

SISTEMAS DE RECURSOS HIDRÁULICOS EN MEDIOS VOLCÁNICOS

Tema 10 ; Calidad de aguas , hidroquímica

Juan Carlos Santamarta Cerezal
Ingeniero de Montes e ITOP
Doctor en Ingeniería por la UPM
(ETSICCP, Hidráulica y Energética)

ULL | Universidad
de La Laguna

 **eici**
Escuela de Ingeniería
Civil e Industrial

2

CONTENIDOS

CONTENIDOS

- 1. Introducción.**
- 2. Parámetros medidos.**
- 3. Calidad exigible.**
- 4. Problemas con el flúor.**
- 5. Problemas con nitratos.**

SANTAMARTA JUAN C.

CONTENIDOS

- 6. Intrusión marina.**
- 7. Hidroquímica de las captaciones de Canarias.**
- 8. Calidades exigidas al riego agrícola.**
- 9. Otros métodos geoquímicos isótopos ambientales.**

SANTAMARTA JUAN C.

DESARROLLO DE CONTENIDOS



1. INTRODUCCIÓN



CALIDAD DE AGUAS

- ✓ Este termino es relativo a la **composición del agua** en la medida en que esta es afectada por la **concentración de sustancias** ya sea toxicas o producidas por procesos naturales.

SANTAMARTA JUAN C.

2. PARÁMETROS MEDIDOS

☀️ PARÁMETROS HIDROQUÍMICOS MEDIDOS

- ✓ En un, la mayoría de las sustancias disueltas **agua subterránea natural de origen volcánico** se encuentran en estado iónico.
- ✓ Unos cuantos de estos iones se encuentran presentes casi siempre y su suma representa casi la totalidad de los iones presentes; **estos son los iones fundamentales.**

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ IONES FUNDAMENTALES

- ✓ Cloruro Cl^-
- ✓ Sodio Na^+
- ✓ Sulfato SO_4^{--}
- ✓ Calcio Ca^{++}
- ✓ Bicarbonato CO_3H^-
- ✓ Magnesio Mg^{++}

SANTAMARTA JUAN C.

ALGUNOS CATIONES

✓ Fe^{+++} , Mn^{++} , NH_4^+ , H^+ , Al^{+++} ...

SANTAMARTA JUAN C.

GASES

✓ Entre los gases deben considerarse como fundamentales el anhídrido carbónico (CO_2) y el oxígeno disuelto (O_2), aunque no es frecuente que se analicen en **aguas subterráneas en el acuífero volcánico.**

SANTAMARTA JUAN C.

☀ IONES METÁLICOS

- ✓ Los iones metálicos derivados del As, Sb, Cr, Pb, Cu, Zn, Ba, V, Hg, U, etc., a veces están en cantidades medibles, pero en general son elementos traza. El resto de posibles iones están casi siempre en cantidades menores que 0.0001 ppm.

SANTAMARTA JUAN C.

☀ SALINIDAD

- ✓ Las aguas subterráneas llamadas de recarga contienen como máximo 1.000 o quizá 2000 ppm con sustancias disueltas.
- ✓ Hasta 5.000 ppm se llaman aguas salobres.
- ✓ Hasta 40.000 ppm aguas saladas.

SANTAMARTA JUAN C.

3.CALIDAD EXIGIBLE



PARÁMETROS A CONTROLAR

- ✓ **Valor paramétrico:** Nivel máximo o mínimo fijado para cada uno de los parámetros a controlar.

- ✓ **Parámetros:**
 - ▶ Microbiológicos.
 - ▶ Parámetros químicos.
 - ▶ Parámetros indicadores.
 - ▶ Radiactividad.



ANÁLISIS DE CONTROL

- ✓ **Parámetros básicos:** Olor, sabor, color, turbidez, conductividad, pH, NH_4^+ , *E. Coli* y Coliformes.
- ✓ **Parámetros a determinar al menos 1 vez a la salida de la ETAP/depósito regulador y/o distribución:** Hierro, aluminio, recuento de colonias a 22°C, *C. Perfringens*.
- ✓ **Parámetros en función del método de desinfección:** NO_2^- (cloraminación), Cl_2 libre residual, Cl_2 combinado.

SANTAMARTA JUAN C.

OTROS ANÁLISIS

- ✓ **Examen organoléptico:** Olor, sabor, color y turbidez.
- ✓ **Examen completo.**

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ PARÁMETROS QUÍMICOS I

Fuente ;
REAL DECRETO 140/2003

Parámetro	Valor paramétrico
Antimonio	5,0 µg/l
Hasta el 31/12/2003 ...	10,0 µg/l
Arsénico	10 µg/l
Hasta el 31/12/2003 ...	50 µg/l
Benceno	1,0 µg/l
Hasta el 31/12/2003 ...	— µg/l
Benzo(α)pireno	0,010 µg/l
Boro	1,0 mg/l
Bromato:	
A partir de 01/01/2009	10 µg/l
De 01/01/2004 a	
31/12/2008	25 µg/l
Hasta el 31/12/2003 ...	— µg/l
Cadmio	5,0 µg/l
Cianuro	50 µg/l
Cobre	2,0 mg/l
Cromo	50 µg/l
1,2-Dicloroetano	3,0 µg/l
Hasta el 31/12/2003 ...	— µg/l
Fluoruro	1,5 mg/l
Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPA) ...	0,10 µg/l

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ PARÁMETROS QUÍMICOS II

Fuente ;
REAL DECRETO 140/2003

Suma de:	
Benzo(b)fluoranteno	µg/l
Benzo(ghi)perileno	µg/l
Benzo(k)fluoranteno	µg/l
Indeno(1,2,3-cd)pireno ..	µg/l
Mercurio	1,0 µg/l
Microcistina	1 µg/l
Hasta el 31/12/2003 ...	— µg/l
Níquel	20 µg/l
Hasta el 31/12/2003 ...	50 µg/l
Nitrato	50 mg/l
Nitritos:	
Red de distribución	0,5 mg/l
En la salida de la ETAP/depósito	0,1 mg/l
Total de plaguicidas	0,50 µg/l
Plaguicida individual	0,10 µg/l
Excepto para los casos de:	
Aldrín	0,03 µg/l
Dieldrín	0,03 µg/l
Heptacloro	0,03 µg/l
Heptacloro epóxido	0,03 µg/l
Plomo:	
A partir de 01/01/2014	10 µg/l
De 01/01/2004 a	
31/12/2013	25 µg/l
Hasta el 31/12/2003 ...	50 µg/l

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Fuente ;
REAL DECRETO 140/2003

Parámetro	Valor paramétrico	Notas
1. Escherichia coli	0 UFC en 100 ml	
2. Enterococo	0 UFC en 100 ml	
3. Clostridium perfringens (incluidas las esporas) ..	0 UFC en 100 ml	1 y 2

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ PARÁMETROS INDICADORES

Fuente ;
REAL DECRETO 140/2003

Parámetro	Valor paramétrico	
31. Bacterias coliformes	0 UFC	En 100 ml
32. Recuento de colonias a 22 °C		
A la salida de ETAP	100 UFC	En 1 ml
En red de distribución	Sin cambios anómalos	
33. Aluminio	200	µg/l
34. Amonio	0,50	mg/l
35. Carbono orgánico total	Sin cambios anómalos	mg/l
36. Cloro combinado residual	2,0	mg/l
37. Cloro libre residual	1,0	mg/l
38. Cloruro	250	mg/l
39. Color	15	mg/l Pt/Co
40. Conductividad	2.500	µS/cm ⁻¹ a 20 °C
41. Hierro	200	µg/l
42. Manganeseo	50	µg/l
43. Olor	3 a 25 °C	Índice de dilución
44. Oxidabilidad	5,0	mg O ₂ /l
45. pH:		
Valor paramétrico mínimo	6,5	Unidades de pH
Valor paramétrico máximo	9,5	Unidades de pH
46. Sabor	3 a 25 °C	Índice de dilución
47. Sodio	200	mg/l

SANTAMARTA JUAN C.

4.PROBLEMAS CON EL FLÚOR

CAUSAS FLÚOR EN AGUAS

- ✓ **Contaminación industrial: HF**
- ✓ **Sobrefluoración de las aguas.**
- ✓ **Contaminación natural de las aguas.**
 - ▶ **Vulcanismo.**

INGESTAS RECOMENDADAS

- ✓ **Adultos: 1´5-4 mg/p/día.**
- ✓ **Primer año de vida: 0´1-1 mg/p/día.**
- ✓ **Segundo y tercer año de vida: 0´5-1´5 mg/p/día.**
- ✓ **Adolescentes: 1-2´5 mg/p/día.**

SANTAMARTA JUAN C.

PROBLEMAS

- ✓ **≈ 8 mg/L \rightarrow Aumento de la densidad ósea con calcificaciones ligamentarias, especialmente en la columna vertebral (espondilitis deformante).**
- ✓ **> 8 mg/L \rightarrow Alteraciones tiroideas, retraso del crecimiento y lesiones renales.**

SANTAMARTA JUAN C.

5. PROBLEMAS CON NITRATOS

FORMAS DE LOS NITRATOS

- ✓ NO_3^- estable y muy soluble en agua.
- ✓ NO_2^- muy reactivo y también muy soluble.

FUENTES

- ✓ **F. naturales.**
- ✓ **F. antropogénicas.**

SANTAMARTA JUAN C.

FUENTES ANTROPOGÉNICAS

- ✓ **Fertilización nitrogenada.**
- ✓ **Excretas de animales.**
- ✓ **Contaminación del aire.**

SANTAMARTA JUAN C.

NIVELES GUÍA

✓ Niveles legislativos:

▶ NO_3^- Nivel guía 25 mg/L

▶ CMA 50 mg/L

▶ NO_2^- CMA 0,1mg/L

SANTAMARTA JUAN C.

6. INTRUSIÓN MARINA

☀️ INTRUSIÓN MARINA

- ✓ Uno de los procesos de contaminación más frecuentes es la salinización de sus aguas por el avance del agua de mar tierra adentro, fenómeno que se conoce con el nombre de **intrusión marina**.

SANTAMARTA JUAN C.

• POZO COSTERO

Foto ;
Santamarta JC

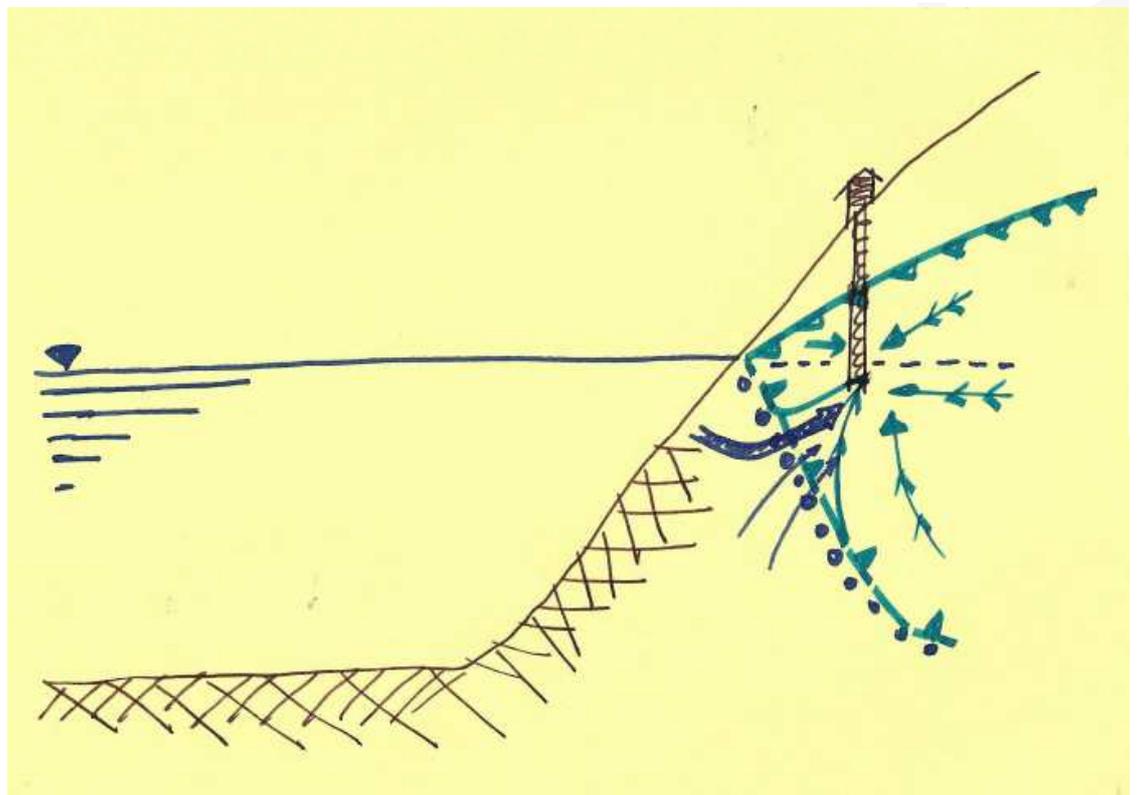


☀️ INTRUSIÓN MARINA

- ✓ Cuando se modifican las condiciones naturales, bien por incremento del flujo de agua dulce debido a fuertes lluvias o a recargas inducidas (recarga artificial, riego con aguas superficiales, etc.), bien por disminución de ese mismo flujo debido esencialmente a **bombeos en el acuífero**, el equilibrio agua dulce-agua salada, se desplaza en un sentido u otro.

SANTAMARTA JUAN C.

• ESQUEMA PROCESO INTRUSIÓN MARINA



INTRUSIÓN MARINA

- ✓ **Es el proceso de movimiento temporal o permanente del agua salada tierra adentro desplazando al agua dulce, este proceso es consecuencia de;**
 - ▶ **Disminución del flujo de agua dulce hacia el mar debido a la intensa explotación del acuífero por bombeos de pozos costeros.**

SANTAMARTA JUAN C.

INTERFASE MAR-AGUA DULCE

- ✓ **Coexistencia de dos fases físico-químicas diferentes:**
 - ▶ **Agua dulce y agua salada.**
 - ▶ **Son fluidos de densidad, temperatura y viscosidad diferente y, desde luego, muy diferente composición química.**
 - ▶ **Existencia de un límite de separación entre ambas, denominado interfase.**

SANTAMARTA JUAN C.

EXPRESIÓN GHYBEN-HERZBERG

- ✓ Por lo tanto es un problema **hidroquímico** que no tiene que ver con la permeabilidad del terreno

SANTAMARTA JUAN C.

7.HIDROQUÍMICA DE LAS CAPTACIONES DE CANARIAS

☀ LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE CANARIAS

- ✓ Las aguas basales en general, de las islas Canarias Occidentales son de alta salinidad con una conductividad entre 1.250 microhmios por cm y 2.700 microhmios por cm.

SANTAMARTA JUAN C.

☀ LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE CANARIAS

- ✓ En estas aguas, se observa la relación catiónica $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++}$, (las concentraciones máximas y mínimas de los iones Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+ son del orden siguiente:

▶ Ca^{++} 0,38-1,56 mq/L

▶ Mg^{++} 2,82-3,94 mq/L

▶ K^+ 0,20-0,90 mq/L

SANTAMARTA JUAN C.

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE CANARIAS

- ✓ La temperatura de las aguas, son inferiores a la temperatura ambiente del orden de 17°.
- ✓ El Boro no se encuentra presente en estas aguas.
- ✓ Los valores de pH, son ligeramente superiores a 7.

SANTAMARTA JUAN C.

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE CANARIAS

- ✓ Se consideran a las aguas basales como de tipo *Clorurado sódico* al ser los iones Cl^- y Na^+ los que predominan en la composición química de esta agua.

SANTAMARTA JUAN C.

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE CANARIAS

- ✓ Según otras clasificaciones pueden considerarse como **cloruradas magnésico-sódicas** y **bicarbonatadas-cloruradas sódicas o magnésico –sódicas**. (Clasificación de Souline y Zakharina).
- ✓ Según las sales disueltas, se consideran como aguas salinas, con una salinidad primaria muy superior a la salinidad y alcalinidad secundarias.
 - ▶ El cloruro magnésico es la sal disuelta que predomina.

SANTAMARTA JUAN C.

ANÁLISIS DE AGUA DE CANARIAS

- ✓ Se acompañan algunas **hidroquímicas** de las islas Canarias.

SANTAMARTA JUAN C.

ISLA DE LA PALMA MANANTIAL BARBUZANO

Fuente : Aguas
de La Palma

Parámetro físico-químico	mg/L
pH (sin unidades)	6,89
Residuo seco a 180°C	84
Bicarbonato (HCO ₃)	40
Sulfato (SO ₄)	1,7
Cloruro (Cl)	4,5
Calcio (Ca)	1,5
Magnesio (Mg)	1,6
Sodio (Na)	12,2
Potasio (K)	3,2
Sílice (SiO ₂)	35,1
Flúor (F)	0,3

SANTAMARTA JUAN C.

VILAFLOR AGUAS DE CHASNA

Fuente : Aguas
de Vilaflor

Parámetro físico-químico	mg/L
pH (sin unidades)	6,89
Residuo seco a 180°C	84
Bicarbonato (HCO ₃)	40
Sulfato (SO ₄)	1,7
Cloruro (Cl)	4,5
Calcio (Ca)	1,5
Magnesio (Mg)	1,6
Sodio (Na)	12,2
Potasio (K)	3,2
Sílice (SiO ₂)	35,1
Flúor (F)	0,3

SANTAMARTA JUAN C.


VALLE DE LA OROTAVA
Fuente : Aguas
Fonteide

Parámetro físico-químico	mg/L
pH (sin unidades)	s.d
Residuo seco a 180°C	s.d.
Bicarbonato (HCO ₃)	18,90
Sulfato (SO ₄)	14,33
Cloruro (Cl)	116,30
Calcio (Ca)	8,34
Magnesio (Mg)	33,09
Sodio (Na)	108,03
Potasio (K)	1,75
Sílice (SiO ₂)	s.d
Flúor (F)	s.d

SANTAMARTA JUAN C.


ACUÍFERO COSTERO EN EL HIERRO
Fuente : Cabildo
de El Hierro

Parámetro físico-químico	mg/L
pH (sin unidades)	s.d
Residuo seco a 180°C	s.d.
Bicarbonato (HCO ₃)	18,90
Sulfato (SO ₄)	14,33
Cloruro (Cl)	116,30
Calcio (Ca)	8,34
Magnesio (Mg)	33,09
Sodio (Na)	108,03
Potasio (K)	1,75
Sílice (SiO ₂)	s.d
Flúor (F)	s.d

SANTAMARTA JUAN C.

GOMERA GALERÍA SAN SEBASTIÁN DE LOS REYES

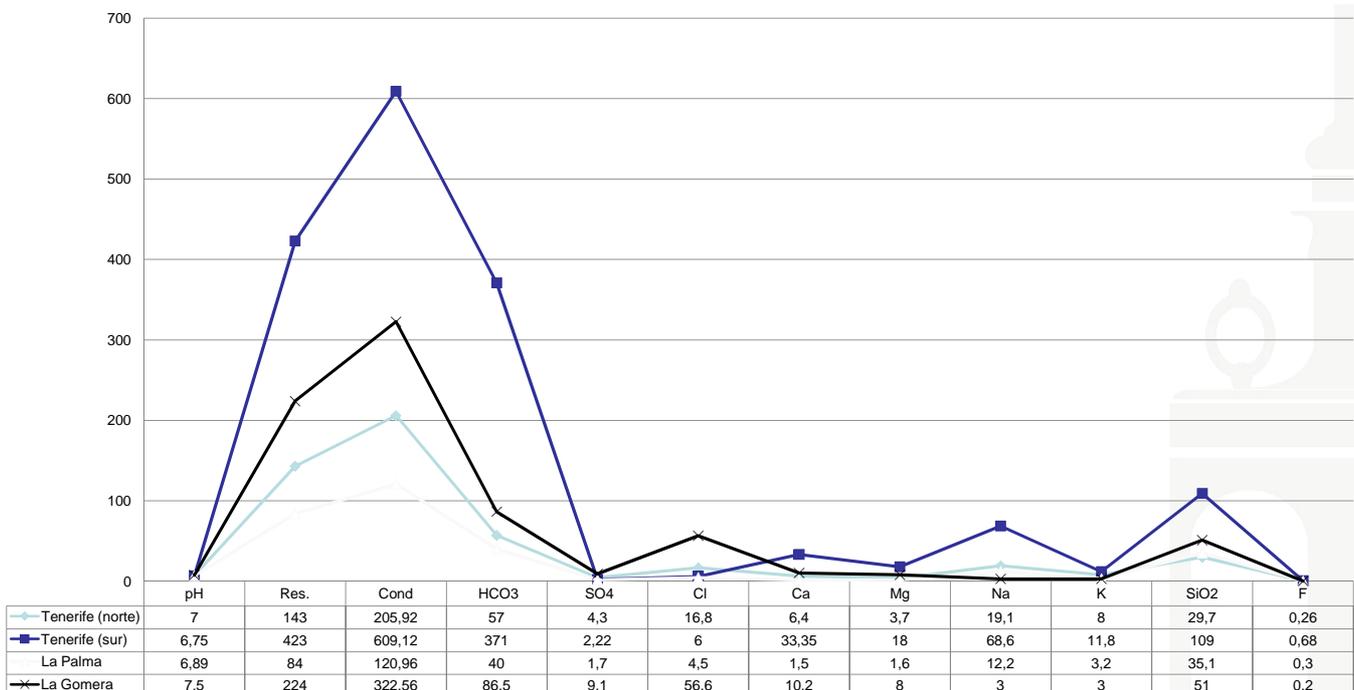
Fuente :
Gobierno de Canarias.

Parámetro físico-químico	mg/L
pH (sin unidades)	7,5
Residuo seco a 180°C	224
Conductividad	320 µsiemens por cm
Bicarbonato (HCO ₃)	86,5
Sulfato (SO ₄)	9,1
Cloruro (Cl)	56,6
Calcio (Ca)	10,2
Magnesio (Mg)	8,0
Sodio (Na)	3,0
Potasio (K)	3,0
Sílice (SiO ₂)	51,0
Flúor (F)	< 0,2

SANTAMARTA JUAN C.

COMPARATIVA HIDROQUÍMICAS

Comparativa hidroquímicas



SANTAMARTA JUAN C.

8. CALIDADES EXIGIDAS AL RIEGO AGRÍCOLA

CALIDAD EXIGIDA AL AGUA DE RIEGO AGRÍCOLA

Expresado en mg/L salvo que se indique lo contrario

REFERENCIA	EXPRESADO COMO	VALOR (mg/L)
Aluminio	Al	5,0
Arsénico	As	0,1
Berilio	Be	0,1
Cadmio	Cd	0,01
zinc	Zn	2,0
Cobalto	Co	0,05
Cobre	Cu	0,2
Cromo	Cr ⁶⁺	0,1
Flúor	F	1,0
Hierro	Fe	5,0
Litio	Li	2,5
Manganeso	Mn	0,2
Molibdeno	Mo	0,01
Níquel	Ni	0,2
pH	Unidades	4,5 - 9,0
Plomo	Pb	5,0
Selenio	Se	0,02
Vanadio	V	0,1

9. OTROS MÉTODOS GEOQUÍMICOS ISÓTOPOS AMBIENTALES

INTRODUCCIÓN

- ✓ Las técnicas químicas-isotópicas constituyen métodos muy adecuados para obtener modelos hidrogeológicos del acuífero de máxima utilidad en las aguas subterráneas.

INTRODUCCIÓN

- ✓ Son un instrumento de **validación de otras técnicas hidrogeológicas**, y tienen probada eficacia en la resolución de problemas relacionados con calidad del agua, mezclas de agua, profundidad de circulación, o localización de recargas y de fuentes de contaminación.

SANTAMARTA JUAN C.

ISÓTOPO AMBIENTAL

- ✓ Los isótopos ambientales son un subgrupo de los isótopos, tanto isótopos estables como radioactivos, que son el objeto de la geoquímica de isótopos.
- ✓ Pueden caracterizar tanto el **acuífero volcánico** como el ciclo hidrológico.

SANTAMARTA JUAN C.

ISÓTOPOS AMBIENTALES

- ✓ Deuterio
- ✓ cloro-36
- ✓ Carbono-13
- ✓ Carbono-14
- ✓ Nitrógeno-15
- ✓ Oxígeno-18
- ✓ Silicio-29
- ✓ Tritio

SANTAMARTA JUAN C.

SOSTENIBILIDAD DE LA EXPLOTACIÓN

- ✓ La sostenibilidad de la explotación queda garantizada si sólo se extraen **aguas jóvenes**.
- ✓ El bombeo de **aguas viejas** o de **reserva** implica la no sostenibilidad del acuífero y extraer **aguas fósiles**.
- ✓ Por ello es interesante conocer la **edad** aproximada de las aguas que estamos extrayendo del acuífero volcánico.

SANTAMARTA JUAN C.

PALEOAGUAS

- ✓ **Son aguas de reserva y tienen como mínimo 10.000 años de antigüedad.**
- ✓ **Gran contenido en sales.**

SANTAMARTA JUAN C.

ISÓTOPO O-18 Y DEUTERIO

- ✓ **Determinan origen y mezclas del agua.**

SANTAMARTA JUAN C.

ISÓTOPOS-EDAD DEL AGUA C-14 , C-13 Y CL-36

- ✓ En la circulación del agua por la zona saturada, los **isótopos radiactivos de tritio, C-14 y Cl-36** , decaen por desintegración, y su concentración residual indica la edad del agua (tiempo transcurrido desde su infiltración).
- ✓ Al mismo tiempo el agua disuelve He-4 radiactivo, proporciona otra indicación de **la edad**.
- ✓ **C-14 Y C-13** , Límite de **DATACIÓN 25.000 años**.

SANTAMARTA JUAN C.

CLORO-36

- ✓ **Origen cosmogénico o antrópico.**
- ✓ **Muestras simples.**
- ✓ **Rango de datación 100.000 a 1.000.000 años.**

SANTAMARTA JUAN C.

GASES NOBLES

- ✓ **Disueltos en gases atmosféricos.**
- ✓ **Determina áreas de recarga y paleotemperaturas.**
- ✓ **Profundidad de circulación de aguas subterráneas.**

SANTAMARTA JUAN C.

N-15 Y S-34

- ✓ **Diferencia diferentes fases del ciclo del S y el N.**
- ✓ **Determina contaminación por compuestos nitrogenados.**

SANTAMARTA JUAN C.

HELIO-4

- ✓ La desintegración del uranio y del torio va acompañado de la emisión de He-4.
- ✓ Límites de datación;
 - ▶ 10.000 a 10.000.000 años.

SANTAMARTA JUAN C.

TEMPERATURA

- ✓ Las variaciones en temperatura también nos sirven para “trazar” el agua.
- ✓ Generalmente a partir de los **15 metros** la temperatura es próxima al valor natural .

SANTAMARTA JUAN C.

TEMPERATURA

- ✓ A lo largo del flujo subterráneo el agua puede calentarse por el **gradiente geotérmico**.
- ✓ La temperatura puede indicar la **profundidad de circulación**, y contribuir a la comprensión del funcionamiento del acuífero.

SANTAMARTA JUAN C.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- ✓ **LOPEZ VERA , F. (2000).Avances en estudios de recursos hídricos: Métodos geoquímico-isótopos. I GME**
- ✓ **HARDINSSON DE LA TORRE , A. (2011).Análisis y calidad de aguas. Universidad de Verano de Adeje. Tenerife**
- ✓ **REAL DECRETO 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.**

SANTAMARTA JUAN C.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- ✓ **Fernández Caldas, E. (1974).Características químicas de las aguas subterráneas de las Islas Canarias Occidentales : Tenerife, La Palma, Gomera y Hierro.**

SANTAMARTA JUAN C.

LICENCIA Y MÁS INFORMACIÓN

CITAR ESTE CURSO /CITE THIS COURSE

- ✓ **Santamarta Cerezal , Juan Carlos. *Sistemas de recursos hidráulicos en medios volcánicos*. Otoño 2011.(Universidad de La Laguna). <http://ocw.ull.es/> (fecha de acceso). License: Creative Commons BY-NC-SA.**

LICENCIA/LICENCE

- ✓ Para más información sobre el uso de estos materiales y la licencia Creative Commons, consulta nuestros Terminos de uso
- ✓ For more information about using these materials and the Creative Commons license, see our Terminos de uso.

SANTAMARTA JUAN C.

PARA MÁS INFORMACIÓN

jcsanta@ull.es

<http://webpages.ull.es/users/jcsanta/>

<http://hidrogeotecnicas.blogspot.com/>

SANTAMARTA JUAN C.