cálculo de diseño del sistema de saneamiento debe considerar la ocupación máxima permitida.

TABLA 2. POSIBLES COMBINACIONES PARA DISEÑO DEL SISTEMA DE DEPURACIÓN QUE NO PREVEAN LA EJECUCIÓN DE SISTEMAS DE DEPURACIÓN NATURALES

| SUPERFICIE PARCELA | RIESGO DE CONTAMINACIÓN | RENDIMIENTO EQUIPO DE DEPURACIÓN | | | | ESQUEMA DE TRATAMIENTO | SUPERFICIE SISTEMA DE VERTIDO |
|---------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------|---------|--------|-----------------|------------------------|----------------------------------------------------|
| | | DBO (%) | DQO (%) | SS (%) | Nitratos (mg/l) | | |
| Parcela inferior a | Dentro de Zona I de pozos de abastecimiento urbano. | 85 | 75 | 85 | <50 | (OX) + (CL) + (V) | La que minimice las infiltraciones en el acuífero. |

| | | | | | | | |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|-----|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5000 m² | En zonas de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos alta; dentro de Zonas II i III de pozos de abastecimiento urbano; y/o dentro de zona vulnerable a la contaminación por nitratos. | 85 | 75 | 85 | <50 | (OX) + (V) | La que minimice las infiltraciones en el acuífero. |
| | En zonas de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos moderada o baja; fuera de perímetros de protección de pozos de abastecimiento urbano y fuera de zona vulnerable a la contaminación por nitratos. | 85 | 75 | 85 | >50 | (OX) + (V) | La que minimice las infiltraciones en el acuífero. En cualquier caso >25 m ² /h-eq |
| | | 85 | 75 | 85 | <50 | (OX) + (V) | La que minimice las infiltraciones en el acuífero. |
| | | | | | | (OX) + (Z) | A determinar en situ (necesita de informe favorable de la administración hidráulica) |
| Parcela superior a 5000 m² | Dentro de Zona I de pozos de abastecimiento urbano. | 85 | 75 | 85 | <50 | (OX) + (CL) + (V) | La que minimice las infiltraciones en el acuífero. |
| | En zonas de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos alta; dentro de Zonas II i III de pozos de abastecimiento urbano; y/o dentro de zona vulnerable a la contaminación por nitratos. | 85 | 75 | 85 | <50 | (OX) + (V) | La que minimice las infiltraciones en el acuífero. |
| | | | | | | (OX) + (Z) | A determinar en situ (necesita de informe favorable de la administración hidráulica) |
| | Riesgo de vulnerabilidad moderado o bajo, fuera de perímetros de restricciones de pozos de abastecimiento urbano y fuera de zona vulnerable a nitratos. | 70 | 60 | 70 | >50 | (F-P) + (V) | La que minimice las infiltraciones en el acuífero. En cualquier caso >100 m ² /h-eq |
| | | 85 | 75 | 85 | >50 | (OX) + (V) | La que minimice las infiltraciones en el acuífero. En cualquier caso >25 m ² /h-eq |
| | | 85 | 75 | 85 | <50 | (OX) + (V) | La que minimice las infiltraciones en el acuífero. |
| | | | | | | (OX) + (Z) | A determinar en situ (necesita de informe favorable de la administración hidráulica) |

(F-P) Fosa séptica con filtro percolador

(OX) Fosa séptica con oxidación total

(Z) Zanja de infiltración

(V) Infiltración por zona verde

(CL) Cloración

Las instalaciones con equipos de depuración sin pretratamiento integrado deberán prever un sistema de pretratamiento externo

ANEJO 5

SUSTANCIAS, MATERIALES Y PRODUCTOS CUYO VERTIDO A LA RED DE SANEAMIENTO ESTÁ PROHIBIDO

A CONTINUACIÓN SE SEÑALA, DE FORMA NO EXHAUSTIVA, UNA CLASIFICACIÓN DE LOS **VERTIDOS PROHIBIDOS**:

1. **AGUAS** PROCEDENTES DE ACHIQUES O AFLORAMIENTOS DEL NIVEL FREÁTICO.
2. **SUSTANCIAS EXPLOSIVAS**: SE ENTENDERÁN COMO TALES AQUELLOS SÓLIDOS, LÍQUIDOS, GASES O VAPORES, QUE POR RAZÓN DE SU NATURALEZA O CANTIDAD SEAN O PUEDAN SER SUFICIENTES, POR SÍ MISMOS O EN PRESENCIA DE OTRAS SUSTANCIAS, DE PROVOCAR IGNICIÓN O EXPLOSIONES. EN NINGÚN MOMENTO MEDICIONES SUCESIVAS EFECTUADAS CON UN EXPLOSÍMETRO EN EL PUNTO DE DESCARGA DEL VERTIDO A LA RED DE SANEAMIENTO, DEBERÁN INDICAR VALORES SUPERIORES AL 5 POR 100 DEL LÍMITE INFERIOR DE EXPLOSIVIDAD, ASÍ COMO UNA MEDIDA REALIZADA DE FORMA AISLADA, NO DEBERÁ SUPERAR EN UN 10 POR 100 AL CITADO LÍMITE.

SE PROHÍBEN EXPRESAMENTE:

- LOS GASES PROCEDENTES DE MOTORES DE EXPLOSIÓN,
 - GASOLINA, NAFTA, PETRÓLEO Y PRODUCTOS INTERMEDIOS DE DESTILACIÓN, QUEROSENO, XILENO, ÉTERES, ALDEHÍDOS, ALCOHOLES, CETONAS, PERÓXIDOS, CLORATOS, PERCLORATOS, BROMUROS, CARBUROS, HIDRUROS, NITRUROS, SULFUROS, ETC.
 - DISOLVENTES O LÍQUIDOS ORGÁNICOS INMISCIBLES EN AGUA, COMBUSTIBLE Y/O INFLAMABLE Y ACEITES VOLÁTILES.
 - SALMUERA DERIVADA DE LOS PROCESOS DE DESALACIÓN
3. **RESIDUOS SÓLIDOS O VISCOSOS**: SE ENTENDERÁN COMO TALES AQUELLOS RESIDUOS QUE PROVOQUEN O PUEDAN PROVOCAR OBSTRUCCIONES O SEDIMENTOS EN EL FLUJO DEL SISTEMA INTEGRAL DE SANEAMIENTO O QUE PUEDAN INTERFERIR EN EL TRANSPORTE DE LAS AGUAS RESIDUALES Y OBSTACULICEN ASÍ, LOS TRABAJOS DE CONSERVACIÓN, MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA DE LAS REDES DE SANEAMIENTO O CONSTITUYAN PERTURBACIONES EN EL ADECUADO FUNCIONAMIENTO DE LOS PROCESOS Y OPERACIONES DE LAS EDAR.

DICHAS SUSTANCIAS PROHIBIDAS, EN CUALQUIERA DE SUS DIMENSIONES, INCLUYEN: GRASAS, TRIPAS, TEJIDOS ANIMALES, ESTIÉRCOL, HUESOS, PELOS, PIELES, CARNAZAS, ENTRAÑAS, SANGRE, PLUMAS, CENIZAS, ESCORIAS, ARENAS, CAL, MORTEROS, RESIDUOS DE HORMIGONES Y LECHADAS DE CEMENTO O AGLOMERANTES HIDRÁULICOS, FRAGMENTOS DE PIEDRAS, MÁRMOL, METALES, VIDRIO, PAJA, VIRUTAS, RECORTES DE CÉSPED, TPAOS, GRANOS, LÚPULO, DESECHOS DE PAPEL, MADERAS, PLÁSTICO, ASÍ COMO RESIDUOS Y PRODUCTOS ALQUITRANADOS PROCEDENTES DE OPERACIONES DE REFINO Y DESTILACIÓN, RESIDUOS ASFÁLTICOS Y DE

PROCESOS DE COMBUSTIONES, ACEITES LUBRICANTES Y SIMILARES, MINERALES O SINTÉTICOS, INCLUYENDO AGUA-ACEITE, EMULSIONES, AGENTES ESPUMANTES Y EN GENERAL TODOS AQUELLOS SÓLIDOS DE CUALQUIER PROCEDENCIA CON TAMAÑO SUPERIOR A 1,5 CM EN CUALQUIERA DE SUS TRES DIMENSIONES. EN ESTE SENTIDO SE PROHÍBE LA INSTALACIÓN DE TRITURADORAS DOMÉSTICAS O INDUSTRIALES PARA EVITAR LA INCORPORACIÓN DE ESTOS RESIDUOS A LA RED DE SANEAMIENTO.

TAMBIÉN SE PROHÍBE EL VERTIDO DE LÍQUIDOS QUE, CUMPLIENDO CON LA LIMITACIÓN DE TEMPERATURA, PUDIERAN ADQUIRIR CONSISTENCIA PASTOSA O SÓLIDA EN EL INTERIOR DE LA RED DE SANEAMIENTO.

TAMBIÉN SE PROHÍBE EL VERTIDO DE LÍQUIDOS QUE CONTENGAN PRODUCTOS SUSCEPTIBLES DE PRECIPITAR O DEPOSITAR EN LA RED DE SANEAMIENTO O DE REACCIONAR CON LAS AGUAS DE ESTA, PRODUCIENDO SUSTANCIAS COMPRENDIDAS EN CUALQUIER APARTADO DE ESTE ANEJO.

4. **MATERIAS COLOREADAS Y/O COLORANTES:** SE ENTENDERÁN COMO TALES AQUELLOS SÓLIDOS, LÍQUIDOS O GASES, TALES COMO: TINTAS, BARNICES, LACAS, PINTURAS, PIGMENTOS, Y DEMÁS PRODUCTOS AFINES, QUE INCORPORADOS A LAS AGUAS RESIDUALES, LAS COLOREA DE TAL FORMA QUE NO PUEDEN ELIMINARSE CON NINGUNO DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO USUALES QUE SE EMPLEAN EN LAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES.

SE PODRÁ ADMITIR SU EVACUACIÓN SI SE DEMUESTRA SU DESAPARICIÓN EN EL TRATAMIENTO CONVENCIONAL DE LAS EDAR O SE JUSTIFICA DEBIDAMENTE LA DEGRADABILIDAD DE LAS MISMAS.

5. **SUSTANCIAS CORROSIVAS:** SE ENTENDERÁN COMO TALES AQUELLOS SÓLIDOS, LÍQUIDOS, GASES O VAPORES QUE PROVOQUEN CORROSIONES A LO LARGO DEL SISTEMA INTEGRAL DE SANEAMIENTO, TANTO EN EQUIPOS COMO EN INSTALACIONES, CAPACES DE REDUCIR CONSIDERABLEMENTE LA VIDA ÚTIL DE ÉSTAS O PRODUCIR AVERÍAS. SE INCLUYEN LOS SIGUIENTES: ÁCIDO CLORHÍDRICO, NÍTRICO, SULFÚRICO, CARBÓNICO, FÓRMICO, ACÉTICO, LÁCTICO Y BUTÍRICO, LEJÍAS DE SOSA O POTASA, HIDRÓXIDO AMÓNICO, CARBONATO SÓDICO, AGUAS DE MUY BAJA SALINIDAD Y GASES COMO EL SULFURO DE HIDRÓGENO, CLORO, FLUORURO DE HIDRÓGENO, DIÓXIDO DE CARBONO, DIÓXIDO DE AZUFRE, Y TODAS LAS SUSTANCIAS QUE REACCIONANDO CON EL AGUA FORMEN SOLUCIONES CORROSIVAS, COMO LOS SULFATOS Y CLORUROS.
6. **SUSTANCIAS RADIATIVAS:** SUSTANCIAS RADIATIVAS O ISÓTOPOS, EN CUALQUIERA DE SUS FORMAS, DE VIDA MEDIA O CORTA Y/O CONCENTRACIÓN TAL QUE PUEDAN PROVOCAR DAÑOS Y/O PELIGRO AL PERSONAL E INSTALACIONES DE SANEAMIENTO.
7. **SUSTANCIAS NOCIVAS:** CUALQUIER SÓLIDO, LÍQUIDO O GAS, YA SEA PURO O MEZCLADO CON OTROS RESIDUOS, QUE POR SU NATURALEZA Y/O CANTIDAD PUEDAN OCASIONAR CUALQUIER MOLESTIA O PELIGRO PARA LA POBLACIÓN O PARA EL PERSONAL ENCARGADO DE LA LIMPIEZA Y CONSERVACIÓN DE LA RED DE SANEAMIENTO O EDAR.

8. **RESIDUOS QUE PRODUZCAN GASES NOCIVOS:** SE ENTENDERÁN COMO TALES LOS RESIDUOS QUE PRODUZCAN GASES NOCIVOS EN LA ATMÓSFERA DE LA RED DE SANEAMIENTO Y/O EMISARIOS EN CONCENTRACIONES SUPERIORES A LOS LÍMITES SIGUIENTES:

| CC/M ³ DE AIRE | |
|---------------------------------------|-------|
| MONÓXIDO DE CARBONO (CO) | 100 |
| AMONÍACO (NH ₃) | 100 |
| CLORO (CL ₂) | 1 |
| BROMO (BR ₂) | 1 |
| SULFHÍDRICO (SH ₂) | 20 |
| CIANHÍDRICO (CNH) | 10 |
| DIÓXIDO DE AZUFRE (SO ₂) | 10 |
| DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂) | 5.000 |

9. **RESIDUOS TÓXICOS Y PELIGROSOS:** SE ENTENDERÁN COMO TALES AQUELLOS SÓLIDOS, LÍQUIDOS O GASEOSOS, INDUSTRIALES O COMERCIALES, QUE POR SUS CARACTERÍSTICAS TÓXICAS O PELIGROSAS REQUIERAN UN TRATAMIENTO ESPECÍFICO Y/O CONTROL PERIÓDICO DE SUS POTENCIALES EFECTOS NOCIVOS Y, EN ESPECIAL LOS SIGUIENTES:

- 1 ACENAFTENO
- 2 ACRILONITRILLO
- 3 ACROLEÍNA (ACROLÍN)
- 4 ALACLORO

- 5 ALDRINA (ALDRÍN)
- 6 ALQUITRÁN
- 7 ANTIMONIO Y COMPUESTOS
- 8 ANTRACENO
- 9 ASBESTOS
- 10 ATRAZINA
- 11 BENCENO
- 12 BENCIDINA
- 13 BENZO(A)PIRENO
- 14 BERILIO Y COMPUESTOS
- 15 BROMATO
- 16 CADMIO
- 17 CARBONO, TETRACLORURO
- 18 CLORDÁN (CHLORDANE)
- 19 CLORFENVINFÓS (PESTICIDA ORGANOFOSFORADO)
- 20 CLORPIRIFÓS (INSECTICIDA)
- 21 CLOROALCANOS
- 22 CLOROBENCENO
- 23 CLOROLTANO

- 24 CLOROFENOLES
- 25 CLOROFORMO
- 26 CLORONAFTALENO
- 27 COBALTO Y COMPUESTOS
- 28 DIBENZOFURANOS POLICLORADOS
- 29 DICLORODIFENILTRICLOROETANO Y METABOLITOS (DDT)
- 30 DICLOROBENCENOS
- 31 DICLOROBENCIDINA
- 32 1,2-DICLOROETANO
- 33 DICLOROETILENOS
- 34 2,4-DICLOROFENOL
- 35 DICLOROMETANO
- 36 DICLOROPROPANO
- 37 DICLOROPROPENO
- 38 DIELDRINA (DIELDRIN)
- 39 DI(2-ETILHEXIL)FTALATO (DEHP)
- 40 2,4-DIMETILFENOLES O XILENOLES
- 41 DINITROTULENO
- 42 DIURÓN

- 43 ENDOSULFÁN Y METABOLITOS
- 44 ENDRINA (ENDRÍN) Y METABOLITOS
- 45 EPICLORHIDRINA
- 46 ÉTERES HALOGENADOS
- 47 ÉTILBENCENO
- 48 FLUORANTENO
- 49 FTALATOS DE ÉTERES
- 50 HALOMETANOS
- 51 HEPTACLORO Y METABOLITOS
- 52 HEXACLOROBENCENO (HCB)
- 53 HEXACLOROBUTADIENO (HCBD)
- 54 HEXACLOROCICLÓEXANO (HTB, HCCH, HCH, HBT)
- 55 HEXACLOROCICLOPENTADIENO
- 56 HIDRAZOBENCENO (D PHENYLHIDRAZINE)
- 57 HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (PAH)
- 58 ISODRÍN
- 59 ISODRINA
- 60 ISOFORA FSOPHORONE
- 61 ISOPROTURÓN

- 62 MERCURIO
- 63 METOLACLORO
- 64 MOLIBDENO Y COMPUESTOS
- 65 NAFTALENO
- 66 NITROBENCENO
- 67 NITROSAMINAS
- 68 NONILFENOL
- 69 OCTILFENOL
- 70 PLAGUICIDAS
- 71 PENTACLOROBENZENO
- 72 PENTACLOROFENOL (PCP)
- 73 PERCLOROETILENO
- 74 PESTICIDAS
- 75 POLICLORADOS, BIFENILOS (PBC's)
- 76 POLICLORADOS, TRIFENILOS (PCT's)
- 77 SIMAZINA
- 78 2,3,7,8-TETRACLORODIBENZO-P-DIOXINA (TCDD)
- 79 TETRACLOROETENO
- 80 TETRACLOROETILENO

- 81 TRICLOROBENCENOS
- 82 1,1,1-TRICLOROETANO
- 83 TALIO Y COMPUESTOS
- 84 TELURO Y COMPUESTOS
- 85 TERBUTILAZINA
- 86 TITANIO Y COMPUESTOS
- 87 TOLUENO
- 88 TOXAFENO
- 89 TRIBUTILESTAÑO Y COMPUESTOS
- 90 TRICLOROETENO
- 91 TRICLOROETILENO
- 92 TRIHALOMETANOS
- 93 TRIFURALINA
- 94 URANIO Y COMPUESTOS
- 95 VANADIO Y COMPUESTOS
- 96 VINILO, CLORURO DE
- 97 LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS DE LABORATORIO Y COMPUESTOS FARMACÉUTICOS O VETERINARIOS NUEVOS, IDENTIFICABLES O NO Y CUYOS EFECTOS PUEDAN SUPONER RIESGO SOBRE EL MEDIO AMBIENTE O LA SALUD HUMANA

10. **RESTOS SANITARIOS Y FÁRMACOS OBSOLETOS Y CADUCOS** QUE, AÚN NO HABIENDO SIDO CITADOS DE FORMA EXPRESA ANTERIORMENTE, PUEDAN PRODUCIR GRAVES ALTERACIONES EN LAS ESTACIONES DEPURADORAS, AUN EN PEQUEÑAS CONCENTRACIONES, COMO ES EL CASO DE LOS ANTIBIÓTICOS.
- II. **OTROS VERTIDOS:** LOS VERTIDOS QUE NO SATISFAGAN LOS LÍMITES ESTABLECIDOS EN LOS APARTADOS SIGUIENTES, ASÍ COMO CUALQUIERA OTROS QUE DETERMINE LA LEGISLACIÓN.