

Sistemas de Recursos Hidráulicos en medios volcánicos

Juan Carlos Santamarta Cerezal primera edición 2011

Sistemas de
recursos hidráulicos
en medios volcánicos

Juan Carlos
Santamarta Cerezal

Iª Edición

2011

primera edición 2011

Sistemas de Recursos Hidráulicos en medios volcánicos

Juan Carlos Santamarta Cerezal primera edición 2011

Sistemas de Recursos Hidráulicos en medios volcánicos

Juan Carlos Santamarta Cerezal primera edición 2011

Sistemas de Recursos Hidráulicos en medios volcánicos

Juan Carlos Santamarta Cerezal primera edición 2011

Sistemas de Recursos Hidráulicos en medios volcánicos

Juan Carlos Santamarta Cerezal primera edición 2011



SISTEMAS DE RECURSOS HIDRÁULICOS EN MEDIOS VOLCÁNICOS

Edita; Hidrogeotécnicas-JCSC

La Laguna. 38201

SC Tenerife. Islas Canarias

© 2011, Juan Carlos Santamarta Cerezal

Depósito legal; TF-

ISBN:

Diseño y maquetación; Juan Carlos Santamarta Cerezal

1ª Edición: 2011

Bajo las sanciones establecidas por las leyes, quedan rigurosamente prohibidas sin la autorización por escrito del titular del copyright, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio mecánico o electrónico, actual o futuro – incluyendo las fotocopias y la difusión a través de internet – y la distribución de ejemplares de esta edición mediante alquiler o préstamo públicos.

IMPRESO EN ESPAÑA – PRINTED IN SPAIN



Índice de contenidos

Capítulo 1;	Hidrometeorología
Capítulo 2;	Marco físico. Geología.
Capítulo 3;	Geohidrogeología.
Capítulo 4;	Minería del agua.
Capítulo 5;	Hidrología superficial.
Capítulo 6;	Aprovechamientos superficiales.
Capítulo 7;	Depuración y reutilización de aguas.
Capítulo 8;	Gestión de los recursos hídricos.
Capítulo 9;	Precipitación horizontal.
Capítulo 10;	Calidad de aguas. Hidroquímica.
Capítulo 11;	Desalación de aguas.



SISTEMAS DE RECURSOS HIDRÁULICOS EN MEDIOS VOLCÁNICOS

Tema 1 ; Hidrometeorología

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



2

CONTENIDOS

CONTENIDOS

- ✓ **1. Conceptos generales.**
- ✓ **2. Parámetros de estudio.**

SANTAMARTA JUAN C.

DESARROLLO DE CONTENIDOS

1. CONCEPTOS GENERALES

CONCEPTOS GENERALES

- ✓ La **Hidrometeorología** es una rama de ciencias de la atmósfera (Meteorología) y la **Hidrografía** que estudia la transferencia de agua y energía entre la superficie y la atmósfera.

CONCEPTOS GENERALES

✓ **Temas de interés (entre otros).**

- ▶ **El ciclo del agua.**
- ▶ **Circulación atmosférica asociados con el agua de precipitación.**
- ▶ **Modelización numérica de fenómenos hidrometeorológicos.**

SANTAMARTA JUAN C.

✓ **Temas de interés (entre otros)**

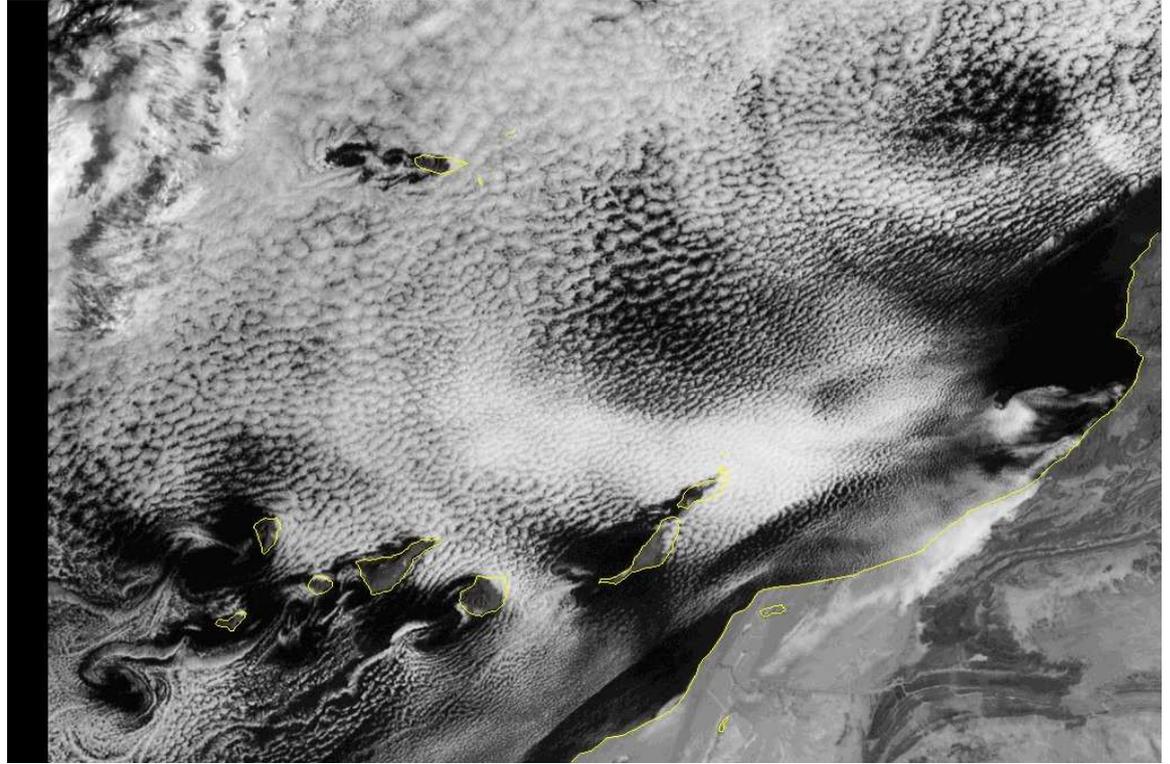
- ▶ **Los problemas urbanos de las inundaciones.**
- ▶ **El balance hídrico y la hidrología de superficie.**

SANTAMARTA JUAN C.

• SATÉLITE

Foto : Meteosat

Canarys@HRV.did
Meteosat 9 (MSG-2) HRIT (visible) - Wednesday, 23 February 2011 @ 09:00:00 (GMT+0:00) - Visible, 0.7µm



☀ INTERÉS

- ✓ Conocer el recurso hídrico disponible en una isla y su posible aprovechamiento.
- ✓ Conocer los problemas asociados a fenómenos meteorológicos inusuales.
 - ▶ Lluvias torrenciales.

☀ RÉGIMEN TORRENCIAL

- ✓ Lluvias en periodos cortos pero de gran intensidad , no hay suficiente tiempo para su evacuación por lo tanto los barrancos fluyen con agua y acarreos.

SANTAMARTA JUAN C.

• ARRASTRE DE SÓLIDOS

Foto ;
Santamarta JC



☀️ ESTACIÓN METEROLÓGICA

- ✓ Es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos.

SANTAMARTA JUAN C.

• ESTACIÓN METEROLÓGICA

Foto ;
Santamarta JC



2. PARÁMETROS DE ESTUDIO



PARÁMETROS DE ESTUDIO

- ✓ Radiación solar directa.
- ✓ Evapotranspiración.
- ✓ Humedad relativa.



PARÁMETROS DE ESTUDIO

- ✓ **Velocidad del viento.**
- ✓ **Precipitación.**
- ✓ **Temperatura.**

SANTAMARTA JUAN C.

RADIACIÓN SOLAR DIRECTA

- ✓ **Piranómetro**, medida de la radiación solar global (directa + difusa).
- ✓ **Heliógrafo**, medida de las horas de luz solar.

SANTAMARTA JUAN C.

EVAPOTRANSPIRACIÓN

✓ **Pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación (respiración de la vegetación).**

▶ **Se expresa en mm por unidad de tiempo.**

SANTAMARTA JUAN C.

INDICADOR DE HUMEDAD O ARIDEZ CLIMÁTICA

✓ **DIFERENCIA ENTRE LA ;**

**ETP (EVAPOTRANSPIRACIÓN) –
PP (PRECIPITACIÓN)**

SANTAMARTA JUAN C.

EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)

- ✓ **Máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, que se desarrolla en óptimas condiciones, y en el supuesto caso de no existir limitaciones en la disponibilidad de agua.**
- ✓ **Depende exclusivamente de las condiciones climáticas.**

SANTAMARTA JUAN C.

EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA O EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA (ET₀)

- ✓ **Depende exclusivamente de las condiciones climáticas.**
- ✓ **Aplicada a un cultivo específico, estándar o de referencia.**

SANTAMARTA JUAN C.

EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL, ACTUAL O EFECTIVA (ETR)

- ✓ De difícil cálculo.
- ✓ Influye la humedad del suelo.
- ✓ Influye la demanda hídrica del cultivo.
- ✓ Corrige la ETP o la ETO con un factor K_c que depende de la humedad del suelo y el tipo de vegetación.

SANTAMARTA JUAN C.

HUMEDAD RELATIVA

- ✓ **Psicrómetro o higrómetro**, medida de la humedad relativa del aire y la temperatura del punto de rocío.

SANTAMARTA JUAN C.

VELOCIDAD DEL VIENTO

- ✓ **Anemómetro**, medida de la velocidad del viento y veleta para registrar su dirección.
- ✓ **Veleta**, que indica la dirección del viento.

SANTAMARTA JUAN C.

• MEDICIÓN DE VIENTO

Foto ;
Santamarta JC



☀️ PRECIPITACIÓN

- ✓ **Pluviómetro;** medida de la cantidad de precipitación.
- ✓ **Pluviógrafo** instrumento que por medio de un sistema de grabación mecánica, registrar gráficamente la cantidad de lluvia en un cierto intervalo de tiempo (diario, semanal, etc.).
 - ▶ La cantidad de agua caída se expresa en milímetros de altura o litros por metro cuadrado.

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ CLASIFICACIÓN DE LLUVIAS

CLASE	INTENSIDAD MEDIA EN UNA HORA (mm/h)
Débiles	Menor o igual que 2
Moderadas	Entre 2 y 15
Fuertes	Entre 15 y 30
Muy Fuertes	Entre 30 y 60
Torrenciales	Mayor de 60

SANTAMARTA JUAN C.

• PLUVIÓMETRO

Foto :
Santamarta JC



☀️ TEMPERATURA

- ✓ **Termómetro**, medida de temperaturas, en diversas horas del día.
- ✓ **Termómetro de mínima** junto al suelo, mide la temperatura mínima a una distancia de 15 cm sobre el suelo.

☀ TOMA DE DATOS

- ✓ La mayor parte de las estaciones meteorológicas están automatizadas requiriendo un mantenimiento ocasional.
- ✓ Para la medida de variables en mares y océanos se utilizan sistemas especiales dispuestos en boyas meteorológicas.

SANTAMARTA JUAN C.

• TOMA AUTOMÁTICA DE DATOS

Foto ;
Santamarta JC



SINGULARIDADES EN CANARIAS

- ✓ **Las islas son como continentes.**
- ✓ **Alta variabilidad climática.**
- ✓ **Régimen torrencial.**
- ✓ **Concentración de lluvias en las dorsales.**
- ✓ **Fenómeno de precipitación de niebla o lluvia horizontal.**

SANTAMARTA JUAN C.

RÉGIMEN TORRENCIAL (CONSECUENCIAS)

- ✓ **Barrancos secos durante el año.**
- ✓ **Barrancos con crecidas violentas y destructoras en ciertos momentos.**

SANTAMARTA JUAN C.

RÉGIMEN TORRENCIAL (CONSECUENCIAS)

- ✓ **Erosión hídrica.**
- ✓ **Transporte de acarreos y sedimentos.**
- ✓ **Destrucción de infraestructuras.**

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.**

SANTAMARTA JUAN C.

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/>

SISTEMAS DE RECURSOS HIDRÁULICOS EN MEDIOS VOLCÁNICOS

Tema 2 ; Marco físico , geología volcánica

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



2

CONTENIDOS

CONTENIDOS

- ✓ **1.introducción.**
- ✓ **2.Tipos de erupciones.**
- ✓ **3.Materiales volcánicos.**

SANTAMARTA JUAN C.

DESARROLLO DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

- ✓ El **vulcanismo** se produce cuando el material fundido del interior de la Tierra sale a la superficie a través de grietas, fisuras y orificios.
- ✓ A este material que sale se lo denomina **lava**, se caracteriza porque se enfría rápidamente y libera sus gases disueltos.

• VOLCÁN DEL TEIDE (TENERIFE)

Foto :
Santamarta JC

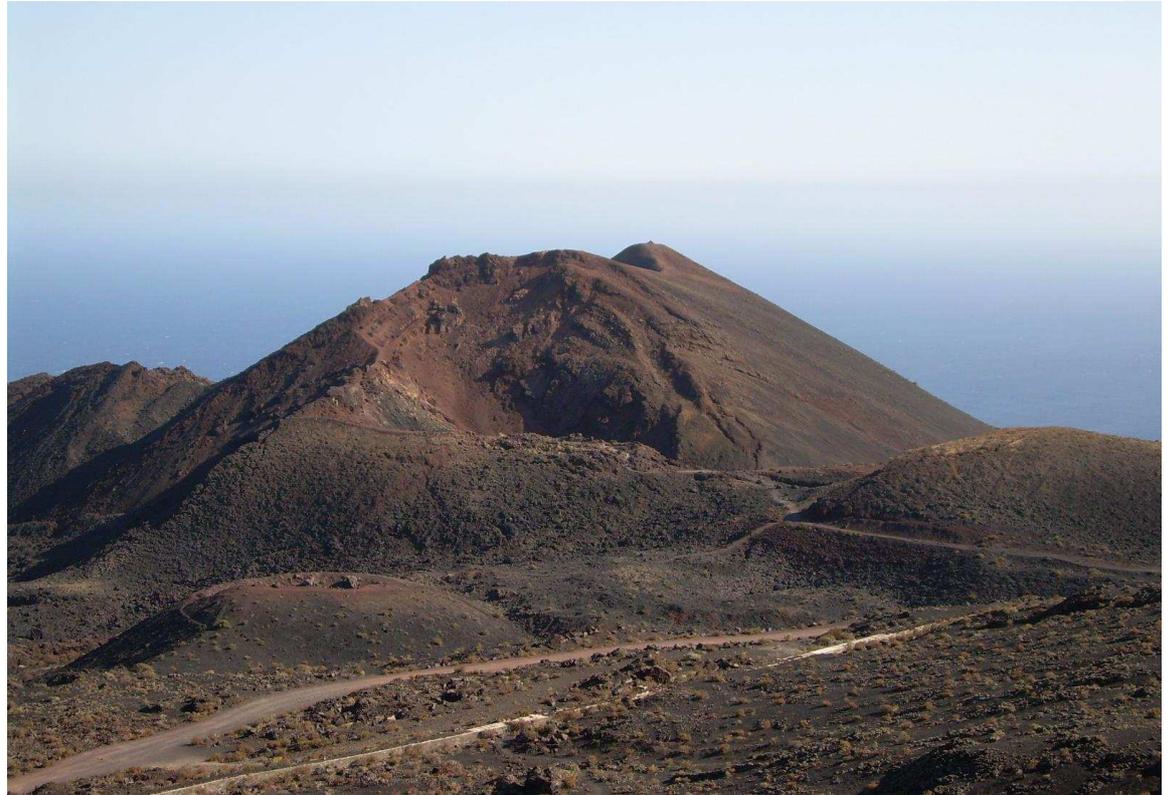


☀️ INTRODUCCIÓN

- ✓ Por otra parte, algunos de los minerales a altas temperatura de consolidación se forman y se separan del **magma**.
- ✓ De acuerdo a la viscosidad del material, varían las características de la erupción volcánica.

• VOLCÁN DE SAN ANTONIO

Foto :
Santamarta JC



☀ FORMAS DE EMISIÓN

- ✓ Si el material sale a la superficie por una fisura o grieta del terreno, se originan mantos de lava , que se alejan del lugar de emisión, cubriendo una gran superficie.
- ✓ La sucesiva salida de material, puede producir la formación de mesetas basálticas.

☀ FORMAS DE EMISIÓN

- ✓ Si el material sale por un orificio, da origen a la formación de un **cono volcánico**, cuya forma dependerá del tipo de erupción.
- ✓ Por otra parte a lo largo de su historia, un **cono volcánico** puede variar su tipo de erupción, es decir, pasar de formas más violentas a menos violentas y viceversa.

SANTAMARTA JUAN C.

• AVANCE DE LA LAVA EN EL TEIDE (TENERIFE)

Foto ;
Santamarta JC



COLADA

- ✓ Es un manto de magma emitido por un volcán durante sus erupciones.
- ✓ Una colada lineal , se extiende a lo largo de la pendiente de la ladera que parte del cono del volcán: en aquellos cuyas erupciones se efectúan por fisuras, el derrame de magma puede formar extensos campos o *mantos de lava*.

SANTAMARTA JUAN C.

COLADA AA

- ✓ **Aa** "pedregosa con lava áspera" están caracterizadas por su superficie plana irregular, resultante de la pérdida rápida de gases.
- ✓ Es un tipo de lava basáltica que tiene una superficie de bloques ásperos y desiguales, y rugosidades.
 - ▶ Avanzan lentamente a una velocidades de 5 a 50 metros por hora, producen numerosos poros y vesículas.

SANTAMARTA JUAN C.

PAHOEHOE

- ✓ **Son generalmente coladas de lavas basálticas.**
 - ▶ Presenta rugosidades que se asemejan a cuerdas, lo que le da el nombre de *lava cordada*.
- ✓ **Su superficie una vez solidificada es ondulada, cordada e incluso lisa.**
 - ▶ Estas superficies se deben al movimiento muy fluido de la lava bajo una corteza que se va coagulando.

SANTAMARTA JUAN C.

PILOW LAVAS

- ✓ **Son lavas basálticas solidificadas en un ambiente subacuático.**
 - ▶ Tienen una apariencia que se asemeja a almohadas apiladas.
 - ▶ Esta denominación se debe a su sección aproximadamente esférica, semejante a almohadas.
- ✓ **Las lavas en almohadilla se forman en las profundidades marinas, pero también cuando las lavas subaéreas que se deslizan por las vertientes entran en contacto con el mar.**

SANTAMARTA JUAN C.

• PAHOEHOE

Foto :
Santamarta JC



☀ MATERIALES VOLCÁNICOS

✓ El material básico

- ▶ Alta temperatura, de aproximadamente 1000/1200°C.
- ▶ Bajo contenido de sílice.
- ▶ Elevada fluidez y el rápido desprendimiento de los gases.
- ▶ Origina erupciones que no son explosivas. Por el contrario, dan origen a erupciones donde predomina la fracción líquida o lava.

• COLADA VOLCÁNICA

Foto :
Santamarta JC



• SERIE DE COLADAS VOLCÁNICAS

Foto :
Santamarta JC



☀ MATERIALES VOLCÁNICOS

✓ El material ácido

- ▶ Viscoso
- ▶ Muy rico en sílice
- ▶ Temperaturas de aproximadamente 600°C
- ▶ Origina erupciones muy violentas, con gran desprendimiento de gases y de la fracción sólida, piroclastos.

SANTAMARTA JUAN C.

• PIROCLASTOS

Foto :
Santamarta JC



CLASIFICACIÓN PIROCLASTOS

Fuente ;
Losada JA y
Hernández LE

PIROCLASTOS BASÁLTICOS	LAPILLI (LP)	SUELTO (S)	LPS
		SOLDADO (T)	LPT
	ESCORIAS (ES)	SUELTO (S)	ESS
		SOLDADO (T)	EST
	CENIZAS BASÁLTICAS (CB)	SUELTO (S)	CBS
		SOLDADO (T)	CBT
PIROCLASTOS SÁLICOS	PÓMEZ (PZ)	SUELTO (S)	PZS
		SOLDADO (T)	PZT
	CENIZAS SÁLICAS (CS)	SUELTO (S)	CSS
		SOLDADO (T)	CST

SANTAMARTA JUAN C.

TIPOS DE PIROCLASTOS

Foto ;
Santamarta JC



PIROCLASTOS

✓ Capa blanca

La más ligera, formada por fragmentos de pómez, es muy porosa y ligera.

✓ Capa negra

Son de picón basáltico, surgen en erupciones con bajo contenido en gas.

SANTAMARTA JUAN C.

PIROCLASTOS

✓ Capa roja

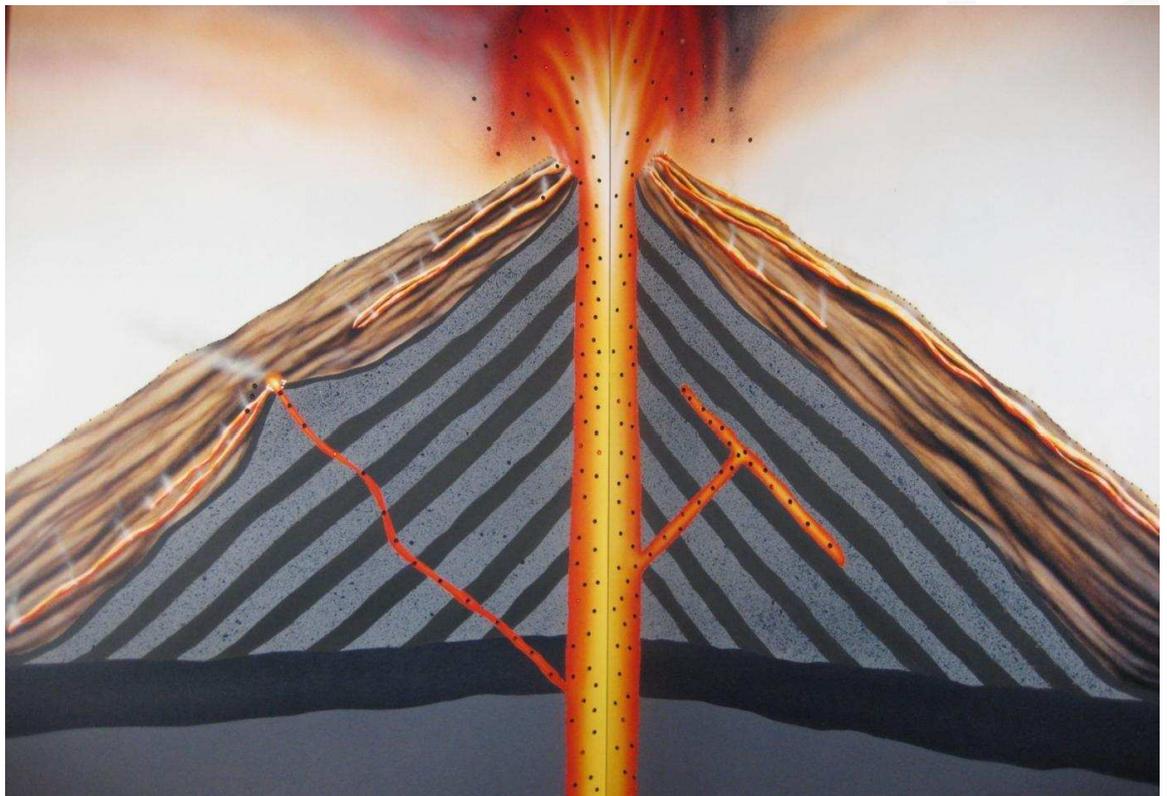
Son de picón basáltico, son oxidadas en el momento de su formación por agua subterránea que entra en el conducto eruptivo y se vaporiza.

SANTAMARTA JUAN C.

3. TIPOS DE ERUPCIONES

• ERUPCIONES

Foto ;
Santamarta JC



TIPOS DE ERUPCIONES

- ✓ **Hawaianas;** tienen lugar a lo largo de las fracturas que sirven como escape, en este tipo de erupciones, la lava, sale al exterior a través de una fisura y alimenta los ríos de lava que bajan por la ladera del volcán.

SANTAMARTA JUAN C.

TIPOS DE ERUPCIONES

- ✓ **Strombolianas;** se caracterizan por ser explosiones intermitentes de lava basáltica que salen despedidas de un solo cráter o viento.

- ▶ Cada erupción es causada por la liberación de gases volcánicos y, por lo general, tiene lugar durante unos pocos minutos.
- ▶ Los fragmentos de lava derretida adquieren forma redonda conforme vuelan por el aire.

SANTAMARTA JUAN C.

TIPOS DE ERUPCIONES

✓ **Vulcanianas;** caracterizadas por una mayor actividad explosiva que produce una erupción en forma de nube de aspecto de seta.

- ▶ La actividad suele comenzar con una erupción freática que descarga escombros.
- ▶ La fase principal suele constar de una erupción de magma viscoso, rico en gases volcánicos y que forma una nube oscura.

SANTAMARTA JUAN C.

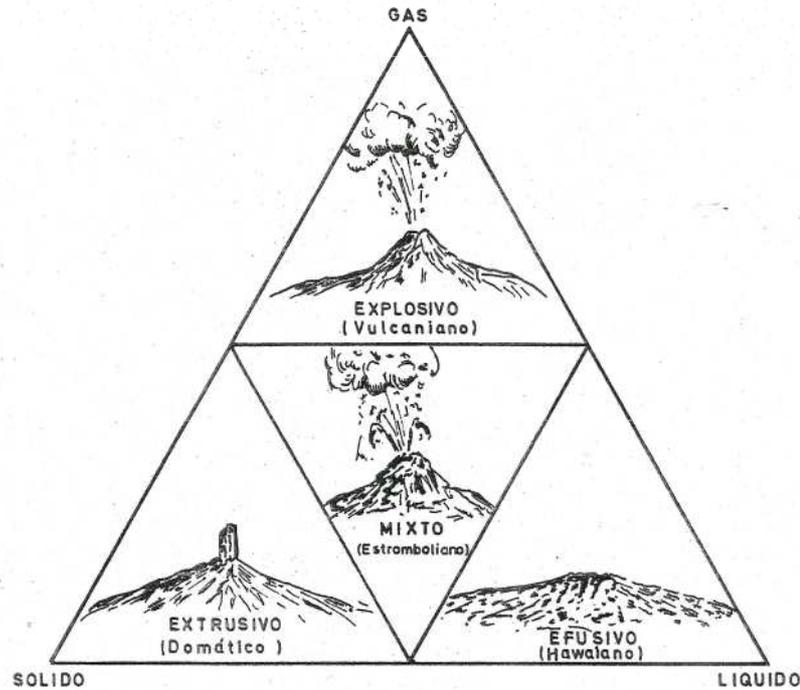
✓ **Plinianas** se caracteriza por su excepcional fuerza, continua erupción de gas y la eyección de grandes cantidad de ceniza.

- ▶ En ocasiones, la expulsión de magma es tal que la cumbre del volcán se colapsa y produce una caldera.
- ▶ Durante una erupción Pliniana, se puede dispersar ceniza fina a lo largo de grandes extensiones.

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ OTRAS TIPOLOGÍAS

Fuente : Araña y López Ruiz 1974



SANTAMARTA JUAN C.

☀️ FRACCIÓN GASEOSA

- ✓ Más importante es el **vapor de agua**, que puede ser originario del magma o provenir de aguas subterráneas.
- ✓ Se evaporan en contacto con el material caliente.
- ✓ **Dióxido de carbono**.

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ FRACCIÓN GASEOSA

- ✓ Se liberan el **dióxido de nitrógeno** y el **azufre**, que originan las **lluvias ácidas naturales**, el **cloro**, etc.
- ✓ Como **manifestaciones gaseosas del vulcanismo**, se pueden **mencionar las fumarolas**.

SANTAMARTA JUAN C.

• FUMAROLAS EN AZORES

Foto ;
Santamarta JC

3. MATERIALES VOLCÁNICOS

TIPOS DE MATERIALES

✓ Existen dos tipos de materiales con comportamientos mecánicos bien diferenciados:

- ▶ Depósitos de lluvia piroclástica, de cínider, iginimbritas no soldadas, oleadas piroclásticas, brechas y cineritas en general.
- ▶ Coladas basálticas, traquíticas, fonolíticas, ignimbritas soldadas y autobrechas.

☀ TIPOS DE MATERIALES

✓ Los elementos geológicos más interesantes desde el punto de vista hidrogeológico son;

- ▶ Diques.
- ▶ Almagres .
- ▶ Escorias de base o de cabeza de las coladas volcánicas así como el buzamiento de estas.

SANTAMARTA JUAN C.

☀ MATERIALES VOLCÁNICOS

Fuente ;
Losada JA y
Hernández LE

BASALTOS (B)	OLIVÍNICO-PIROXÉNICOS (OP)	VACUOLARES (V)	B-OP-V
		MASIVOS (M)	B-OP-M
	PLAGIOCLÁSICOS (PL)	VACUOLARES (V)	B-PL-V
		MASIVOS (M)	B-PL-M
	AFANÍTICOS (AF)	VACUOLARES (V)	B-AF-V
MASIVOS (M)		B-AF-M	
ESCORIÁCEOS (ES)		B-ES	
TRAQUIBASALTOS (TRQB)			TRQB
TRAQUITAS (TRQ)			TRQ
FONOLITAS (FON)			FON
IGNIMBRITAS (IG)	SOLDADAS (S)		IG-S
	NO SOLDADAS (NS)		IG-NS

SANTAMARTA JUAN C.

• ESCORIAS

Foto :
Santamarta JC



• PIROCLASTOS

Foto :
Santamarta JC



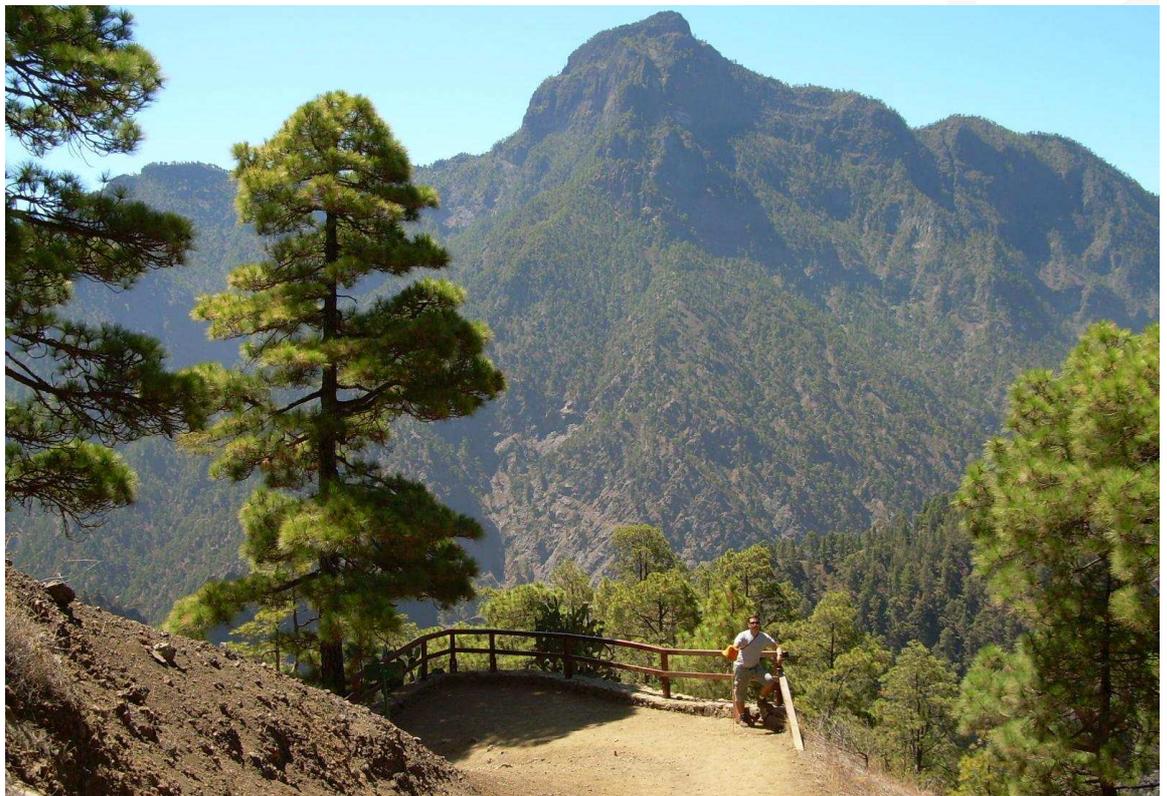
• CALDERA VOLCÁNICA

Foto :
Santamarta JC



• CALDERA DE EROSIÓN (TABURIENTE LA PALMA)

Foto :
Santamarta JC



• DESLIZAMIENTO EN LA ISLA DE EL HIERRO

Foto :
Santamarta JC



• BARRANCO VOLCÁNICO

Foto :
Santamarta JC



• ALMAGRES

Foto :
Santamarta JC



• DIQUE

Foto :
Santamarta JC



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.

SISTEMAS DE RECURSOS HIDRÁULICOS EN MEDIOS VOLCÁNICOS

Tema 3 ; Geohidrología de terrenos e islas volcánicas

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

- ✓ **Introducción.**
- ✓ **Formación de la isla y el acuífero insular.**
- ✓ **Estructuras geológicas y el agua.**
- ✓ **El material volcánico y el agua.**
- ✓ **Movimiento del agua en el acuífero insular.**

SANTAMARTA JUAN C.

DESARROLLO DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

- ✓ La **hidrogeología** es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, las formas de yacimiento, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas); así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación» (Mijailov, L. 1985)

TEMAS DE ESTUDIO

- ✓ El estudio de las relaciones entre la geología y las aguas subterráneas.
- ✓ El estudio de los procesos que rigen los movimientos de las aguas subterráneas en el interior de las rocas y de los sedimentos.
- ✓ El estudio de la química de las aguas subterráneas
 - ▶ (hidroquímica e hidrogeoquímica).

SANTAMARTA JUAN C.

2.FORMACIÓN DE LA ISLA Y EL ACUÍFERO INSULAR

☀️ ESQUEMA SIMPLIFICADO DE LA FORMACIÓN DE UNA ISLA

1) COMPLEJO BASAL.

2) SUPERPOSICIÓN DE COLADAS (Series I, II, III).

a) Masivas tipo aa.

b) Escorias tipo pahoehoe.

3) DIQUES.

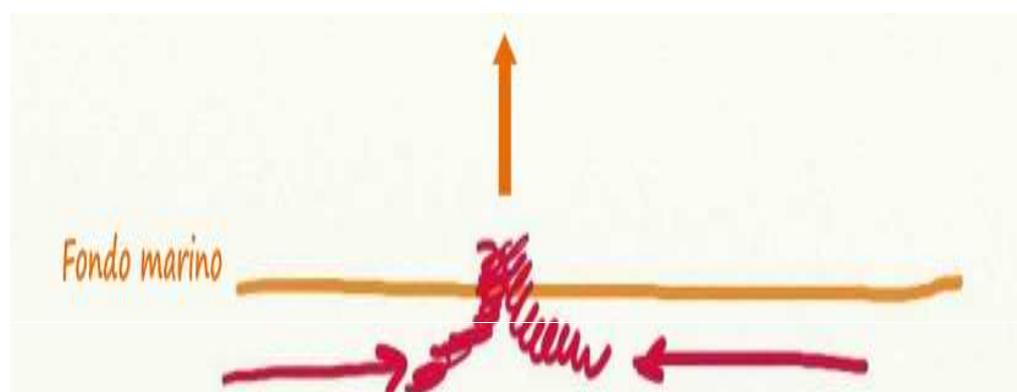
4) ALMAGRES.

5) MORTALONES.

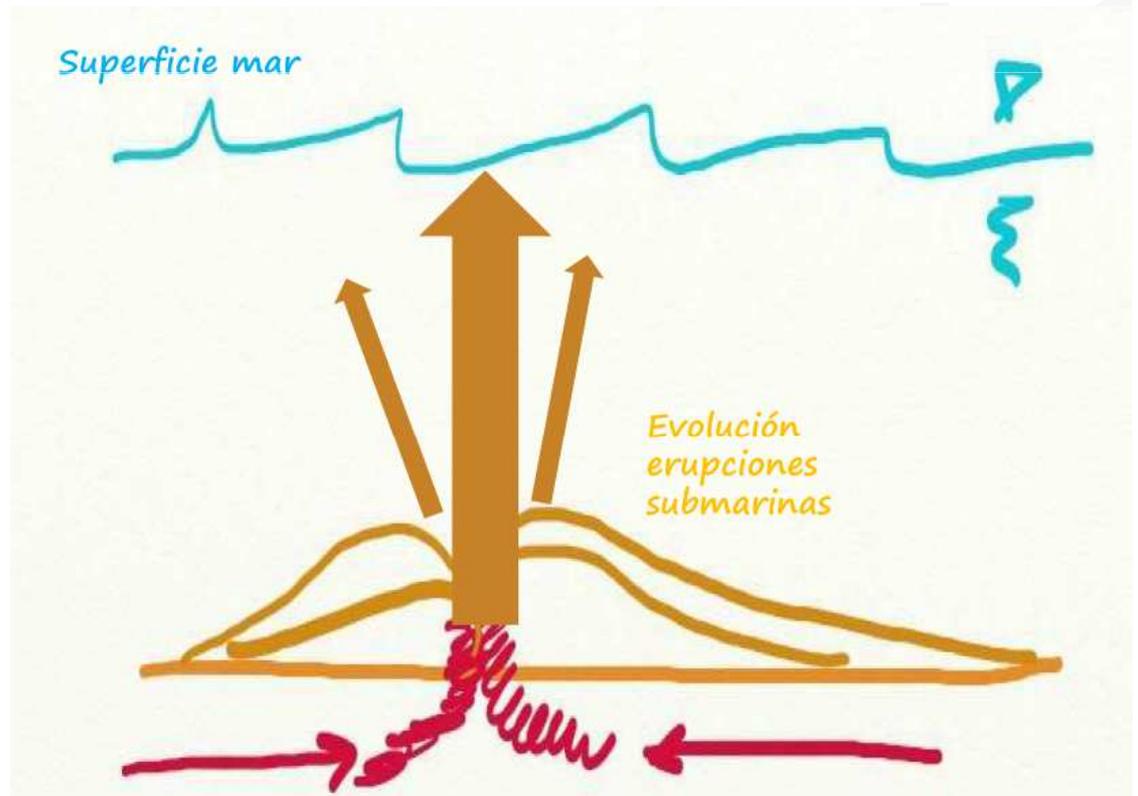
6) PIE DE MONTES.

SANTAMARTA JUAN C.

ERUPCIONES SUBMARINAS



• EVOLUCIÓN ERUPCIONES



☀ ERUPCIONES SUBMARINAS

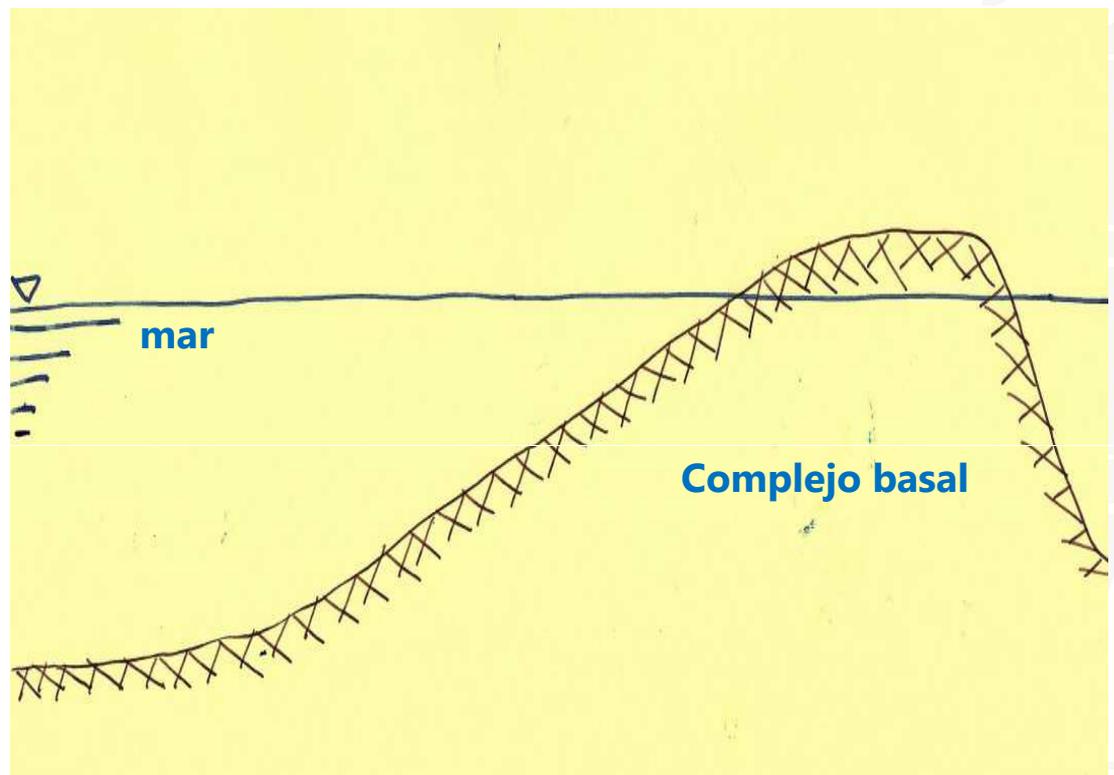
- ✓ **Erupciones fisurales submarinas, dan lugar a lo que se denomina lavas almohadilladas o 'pillow-lavas', que se forman por el rápido enfriamiento del magma al entrar en contacto con el agua, obteniendo una forma muy característica.**

☀ ERUPCIONES SUBMARINAS

- ✓ Están intercaladas con una densa red de diques y con sedimentos oceánicos marinos (turbiditas), constituyendo el complejo basal del Archipiélago.

SANTAMARTA JUAN C.

• COMPLEJO BASAL

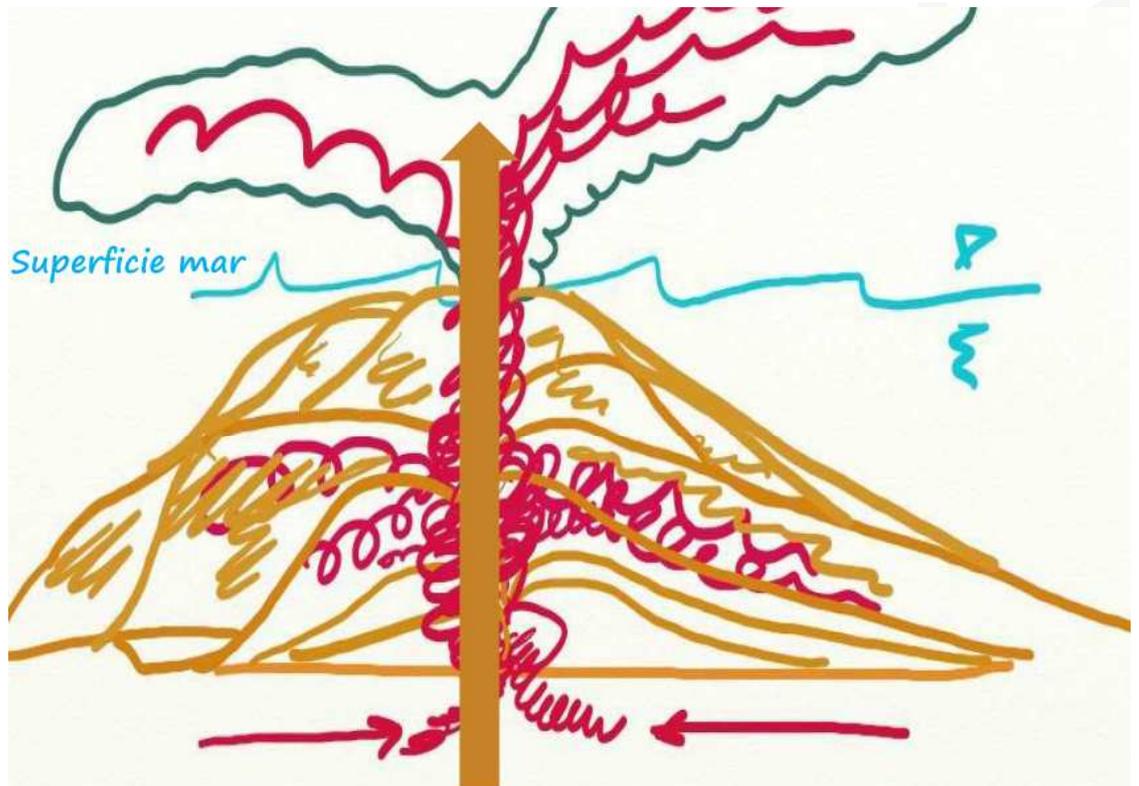


☀️ COMPLEJO BASAL

- ✓ La parte más antigua de las islas
- ✓ Se puede entender como “la base” de la misma
- ✓ Puede aflorar en superficie
 - ▶ Por ejemplo en La Gomera y Fuerteventura
- ✓ De naturaleza impermeable

SANTAMARTA JUAN C.

• CONSTRUCCIÓN EDIFICIO INSULAR

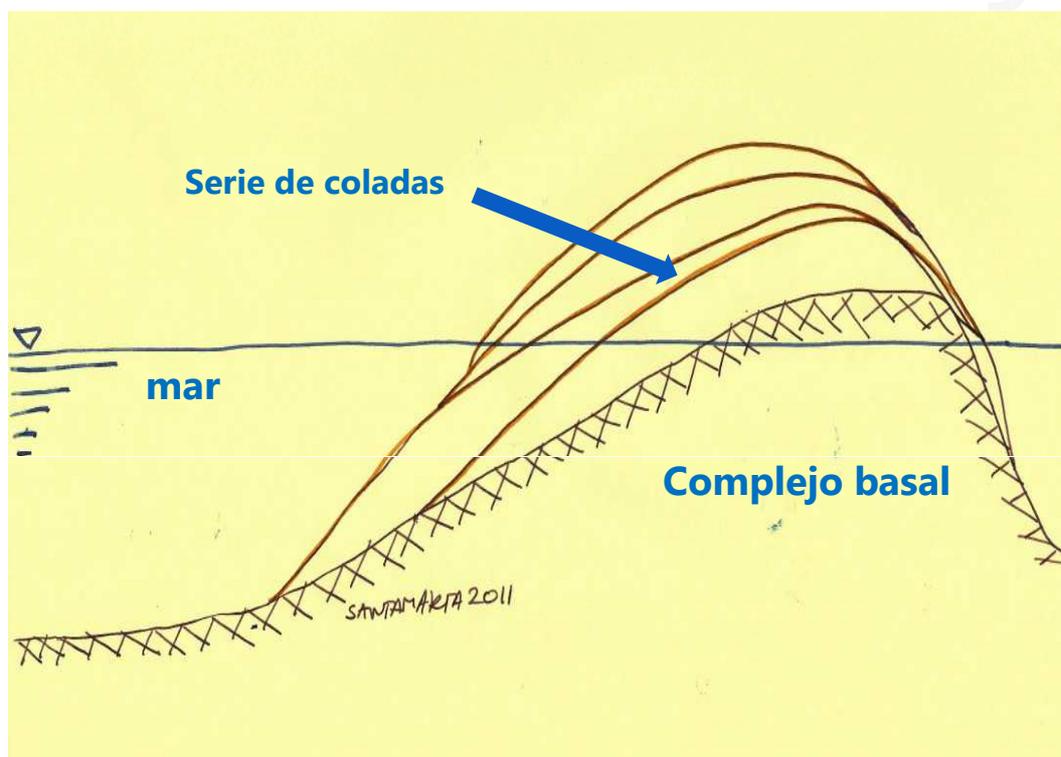


☀ ETAPA SUBAÉREA

- ✓ Estos materiales se van acumulando y construyendo el edificio insular bajo el mar, y a medida que se van aproximando a la superficie, los gases, debido a la disminución de la presión circundante, se van liberando del magma y el vulcanismo pasa de ser tranquilo, a ser más explosivo, formando materiales fragmentarios.
- ✓ El edificio insular emerge, continuando la primera fase de formación de la Isla en su etapa subaérea.

SANTAMARTA JUAN C.

• SUCESIÓN DE COLADAS

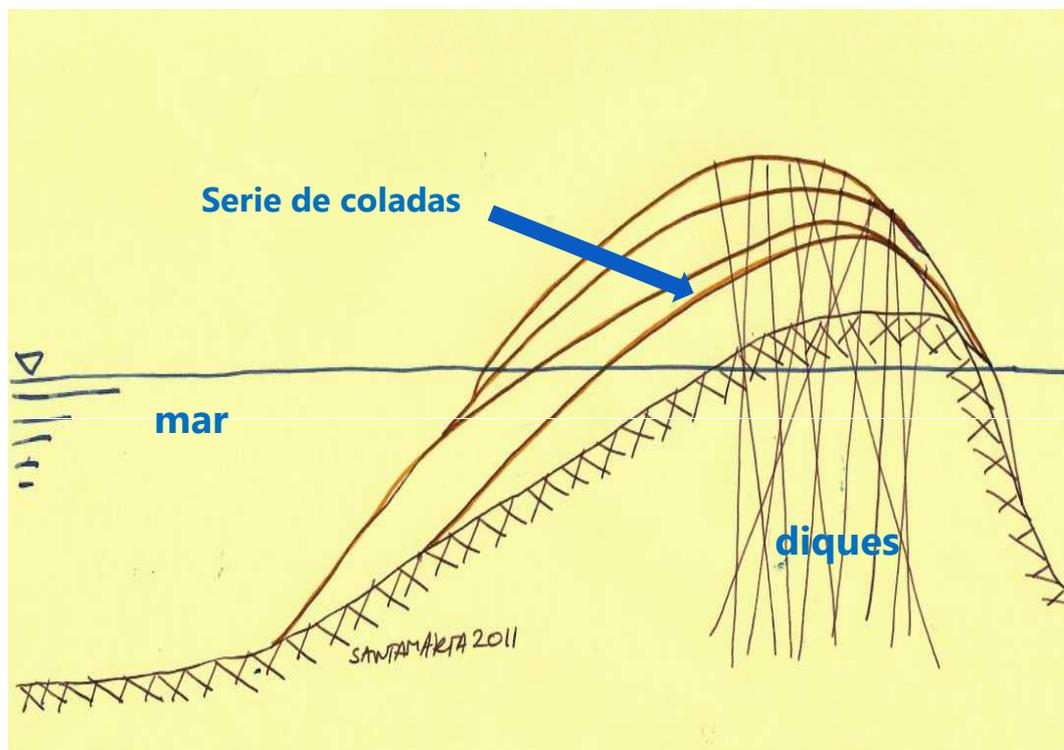


• COLADAS Y BUZAMIENTO EN LA GOMERA

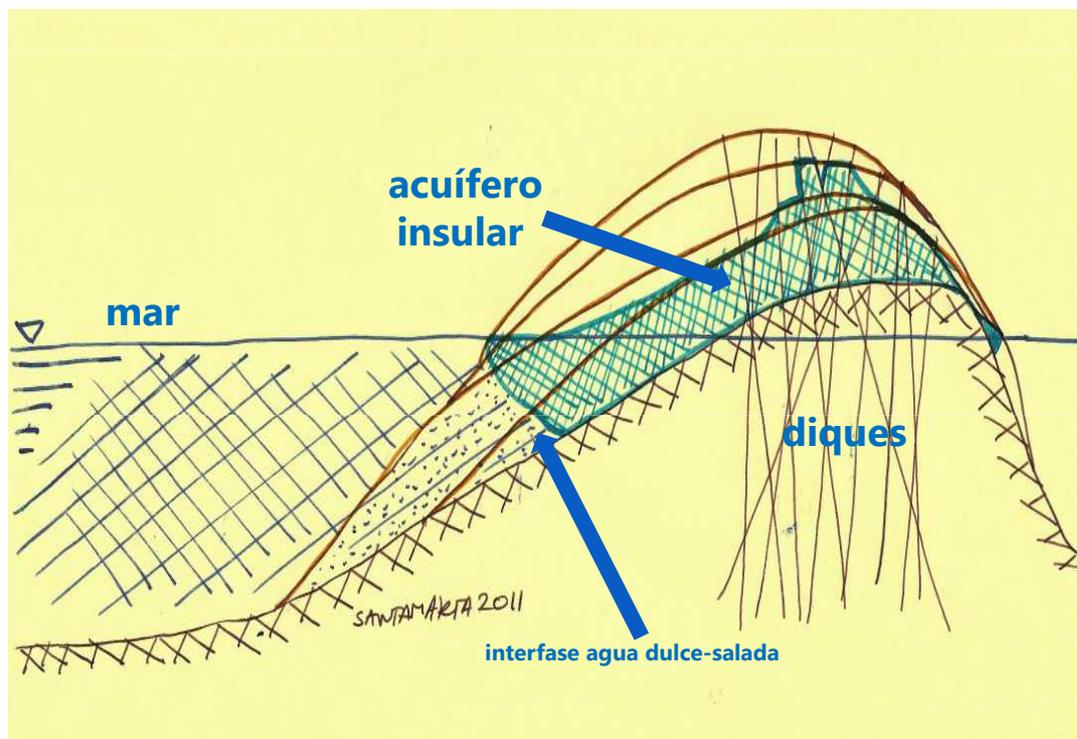
Foto :
Santamarta JC



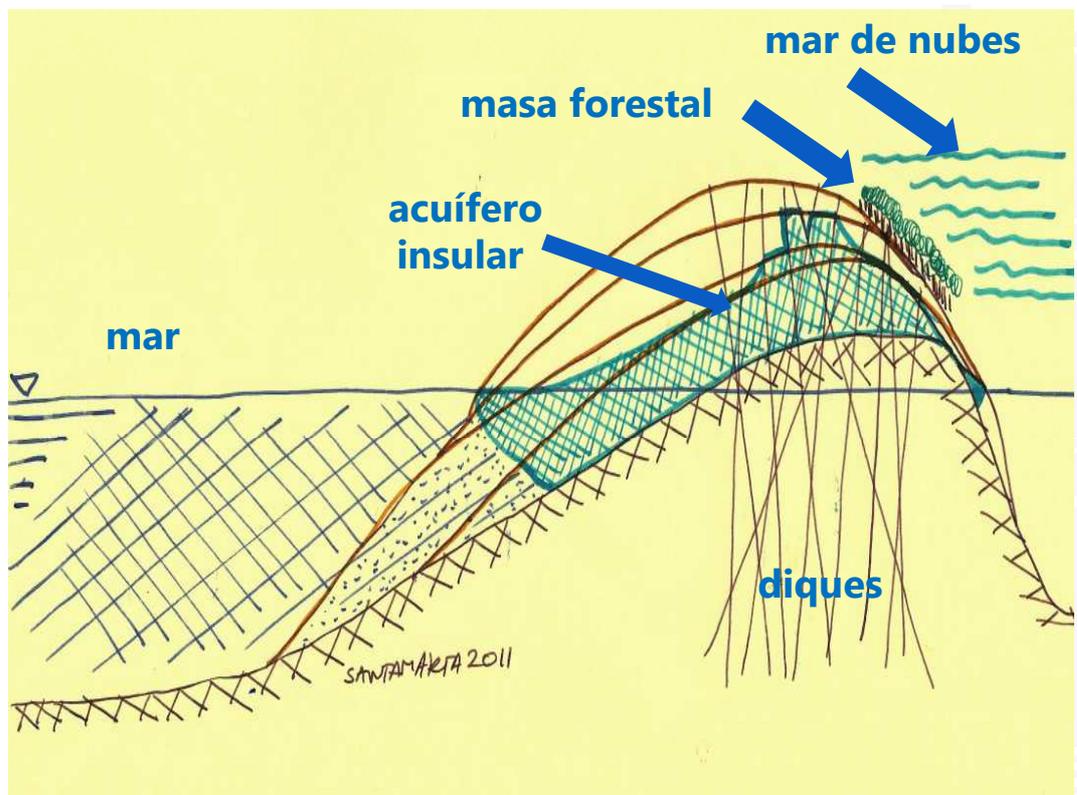
• INTRUSIÓN DE DIQUES



• FORMACIÓN DEL ACUÍFERO



• RECARGA POR PRECIPITACIÓN HORIZONTAL



3. ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS Y EL AGUA

PERMEABILIDAD TERRENO VOLCÁNICO

- ✓ Los terrenos volcánicos recientes, se les pueden considerar como **muy permeables** excepto, el caso de los *almagres*.

ALMAGRES

- ✓ Se producen cuando una colada de lava procedente de una erupción pasa por encima de un terreno con altos contenidos en arcilla, la temperatura de estas coladas, superiores a los 1000 °C.
- ▶ Provoca un proceso de rubefacción que impermeabiliza la capa calentada.

SANTAMARTA JUAN C.

ALMAGRES

- ✓ Niveles rojizos que corresponden a un suelo o capa fértil del terreno, que ha sido alterado al discurrir sobre el mismo una colada lávica a altas temperaturas.
- ✓ Este material tiene interés por que se comporta como una capa impermeable que dificulta la filtración del agua hacia zonas más profundas. Los manantiales estén asociados a estas formaciones.

SANTAMARTA JUAN C.

• ALMAGRE

Foto :
Santamarta JC



☀️ DIQUES

- ✓ Un **dique** atraviesa capas o cuerpos rocosos preexistentes, lo que implica que un dique es siempre más reciente que la roca en la cual está contenido.
- ✓ Casi siempre presentan una gran inclinación o una inclinación próxima a la vertical.

☀️ DIQUES

- ✓ A efecto **mayor de 8 m** s ideales , los de gran espesor, se suelen considerar impermeables , salvo que se hayan fracturado.
- ✓ Este efecto hace que el **acuífero insular** se encuentre **sobreelevado** en las dorsales que además son las zonas con mayor pluviometría.

SANTAMARTA JUAN C.

• DIQUES

Foto ;
Santamarta JC



DIQUES HORIZONTALES (SILLS)

- ✓ **Dique horizontal.**
- ✓ **Las intrusiones conformadas casi horizontalmente a lo largo de estratos son llamadas **sills**.**

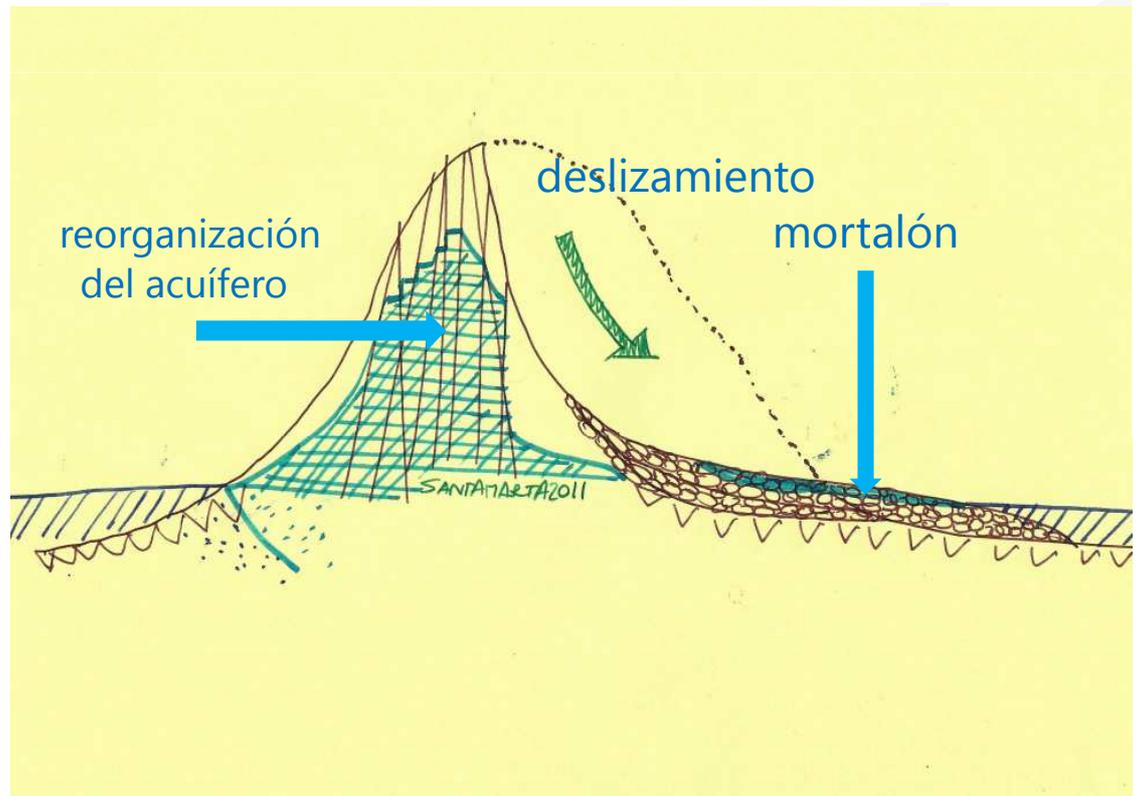
SANTAMARTA JUAN C.

DESLIZAMIENTOS

- ✓ **Las islas en su proceso de formación , en el estratovolcán genera un **desequilibrio**, lo que se traduce en un **gran deslizamiento**.**
- ✓ **Se forma una **depresión gravitacional**, cuyo fondo es ocupado por los materiales fragmentarios resultantes del desmoronamiento y trituración de la masa deslizada el **mortalón (fanglomerado)**.**

SANTAMARTA JUAN C.

• ESQUEMA DEL DESLIZAMIENTO Y MORTALÓN



☀ MORTALONES

- ✓ Pueden **dividir el acuífero insular** en dos uno mas cargado de sales (más antiguo) y le otro de aguas de recarga (más reciente) pero este último se puede afectar de contaminaciones de tipo antrópico (aguas negras , nitratos , pesticidas de retornos).

• DESLIZAMIENTO EN EL HIERRO

Foto :
Santamarta JC



4.EL MATERIAL VOLCÁNICO Y EL AGUA



☀ CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LAS FORMACIONES VOLCÁNICAS

- ✓ **Alta permeabilidad en origen.**
- ✓ **Heterogeneidad.**
- ✓ **Anisotropía.**

SANTAMARTA JUAN C.

• TERRENO VOLCÁNICO JÓVEN

Foto ;
Santamarta JC



☀️ FACTOR EDAD DE LA ISLA

- ✓ La edad de la isla y por ende la edad de los materiales volcánicos afectan en su permeabilidad.
- ✓ Salvo los diques y los almagres.

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ FACTOR EDAD DE LA ISLA

ISLA	Millones de Años de antigüedad
La Palma	1,7
El Hierro	1,2
La Gomera	12
Tenerife	7,5
Gran Canaria	14,5
Lanzarote	15,5
Fuerteventura	23,5

SANTAMARTA JUAN C.

ALTERACIÓN DE MATERIALES CON EL TIEMPO

MATERIAL	PERMEABILIDAD EN ORIGEN	IMPERMEABLE POR
Coladas	Fisuración	Taponamiento por sales , compactación menos acusados en coladas pahoe hoe
Escorias	Percolación	Compactación
Piroclastos	Percolación	Alteración y compactación
Ignimbritas	Saturación y filtración	Alteración , taponamiento por sales , se alteran hasta arcillas
Pumitas	Percolación	Alteración y compactación

SANTAMARTA JUAN C.

ALTERACIÓN DE MATERIALES CON EL TIEMPO

Almagres	Baja o nula permeabilidad	Alteración
Piedemontes	Baja permeabilidad Saturación Depende de granulometría	Compactación
Conglomerados	Depende de granulometría Saturación (abundancia de finos) Percolación (pocos finos)	Compactación
Diques	Fisuración Depende del espesor del dique	

SANTAMARTA JUAN C.

5. MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL ACUÍFERO INSULAR

☀️ TIPOS DE RECURSOS HÍDRICOS EN UNA ISLA VOLCÁNICA

- ✓ Hay dos tipos de recursos hídricos, el **agua de reserva** (altos tiempos de residencia en el acuífero, más cargadas de sales) y el **agua de recarga**, procedente de la infiltración natural del acuífero.

RECARGAS

- ✓ **Nunca es conveniente drenar todo el agua de recarga, esto no sería sostenible, conviene extraer un porcentaje de la recarga, determinado por los estudios hidrogeológicos y la modelización del acuífero.**

SANTAMARTA JUAN C.

MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL ACUÍFERO

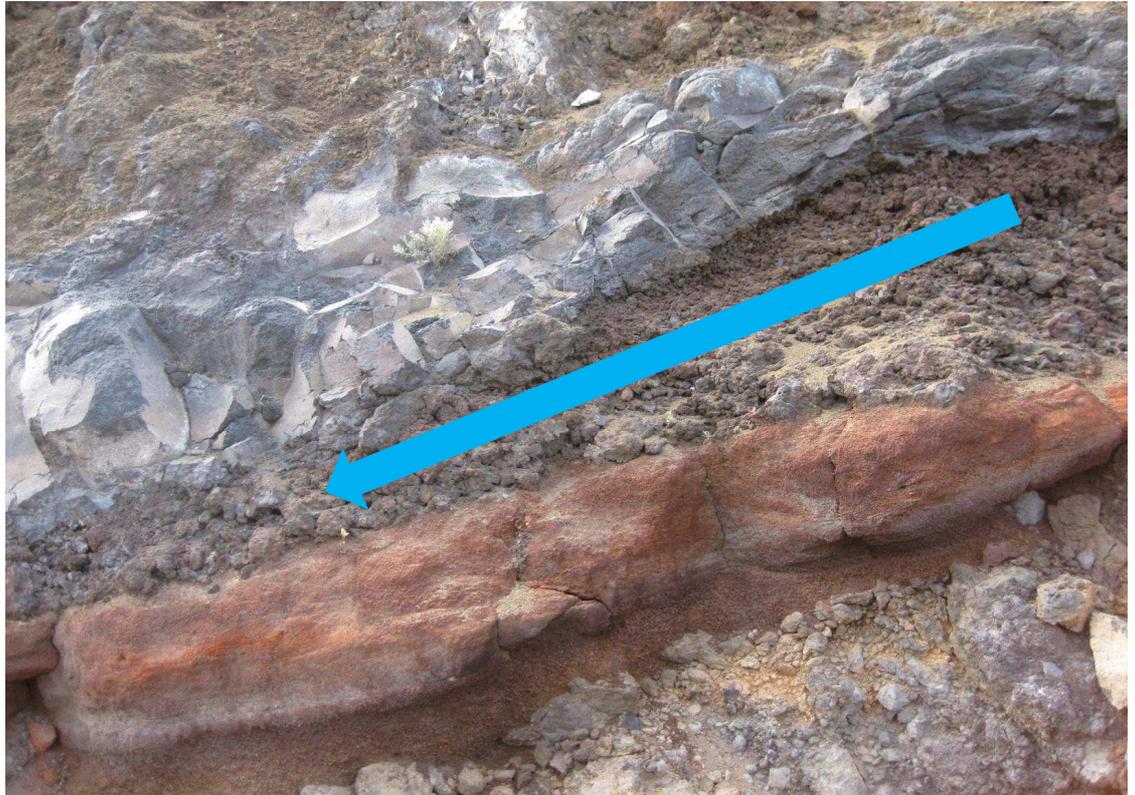
- ✓ **El agua sigue la regla básica de ir de cotas elevadas de la isla hacia el nivel del mar , este flujo lo pueden variar en general.**

- ▶ Los diques .
- ▶ Los almagres.
- ▶ El mortalón.
- ▶ Ignimbritas soldadas.

SANTAMARTA JUAN C.

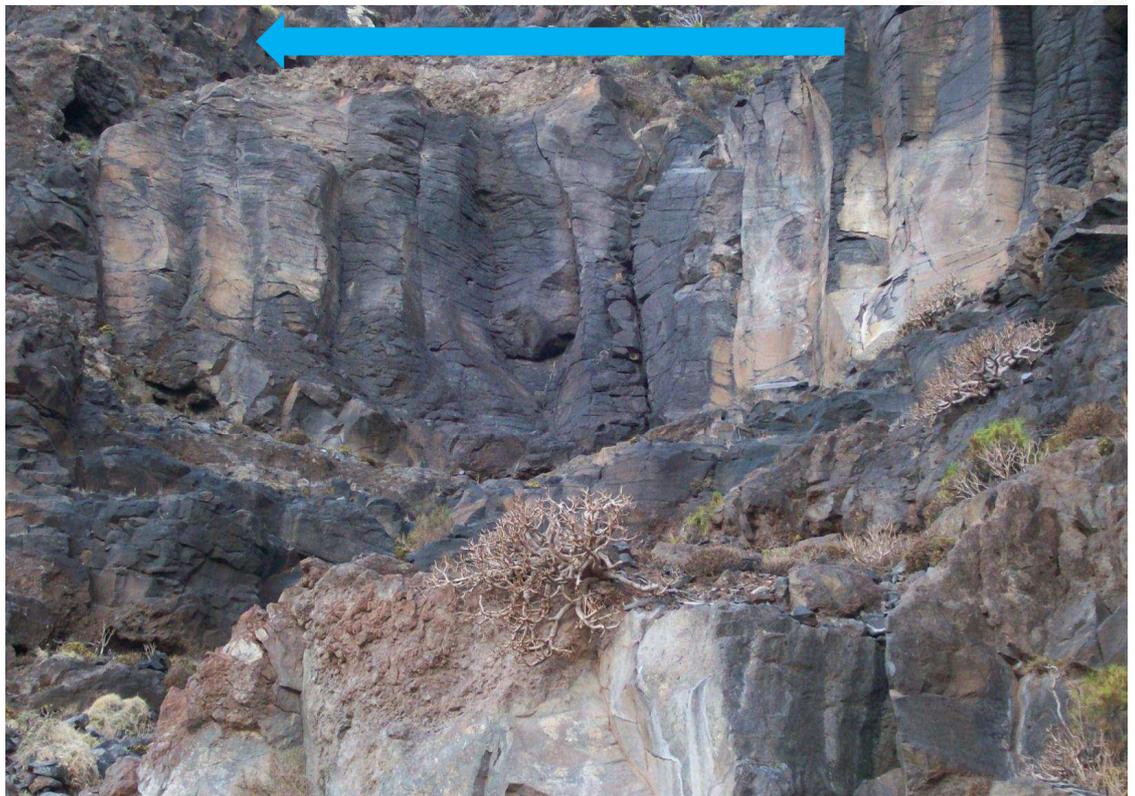
• MOVIMIENTO EN ESCORIAS BASE

Foto :
Santamarta JC



• MOVIMIENTO ESCORIAS TECHO

Foto :
Santamarta JC

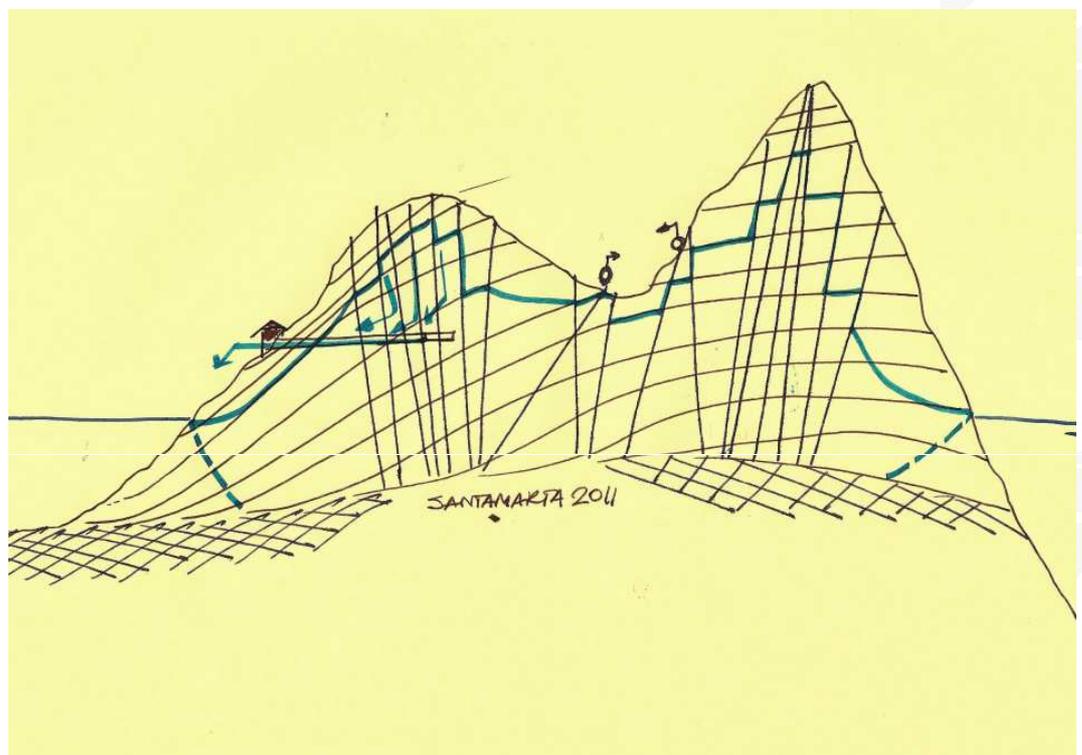


• MANATIALES

Foto :
Santamarta JC



☀️ ESQUEMA SIMPLIFICADO ACUÍFERO INSULAR



LICENCIA Y MÁS INFORMACIÓN



Universidad
de La Laguna

TEMA 3 ; GEOHIDROLOGÍA DE TERRENOS
E ISLAS VOLCÁNICAS



eici
Escuela de Ingeniería
Civil e Industrial

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.

RECURSOS HÍDRICOS EN TERRENOS E ISLAS VOLCÁNICAS

Tema 4 ; Minería del agua dulce

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

ULL | Universidad
de La Laguna



2

CONTENIDOS

CONTENIDOS

- ✓ **1. Introducción. Recursos hídricos subterráneos.**
- ✓ **2. Galerías o minas de agua dulce.**
- ✓ **3. Cierres hidrogeológicos.**
- ✓ **4. Pozos canario.**
- ✓ **5. Sondeos.**

SANTAMARTA JUAN C.

DESARROLLO DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN. RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS

OBTENCIÓN RECURSOS HÍDRICOS

- ✓ En general en Canarias salvo las islas orientales , se aprovechan los recursos hídricos subterráneos.

☀️ PRODUCCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS EN UNA ISLA VOLCÁNICA



SANTAMARTA JUAN C.

☀️ RECURSOS HÍDRICOS

- ✓ En una isla volcánica como norma general donde hay más presencia de precipitación es en las dorsales, los puntos más elevados, que es donde a cierta cota, existen las masas forestales que ayudan a la infiltración, regulando la precipitación de niebla u horizontal.

SANTAMARTA JUAN C.

TIPOS DE RECURSOS

- ✓ **Agua de reserva** (altos tiempos de residencia en el acuífero, más cargadas de sales)
- ✓ **Agua de recarga**, procedente de la infiltración natural del acuífero, con menores tiempos de residencia que las de reserva y menos cargadas de sales.

SANTAMARTA JUAN C.

CONSIDERACIÓN

- ✓ **Nunca es conveniente drenar todo el agua de recarga**, esto no sería sostenible, conviene extraer un porcentaje de la recarga, determinado por los estudios hidrogeológicos y la modelización del acuífero.

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO RECURSOS SUBTERRÁNEOS.

- ✓ **Galería o mina de agua dulce.**
- ✓ **Pozo canario.**
- ✓ **Sondeo.**
- ✓ **Manantial o fuente.**

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ VALORACIÓN RECURSOS HÍDRICOS EN CANARIAS

Isla	Recursos hídricos superficiales	Recursos hídricos subterráneos	Desalación y reutilización	Aprovechamiento hídrico que predomina	Tendencia en el futuro
Hierro	Nulos	Altos	Bajos	Galería de agua	Desalación
La Palma	Escasos	Altos	Nulos	Galería de agua	Subterráneos
Gomera	Medios	Altos	Nulos	Galería de agua	Subterráneos
Tenerife	Escasos	Altos	Medios	Galería de agua	Subterráneos-Desalación
Gran Canaria	Altos	Medios	Medios	Pozos-Presas	Subterráneos-Superficiales-Desalación
Lanzarote	Nulos	Escasos	Altos	Desalación	Desalación
Fuerteventura	Medios	Medios	Altos	Desalación-Pozos	Desalación

SANTAMARTA JUAN C.

GALERÍAS O MINAS DE AGUA DULCE

GALERÍAS Y MINAS

- ✓ Los túneles subterráneos o minas de captación de agua son un método ancestral muy extendido y utilizado.
- ✓ Desde muy antiguo se conoce en zonas tan distantes como China, Persia (antiguo Irán), España y Latinoamérica. Las citas más antiguas posiblemente sean las de Qaná, Jericó, Jerusalén, Marrakech y la isla de Sicilia.

GALERÍAS EN CANARIAS

- ✓ En el caso del archipiélago canario, si se tienen en cuenta los diferentes aprovechamientos hídricos, la obra magna del ingenio hidráulico canario es la **galería o mina de agua**.
- ✓ Las minas, que en algunos casos se adentran desde 2.000 m hasta incluso 6.000 m dentro de la formación geológica.
- ✓ **Más de 3.000 km** de galerías construidos.

SANTAMARTA JUAN C.

IMPORTANCIA

- ✓ El mejor sistema para obtener agua del acuífero de las dorsales de las islas volcánicas es mediante las minas de agua dulce, la calidad, en general, es excelente y económicamente tienen un coste inferior a los recursos hídricos superficiales o los no convencionales como la desalación.

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ TECNOLOGÍA DE PERFORACIÓN

- ✓ La **tecnología de perforación** es asequible, con una vida útil más de 60 años en términos generales (algunas van camino de los 100 años de funcionamiento).

SANTAMARTA JUAN C.

• POZO GALERÍA EN SECCIÓN

Foto :
Santamarta JC



TIPOLOGÍA DE MINAS

- ✓ **Galería horizontal.**
- ✓ **Pozo Galería.**
- ✓ **Galería en trancada.**
- ▶ **Galería inclinada perpendicular a la costa.**

SANTAMARTA JUAN C.

PROBLEMAS DETECTADOS

- ✓ **Los recursos alumbrados están cada vez más cargados de sales y contaminaciones por gases volcánicos, en los que destacan el Flúor (del orden de 4 a 8 mg/L) esto hace que se deba instalar una tecnología de membranas.**

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ PROBLEMAS DETECTADOS

- ✓ La bajada del régimen freático de las islas, hace que las minas localizadas en cotas elevadas se sequen y no sea posible su re-perforación, por lo tanto se **finaliza la explotación.**

SANTAMARTA JUAN C.

• MAQUINARIA PARA ESCOMBROS

Foto ;
Santamarta JC

PROBLEMAS DETECTADOS

- ✓ Los **costes de perforación** se han incrementado exponencialmente, no ha habido avances tecnológicos importantes, en el sentido de mejora de los rendimientos de los avances o inclusión de maquinaria perforadora.

SANTAMARTA JUAN C.

PROBLEMAS DETECTADOS

- ✓ No es una **solución a corto plazo** para satisfacer una demanda de recursos hídricos, ya que toda explotación debe estar precedida de un estudio hidrogeológico profundo así como un análisis de la cantidad y calidad del agua que se va a alumbrar.

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ PROBLEMAS DETECTADOS

- ✓ En la última década el precio y las condiciones de utilización de los **explosivos**, han condicionado los rendimientos y los costes de esta tipología minera.
- ✓ Pérdida de personal y equipos especializados de perforación.

SANTAMARTA JUAN C.

• ACCESO A MINA

Foto :
Santamarta JC



RENDIMIENTOS (2010)

- ✓ Rendimientos actuales de avance se establecen entre 3 y 6 m/d.
- ✓ Metro lineal de galería, según cálculos realizados suponen 2.100 €/m

SANTAMARTA JUAN C.

RENDIMIENTOS

- ✓ Precio medio de una galería en las islas occidentales, de unos 2 km, son 4.200.000 € en términos generales, el **coste de la perforación** ronda el **60%** del presupuesto total del proyecto.

SANTAMARTA JUAN C.

RENDIMIENTOS

- ✓ Los plazos medios de ejecución en Canarias están siendo del orden un año y medio a dos años, para una media de mina de 2,5 km de profundidad, hay que añadir la incertidumbre, una vez que se comienza la perforación, ya que el estudio hidrogeológico en un terreno volcánico no es una ciencia exacta.

SANTAMARTA JUAN C.

CIERRES HIDROGEOLÓGICOS

☀️ INTRODUCCIÓN AL CASO

- ✓ El mayor problema que tenían las minas de agua es la poca capacidad de regulación que tienen, una vez introducida la perforación de la mina en la zona productiva o saturada y se han atravesado una serie de diques con dimensiones importantes, la mina comienza a producir en continuo, grandes caudales de agua.

SANTAMARTA JUAN C.

- ✓ Hay épocas del año que no es necesario tanta producción de agua, por lo que se desequilibra la oferta con la demanda, recordando , por este motivo, se comenzó con la *ingeniería de diques*.

SANTAMARTA JUAN C.

☀ CIERRE CON DIQUES

✓ Mediante la ejecución de cierres de hormigón armado en las propias minas, utilizando para ello los *diques geológicos* con unas ciertas características de impermeabilidad y geométricas.

SANTAMARTA JUAN C.

• CIERRE DE LA GALERÍA MEDIANTE DIQUE

Foto :
Santamarta JC





- ✓ **Clemente Sáenz García**, Catedrático de Geología de la Universidad Politécnica de Madrid, aplicándolos en un acuífero en Soria en la conexión de dos formaciones diferentes , básicamente un contacto hidroestratigráfico de distinta permeabilidad: margas-calizas.

SANTAMARTA JUAN C.



- ✓ **Doctor Ingeniero Sainz de Oiza** , también los nombró para el caso Canario, posteriormente fueron profusamente utilizados en otras zonas del mundo como por ejemplo Perú, utilizando una falla.
- ✓ En Canarias, se han aplicado en zonas volcánicas como en el Pozo de Los Padrones en la isla de El Hierro.

SANTAMARTA JUAN C.

POZO CANARIO



POZO CANARIO

- ✓ Son obras de perforación excavadas a mano, con un diámetro mínimo de 1,5 m, Su profundidad normalmente es de unas pocas decenas de metros (20 ó 30), aunque se han llegado a alcanzar varios centenares (en Canarias se ha llegado a los 600 m).

☀ POZO CANARIO

- ✓ Si bien el diámetro mínimo, tal y como se ha comentado es de 1,5 m, espacio imprescindible para el trabajo de una persona, es frecuente que supere los 3,5 m, con máximos de hasta 6,5 m.
- ✓ Esto supone que algunas instalaciones tengan que disponer de varias bombas en serie para poder extraer los caudales.

SANTAMARTA JUAN C.

• POZO CANARIO EN FUERTEVENTURA

Foto :
Santamarta JC

☀️ POZO CANARIO

- ✓ Requieren de una **bomba de achique** para que pueda ser extraída el agua una vez alcanzado el nivel que permita la continuación de los trabajos.
- ✓ También se suele colocar unas vigas de hormigón o acero para disponer el pórtico del **winche**.

SANTAMARTA JUAN C.

• ACCESO A POZO ELEMENTOS DE ELEVACIÓN

Foto :
Santamarta JC



POZO CANARIO

- ✓ Normalmente, y sobre todo en terrenos sueltos, como lo son los piroclastos, es necesario revestir la obra con objeto de evitar el derrumbe de las paredes.
- ▶ Para ello se utiliza piedra revestida, bloque de material volcánico, cemento o anillos de hormigón prefabricados, colocados a medida que avanza la perforación.

SANTAMARTA JUAN C.

SONDEOS

SONDEOS

- ✓ Los sondeos son actualmente, la **tipología de obra hidráulica más utilizada**, por su rapidez de ejecución y sencillez de instalación, en la presente sección se comentan las singularidades que presentan en terrenos volcánicos con respecto a los terrenos continentales.

SANTAMARTA JUAN C.

TIPOLOGÍA DE SONDEO

- ✓ El sistema de perforación generalmente utilizado para la ejecución de sondeos en terrenos volcánicos, es el de **rotopercusión**. El varillaje utilizado es de 6 m usualmente.

SANTAMARTA JUAN C.

• EJECUCIÓN DE SONDEO

Foto :
Santamarta JC



☀ TIPOS DE MATERIALES

- ✓ **En un terreno volcánico, hay dos tipos de maniobras cuando se está desarrollando el sondeo;**
 - ▶ **Terrenos relativamente sueltos, como los comentados, aluviales, piroclastos, conglomerados etc .**
 - ▶ **Terreno masivo o basáltico, es aquí donde realmente sufre la máquina y descienden notablemente los rendimientos.**

RENDIMIENTOS

- ✓ Como **dato orientativo**, se facilita el siguiente valor de **8 a 10 m/d** con una jornada de 8 h, aunque se reitera que depende de bastantes factores y el más limitante el tipo de formación a atravesar.

SANTAMARTA JUAN C.

TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

- ✓ Las técnicas comentadas se pueden utilizar en otros entornos geográficos como islas volcánicas como el archipiélago de Madeira, Hawái, Cabo Verde, Sicilia, Galápagos etc.
- ✓ Hay experiencias de cierres de regulación en Perú, con buenos resultados.

SANTAMARTA JUAN C.

POZO CANARIO

- ✓ El pozo con más caudal de las islas se sitúa en Tenerife, es el denominado de El Salto con un caudal de. Aunque lo normal son caudales menores **200 L/s** , se recuerda por ejemplo caudales de galerías como la del trasvase de La Palma con **120 L/s.** a cada lado , El Hierro (Los Padrones) con **80 L/s,** galería Vergara en Tenerife con **160 L/s.**

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.**

SANTAMARTA JUAN C.

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/>

SISTEMAS DE RECURSOS HIDRÁULICOS EN MEDIOS VOLCÁNICOS

Tema 5 ; Hidrología superficial

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. Conceptos generales.**
- ✓ **2. Los barrancos volcánicos.**
- ✓ **3. Erosión hídrica.**

SANTAMARTA JUAN C.

DESARROLLO DE CONTENIDOS

1. CONCEPTOS GENERALES

CUENCA HIDROGRÁFICA

- ✓ **Territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único barranco.**

SINGULARIDADES DE LA HIDROLOGÍA INSULAR

- ✓ Pequeñas cuencas.
- ✓ No hay flujo continuo generalmente.
- ✓ Islas sin barrancos , todo infiltración.
- ✓ Grandes pendientes.
- ✓ Abrupta topografía.

SANTAMARTA JUAN C.

SINGULARIDADES DE LA HIDROLOGÍA INSULAR

- ✓ En general poca escorrentía.
- ✓ Varios barrancos pueden desaguar en uno (efecto acumulativo).
- ✓ Cuando los barrancos llevan agua , esta transcurre a velocidades elevadas.
- ✓ Régimen torrencial.

SANTAMARTA JUAN C.

2. LOS BARRANCOS VOLCÁNICOS.

BARRANCOS VOLCÁNICOS

✓ **Al referirnos a los barrancos de las islas volcánicas;**

▶ **Su presencia implica que hay un porcentaje de la pluviometría que corre libremente por ellos, por lo que se puede presumir de zonas impermeables en la isla de estudio.**

• BARRANCO VOLCÁNICO EN AZORES

Foto :
Santamarta JC



ACARREOS

- ✓ Las **cotas de acarreos** que pueden tener los barrancos, principalmente en su desembocadura son muy importantes, basta ver el ejemplo de los barrancos de la Gomera, donde se alcanzan cotas de más de 200 m.

BARRANCOS VOLCÁNICOS

- ✓ Otro aspecto fundamental en los barrancos en relación con los aprovechamientos subterráneos del agua, es el **régimen subálveo**.
- ✓ Los caudales movilizados son importantes y de hecho existe una cultura de aprovechamiento de los mismos mediante pozos y más recientemente **sondeos**.

SANTAMARTA JUAN C.

CLASIFICACIÓN DE LOS BARRANCOS

- ✓ Los barrancos los podemos clasificar en **centrales, de medianías y costeros**;

SANTAMARTA JUAN C.

☀ BARRANCOS CENTRALES

- ✓ **Son aquellos que parten de las dorsales, zona generalmente de mayor pluviometría, hacia la costa, tienen una serie de características importantes que los definen como son;**
 - ▶ **Alta vegetación, esto hace que se sujete el suelo y por tanto favorece que no haya tanto arrastre de materiales.**
 - ▶ **Cotas elevadas de la 1.500 a la 400 m.**

SANTAMARTA JUAN C.

• BARRANCOS CENTRALES

Foto ;
Santamarta JC



BARRANCOS CENTRALES

- ▶ Elevadas pendientes, lo que favorece la erosión de las zonas descubiertas de vegetación autóctona.
- ▶ En algunos casos llevan un pequeño curso de agua con vegetación asociada.
- ▶ Poco afectados por la acción antrópica, algunos cultivos no mecanizados.

SANTAMARTA JUAN C.

BARRANCOS CENTRALES

- ▶ La morfología de estos barrancos es en "V".
- ▶ La potencia de acarreo es inferior a las otras dos tipologías de barranco.
- ▶ El aprovechamiento del recurso hídrico se realiza además de pozos y sondeos por alguna galería orientada hacia las dorsales.
- ▶ Es la parte de la cuenca hidrográfica que más caudal aporta.

SANTAMARTA JUAN C.

BARRANCOS CENTRALES

- ▶ Aprovechan el agua de *lluvia horizontal* y por el encajonamiento que presentan, disponen de un aporte de agua por *condensación o rocío*.
- ▶ Se encuentran por norma general atravesados por bastantes *diques*, que pueden generar manantiales.

SANTAMARTA JUAN C.

BARRANCOS DE MEDIANÍAS

- ✓ Es el curso de barranco que transcurre en la zona media de la isla, por lo general son los tramos con mayor longitud y extensión, así como mayor implicación en la economía agraria de las islas.

SANTAMARTA JUAN C.

• BARRANCOS DE MEDIANÍAS

Foto :
Santamarta JC



☀ BARRANCOS DE MEDIANÍAS

- ▶ Alta presión antrópica.
- ▶ La cobertura vegetal es escasa, por lo tanto los procesos de erosión se comienzan a notar.
- ▶ La cota a la que encuentran es a partir de la 400 m hacia el mar.
- ▶ Las pendientes, son elevadas aunque se van suavizando.

BARRANCOS DE MEDIANÍAS

- ▶ Se pasa de una cobertura arbórea a una arbustiva.
- ▶ Aparecen las conducciones y canales de las galerías.
- ▶ El aprovechamiento principal son los pozos, sondeos y en algunos casos los tomaderos y embalses, donde las características del terreno lo permitan.
- ▶ La forma morfológica de esta tipología de barrancos es en "U" como norma general.

SANTAMARTA JUAN C.

BARRANCOS COSTEROS

- ✓ **Estos barrancos son los tramos finales de las vías de drenaje estudiadas, en este caso el cauce llega hasta el mar, las pendientes son muy suaves y la presión antrópica es total.**

SANTAMARTA JUAN C.

☀ BARRANCOS COSTEROS

- ✓ En esta parte del barranco se suelen encontrar los **aprovechamientos de áridos**, regulados por los **Consejos Insulares de Agua**, se concentran aquí debido a que por **transporte de sedimentos** en esta zona del barranco se encuentran las **mayores potencias de acarreos**.

SANTAMARTA JUAN C.

• BARRANCO COSTERO

Foto ;
Santamarta JC



BARRANCOS COSTEROS

- ▶ **Afectados por la acción de las mareas.**
- ▶ **Afectados por la urbanización masiva.**
- ▶ **Algunos suelen acabar en playas, generalmente de callados.**
- ▶ **El nivel freático está cerca de la superficie.**

SANTAMARTA JUAN C.

PROBLEMAS EN LOS BARRANCOS

- ✓ **Ocupación de los cauces con obras de edificación.**
- ✓ **Vertidos de escombros, basuras, aguas fecales sin tratamiento .**
- ✓ **Falta de estudios de delimitación de cauces, incluyendo el de la zona de dominio público.**

SANTAMARTA JUAN C.

PROBLEMAS EN LOS BARRANCOS

- ✓ **Falta de estudios de delimitación de zonas inundables para diferentes periodos de recurrencia .**

SANTAMARTA JUAN C.

3.EROSIÓN HÍDRICA

LLUVIAS TORRENCIALES

- ✓ En algunas ocasiones se producen lluvias intensas, situadas principalmente en la cabecera de los barrancos, estas lluvias, ocasionan fenómenos erosivos de importancia.

SANTAMARTA JUAN C.

LLUVIAS TORRENCIALES

- ✓ Este efecto se ve potenciado por las fuertes pendientes que existen y por las características litológicas de algunas áreas de las islas.
- ✓ También por la ausencia de una cubierta vegetal adecuada en gran parte de la superficie, que dificulte la acción erosiva de las aguas.

SANTAMARTA JUAN C.

CARACTERÍSTICAS DE LA LLUVIA

- ✓ **Duración.**
- ✓ **Frecuencia.**
- ✓ **Intensidad.**
- ✓ **Distribución temporal.**

SANTAMARTA JUAN C.

CONCEPTO

- ✓ **La erosión hídrica es el proceso de disgregación y transporte de las partículas del suelo por la acción de las aguas.**

SANTAMARTA JUAN C.

EROSIÓN LAMINAR

- ✓ El proceso erosivo comienza con el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo.
- ✓ El agua se mueve en capas sinuosas de agua, que remueven más o menos uniformemente las partículas más finas del suelo.

SANTAMARTA JUAN C.

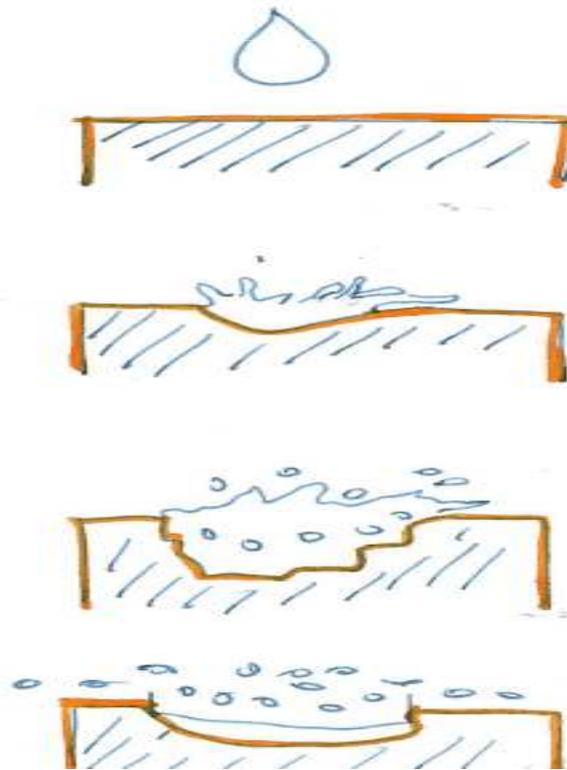
EFECTO GOTAS LLUVIA

- ✓ Efectos de la caída de lluvia.
 - ▶ Desagregación.
 - ▶ Transporte local.

SANTAMARTA JUAN C.

• EFECTO DE LA LLUVIA

Figura ;
Santamarta JC



☀️ FASES

- ✓ Caída de la gota.
- ✓ Golpe.
- ✓ Desprendimiento.
- ✓ Esparcimiento.

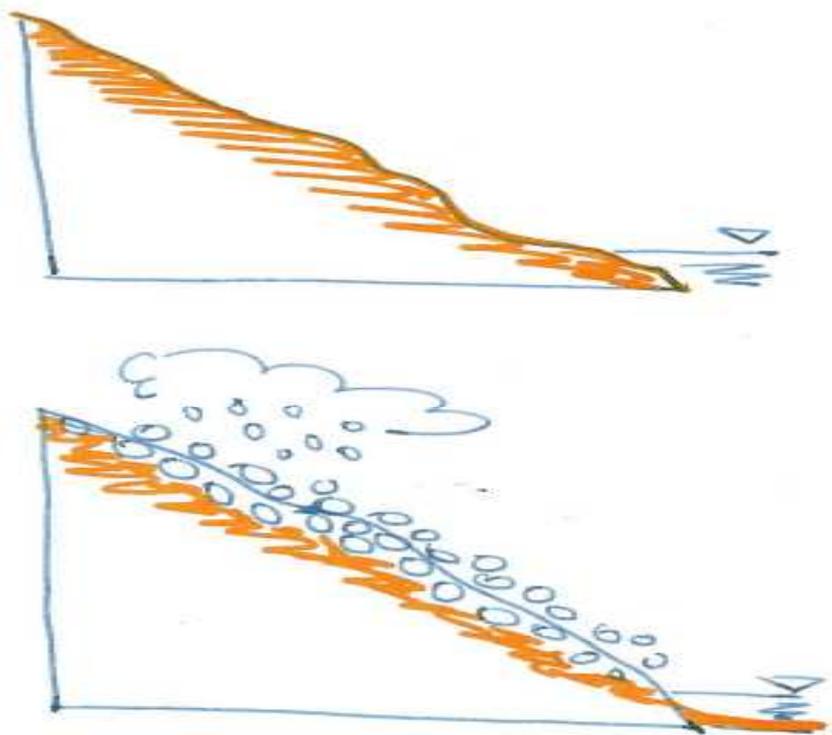
• EFECTO DE LA LLUVIA EN EL SUELO

Foto ;
Santamarta JC



• TRANSPORTE DE SÓLIDOS A BARRANCOS

Figura ;
Santamarta JC



• PERDIDA DE MATERIAL EN LADERA

Foto :
Santamarta JC



☀ EFECTO ESCORRENTÍA

- ✓ **Arranca partículas de la superficie del suelo.**
- ✓ **Transporta las partículas hasta el pie del talud o hasta los barrancos**
 - ▶ **En el barranco es transportado el material hasta la desembocadura del mismo , salvo que se deposite en alguna parte del curso.**

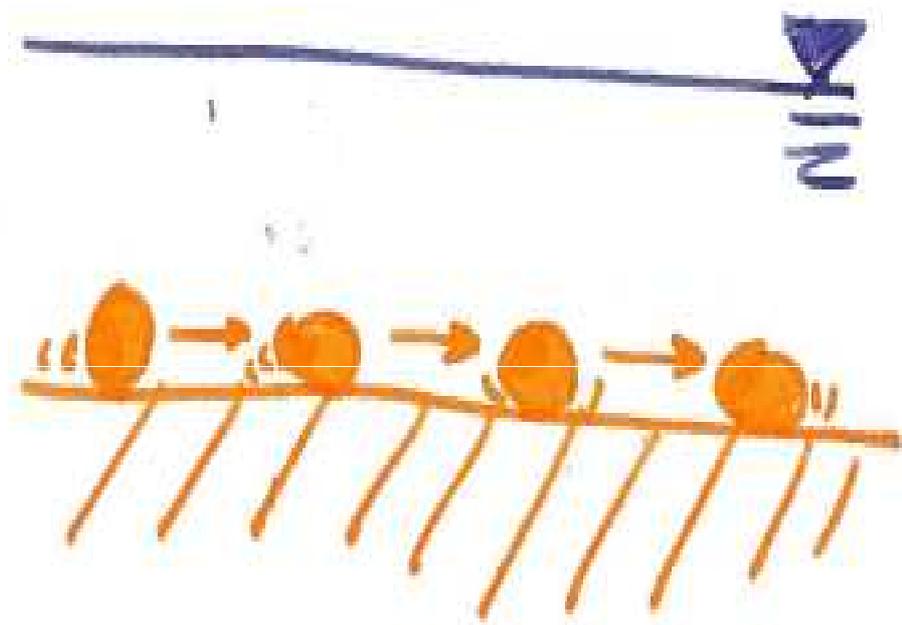
☀ MEDIOS DE TRANSPORTE

- ✓ 1. Acarreo.
- ✓ 2. Saltación.
- ✓ 3. Suspensión.

SANTAMARTA JUAN C.

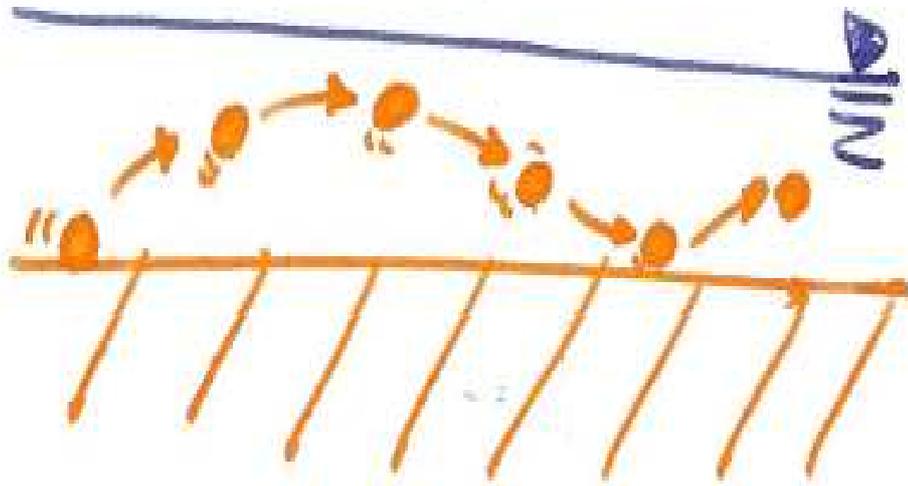
• ACARREO

Foto :
Santamarta JC



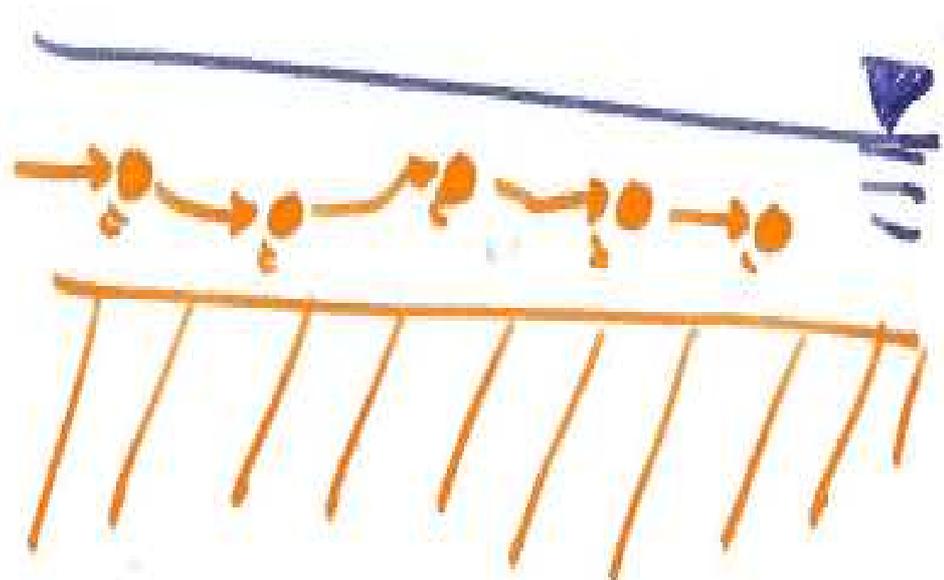
• SALTACIÓN

Foto :
Santamarta JC



• SUSPENSIÓN

Foto :
Santamarta JC



EL TRANSPORTE ES FUNCIÓN DE

✓ **Material arrastrado.**

- ▶ **Tamaño de los materiales.**
- ▶ **Peso específico.**
- ▶ **Forma y geometría de la partícula.**

SANTAMARTA JUAN C.

EL TRANSPORTE ES FUNCIÓN DE

✓ **Corriente del curso de agua en el barranco.**

- ▶ **Velocidad.**
- ▶ **Caudal.**
- ▶ **Geometría del barranco.**
- ▶ **Vegetación.**

SANTAMARTA JUAN C.

EN RESUMEN

✓ Las fases por las que pasa el suelo son;

▶ Desprendimiento.

▶ Transporte.

▶ Deposición.

SANTAMARTA JUAN C.

EROSIÓN EN SURCOS

✓ La erosión laminar le sigue la erosión en surcos que abre pequeños canales, de algunos cm de profundidad, en zonas donde se produce la concentración de la escorrentía.

SANTAMARTA JUAN C.

• EROSIÓN EN SURCOS

Foto :
Santamarta JC



☀ EROSIÓN EN CÁRCAVAS O BARRANCOS

- ✓ El aumento de la cantidad de agua en los surcos origina su profundización y ensanchamiento con dimensiones importantes que resultan difícil su solución técnica.

• CÁRCAVAS

Foto :
Santamarta JC



**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.**

SANTAMARTA JUAN C.

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/>

RECURSOS HÍDRICOS EN TERRENOS E ISLAS VOLCÁNICAS

Tema 6 ; Aprovechamientos de recursos hídricos superficiales

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. Tipología de aprovechamientos.**
- ✓ **2. Manantiales.**
- ✓ **3. Tomaderos de barranco.**

SANTAMARTA JUAN C.

CONTENIDOS

- ✓ **4. Presas.**
- ✓ **5. Balsas.**
- ✓ **6. Transporte hidráulico.**
- ✓ **7. Aprovechamientos tradicionales.**

SANTAMARTA JUAN C.

DESARROLLO DE CONTENIDOS



1.TIPOLOGÍA DE APROVECHAMIENTOS.



☀️ INTRODUCCIÓN

- ✓ La obtención de los recursos hídricos mediante **infraestructuras superficiales**, se hace especialmente difícil, salvo en casos puntuales como en la isla de Gran Canaria y en La Gomera.
- ✓ El problema principal es la **permeabilidad del terreno volcánico**.

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ PRODUCCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS EN UNA ISLA VOLCÁNICA



SANTAMARTA JUAN C.

☀ TIPOLOGÍA DE APROVECHAMIENTOS EN UN TERRENO VOLCÁNICO

- ✓ **Manantiales o Nacientes.**
- ✓ **Tomaderos.**
- ✓ **Presas.**
- ✓ **Balsas.**
- ✓ **Transporte hidráulico.**

SANTAMARTA JUAN C.

• LAGO EN TERCEIRA AZORES

Foto ;
Santamarta JC



2.MANANTIALES O NACIENTES.

• NACIENTE

Foto :
Santamarta JC



3. TOMADEROS DE BARRANCO.

TOMADEROS

- ✓ Los barrancos en general, son vías preferentes de drenaje del agua de lluvia, aunque prácticamente todo el año se encuentran secos, en ciertas épocas del año coincidiendo con las épocas de lluvia suelen llevar algo de caudal , que es aprovechado mediante *tomaderos*.

TOMADERO

- ✓ **Obra transversal al barranco , destinada al aprovechamiento y derivación de volúmenes de agua de una corriente natural, ese recurso puede ser almacenado en una presa o en una balsa.**

SANTAMARTA JUAN C.

• TOMADERO BARRANCO LAS ANGUSTIAS LA PALMA

Foto :
Santamarta JC



ELEMENTOS DEL TOMADERO

- ✓ **Azud transversal al cauce del barranco.**
- ✓ **Disipador de energía.**
- ✓ **Toma de rejillas.**

SANTAMARTA JUAN C.



ELEMENTOS DEL TOMADERO

- ✓ **Obra de recepción del agua.**
- ✓ **Canal desarenador.**
- ✓ **Obra de conducción.**

SANTAMARTA JUAN C.



4.PRESAS.



PRESA DEFINICIÓN

- ✓ Muro grueso de piedra y otros materiales que se construye a través de un barranco , para almacenar el agua a fin de derivarla o aprovecharla fuera del cauce.

☀ EMBALSE DEFINICIÓN

✓ **Gran depósito que se forma artificialmente por lo común cerrando la boca de un valle de barranco mediante un dique o presa y en el que se almacenan las aguas de que transcurren por un barranco o varios cuando llueve a fin de utilizarlas en;**

▶ **Riego agrícola .**

▶ **Aprovechamientos futuros como un aprovechamiento hidroeléctrico.**

SANTAMARTA JUAN C.

• AGUA EMBALSADA

Foto ;
Santamarta JC



PRESAS EN CANARIAS

- ✓ Existe un número importante de presas, sobre todo en Gran Canaria (existen 80 presas de más de 15 m de altura) y también algunas en la isla de la Gomera.
- ✓ En las otras islas es complicado este tipo de obra ya que la **permeabilidad del suelo es elevada**.

SANTAMARTA JUAN C.

CARACTERÍSTICAS EN MEDIOS VOLCÁNICOS

- ✓ No es una obra que asegure un volumen de recursos hídricos importantes (0.1 a 5 Hm³).
- ✓ No son comparables en términos de rentabilidad los embalses continentales con los canarios, ya que estos últimos con una capacidad muy inferior a los anteriores, no tienen una capacidad acorde a la altura de presa.

SANTAMARTA JUAN C.

• PRESA DE SORIA EN GRAN CANARIA

Foto :
Santamarta JC



☀ CARACTERÍSTICAS EN MEDIOS VOLCÁNICOS

- ✓ En algunas ocasiones se recurrió a impermeabilizar vasos del embalse en terrenos con baja permeabilidad mediante morteros de cal y cemento, el coste de esta actuación muchas veces no era justificable para el rendimiento obtenido.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

- ✓ **Plantas curvas en su mayoría, existiendo de planta recta.**
- ✓ **Volumen embalsado medio 0,150 a 0,5 Hm³, aunque pueden, en algunos casos embalsar 5 Hm³.**
- ✓ **Alturas de presa de 15 a 40 m excepto de la presa de Soria en Gran Canaria con una altura de 135 m.**

SANTAMARTA JUAN C.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

- ✓ **La mayoría son clasificadas como grandes presas.**
- ✓ **En general son de gravedad.**
- ✓ **Fábricas de mampostería.**

SANTAMARTA JUAN C.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

- ✓ **Ancho de coronación de 3 a 5 m.**
- ✓ **Longitud de coronación de unos 100 m de media.**
- ✓ **En general las presas son de propiedad privada.**

SANTAMARTA JUAN C.

• PRESA DE TAHODIO EN TENERIFE

Foto ;
Santamarta JC



CONSTRUCCIÓN

- ✓ Las presas que se han ejecutado mediante mampostería han presentado una ventaja a nivel constructivo con respecto a las construidas mediante hormigón, el hecho de **no presentar juntas de dilatación**.
- ✓ Estas presas hayan sido de ejecución más lenta, pero con la ventaja de no aparecen grietas.

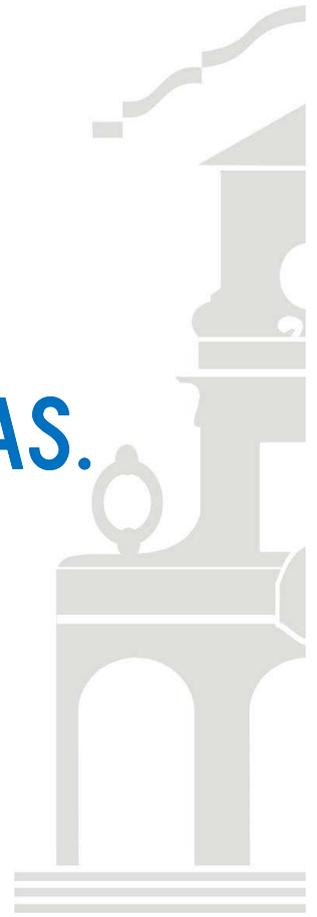
SANTAMARTA JUAN C.

MAS INFORMACIÓN

- ✓ Para informarse más sobre las presas en las islas Canarias , recomiendo sin reservas la siguiente web;
- ▶ <http://www.presasengrancanaria.com/>

SANTAMARTA JUAN C.

5.BALSAS.



BALSAS

- ✓ Las balsas en las islas occidentales, son depósitos de aguas que mediante una lámina plástica se procede a su impermeabilización, en un principio se plantearon para recoger el agua captada por los barrancos, principalmente en la isla de Tenerife.

☀️ BALSAS

✓ Actualmente , en el caso de Tenerife se utilizan para;

- ▶ Almacenamiento de excedentes de galerías.
- ▶ Almacenamiento de aguas re-generadas.

SANTAMARTA JUAN C.

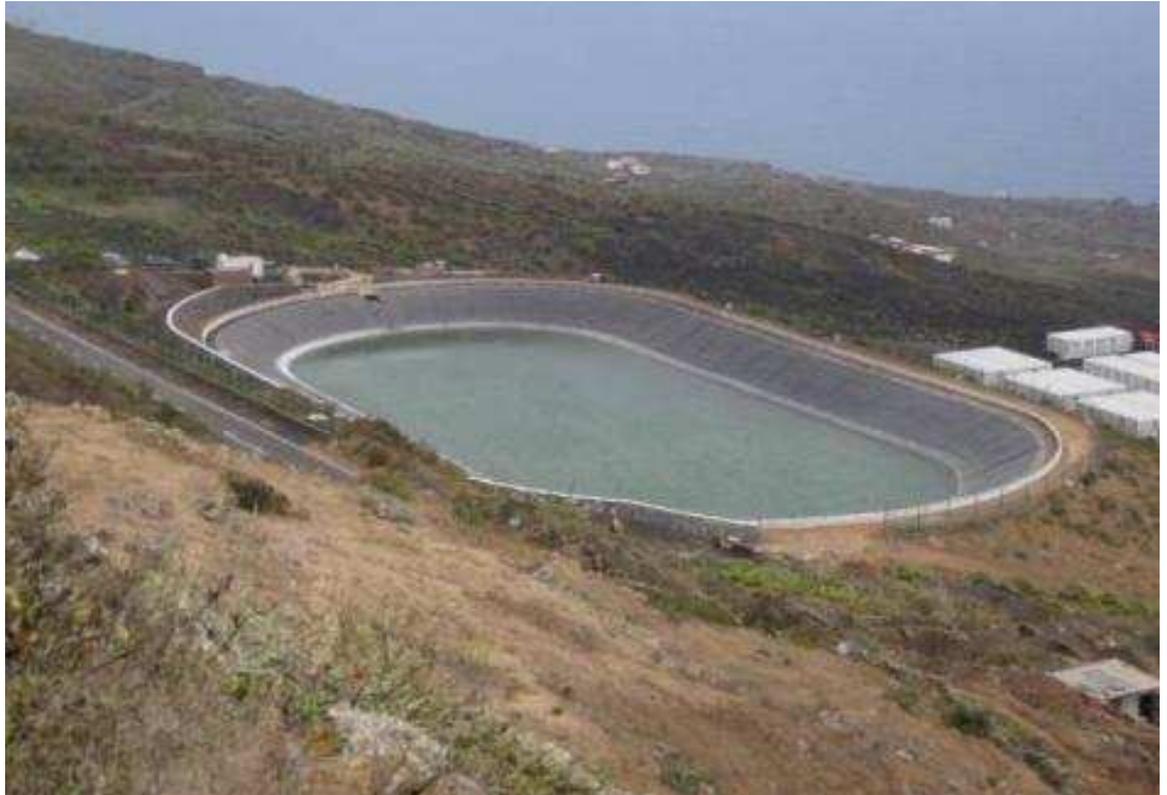
☀️ BALSAS DE IMPORTANCIA EN EL ARCHIPIÉLAGO

Isla	Nº de balsas de importancia
Tenerife	14
Gomera	2
Hierro	2
La Palma	6

SANTAMARTA JUAN C.

• Balsa en la Isla de El Hierro

Foto :
Santamarta JC



☀ ELEMENTOS DE LAS BALSAS

- ✓ **Dique de cierre.**
- ✓ **Embalse a impermeabilizar.**
- ✓ **Impermeabilización.**
- ✓ **Obras de drenaje.**

ELEMENTOS DE LAS BALSAS

- ✓ **Obras accesorias.**
- ✓ **Cámara de llaves.**
- ✓ **Cubierta cuando proceda.**
 - ▶ **Disminuye la impermeabilización**

SANTAMARTA JUAN C.

DISEÑO E IMPERMEABILIZACIÓN

- ✓ **Para el diseño de las balsas se suelen buscar formas geométricas, para facilitar la colocación de la lámina delgada.**
- ✓ **Se suele usar en Canarias como sistema impermeabilizante el polietileno de alta densidad (PEAD), otros plásticos que se usan es el PVC, suele incluir en este caso una malla interna, el butilo, que es excelente para este tipo de infraestructuras pero presenta la desventaja del coste.**

SANTAMARTA JUAN C.

DISEÑO

- ✓ Los taludes de las balsas en las islas Canarias se suelen hacer con un talud de 2:1, los diques utilizados como cierres se suelen construir como una presa de materiales sueltos.
- ✓ En la parte interior de las balsas se encuentra la galería de fondo donde se disponen las tuberías de los desagües así como las conducciones de servicio.

SANTAMARTA JUAN C.

COSTES DEL AGUA

	Suministro aguas blancas	Suministro agua depurada	Transporte de agua	Almacenamiento
Máximo	0,63 €/m ³	0,55 €/m ³	0,08€/m ³	3,25 €/1000 m ³ /día
Mínimo	0,38 €/m ³	0,22 €/m ³	0,04 €/m ³	3,25 €/1000 m ³ /día

Fuente ; Cabildo de Tenerife (2009)

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ CHARCAS SECAS-BALSAS, EN FUERTEVENTURA

✓ El agua de almacenamiento tiene los siguientes problemas;

- ▶ Los aportes de los nacientes, son salinos y se produce el lavado de las sales depositadas en el suelo.
- ▶ En los aprovechamientos superficiales de la escorrentía se puede afirmar, que los nacientes incorporan más salinidad a medida que se acercan a la costa.

SANTAMARTA JUAN C.

• CHARCA EN FUERTEVENTURA

Foto ;
Santamarta JC



6. TRANSPORTE HIDRÁULICO.

TRANSPORTE HIDRÁULICO

- ✓ El problema general en las islas que las zonas donde se aprovecha el agua es distinta de la zona donde se consume.
- ✓ Hay una atomización de los aprovechamientos.

• CANAL EN TENERIFE

Foto :
Puertas Francisco



☀️ CONDICIONANTES

- ✓ Minas de agua en cotas altas.
- ✓ Pozos y sondeos , cotas bajas.
- ✓ Consumo en costa.

☀ CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- ✓ Secciones rectangulares variables como norma general 0.5 m^2
- ✓ Pendientes de 1-3,5 tantos por mil.
- ✓ Caudal variable.
- ✓ La mayoría anteriores a la década de los sesenta y nunca posteriores a 1975.

SANTAMARTA JUAN C.

Foto ;
Santamarta JC



☀ TIPOLOGÍA DE LAS CONDUCCIONES

- ✓ Madera.
- ✓ Excavados en arcilla.
- ✓ Excavados en roca.
- ✓ Acero.
- ✓ Mampostería.
- ✓ Hormigón.
- ✓ Fibrocemento.
- ✓ Piedra tosca.
- ✓ Plásticos

SANTAMARTA JUAN C.

• DISTRIBUIDOR DE CAUDALES (CANTONERA)

Foto :
Santamarta JC

GESTIÓN

- ✓ La **gestión** de la práctica totalidad de la red es en general privada.
- ✓ Realizada por sus titulares mediante la fórmula de **Comunidades de Agua** y se caracteriza por
 - ▶ **sobriedad, austeridad y eficacia.**

SANTAMARTA JUAN C.

PROBLEMAS EN EL TRANSPORTE HIDRÁULICO

- ✓ **Excesivo número de conducciones.**
- ✓ **Dificultad de gestión.**
- ✓ **Pérdidas en las conducciones.**

SANTAMARTA JUAN C.

PROBLEMAS EN EL TRANSPORTE HIDRÁULICO

- ✓ La entrada de tierras y piedras ocasionadas por desprendimientos de las laderas donde se ubican.
- ✓ Vertido de sustancias y residuos de todo tipo.
- ✓ El crecimiento de algas verdes (eutrofización)
- ✓ La evaporación.
- ✓ Conexiones ilegales.

SANTAMARTA JUAN C.

7. APROVECHAMIENTOS TRADICIONALES

MARETAS

- ✓ Las *maretas* son estructuras hidráulicas de captación de recursos hídricos superficiales, típicos de la isla de Fuerteventura y Lanzarote.
- ▶ Constan de un canal de derivación que transporta el agua desde el barranco a un aljibe, puede tener un **desarenador**, puede ser cubierta o no.

SANTAMARTA JUAN C.

MARETA DE CONCENTRACIÓN

- ✓ En este caso, en vez de tener una derivación desde un barranco, dispone de una superficie impermeable que se denomina **alcogida**.

SANTAMARTA JUAN C.

• MARETA DE DERIVACIÓN

Foto :
Santamarta JC



• MARETA DE CONCENTRACIÓN

Foto :
Santamarta JC



☀ GAVIAS

- ✓ Son pequeños diques de materiales sueltos, contribuyen enormemente a **fijar el suelo**, evitando que la escorrentía, arrastre los sedimentos fértiles al mar, y facilitando al mismo tiempo que se **infiltre el agua** enriqueciendo los acuíferos de la isla.

SANTAMARTA JUAN C.

• GAVIAS

Foto ;
Santamarta JC



NATEROS

- ✓ Obra usada principalmente en la agricultura, fundamentalmente es un pequeño dique situado en el barranco que deriva aguas hacia las zonas de cultivo, provocando la filtración del agua en el terreno.
- ✓ Los materiales son locales.

SANTAMARTA JUAN C.

NATEROS-GAVIAS

- ✓ **Nateros**, es un sistema que se desarrolla en las **áreas de montaña**, donde la erosión y la escorrentía son muy altas.
- ✓ Mientras que las **gavias** son sistemas de **zonas áridas subllanas**, los **nateros** son el sistema de las **zonas áridas montañosas**.

SANTAMARTA JUAN C.

• NATEROS EN TENERIFE

Foto :
Santamarta JC



CADENAS

- ✓ Las **cadenas** son pequeños muros de piedras basálticas, usados generalmente en Fuerteventura, la función de estos muros es retener el agua que cae por las laderas aprovechando la escorrentía superficial y con otra función fundamental, que es la de **retener el suelo y evitar la erosión.**

• CADENAS EN FUERTEVENTURA

Foto :
Santamarta JC



☀ ENARENADOS

- ✓ Superficie de terreno cubierta por una capa más ó menos gruesa de *lapilli*.
- ✓ El volumen de huecos del lapilli , hace que se aproveche agua del rocío.
- ✓ Evita la pérdida de agua por evaporación.

• ENARENADOS EN LANZAROTE

Foto :
Santamarta JC



✓ El **lapilli**, absorbe intensamente la radiación solar, enfriándose rápidamente por la noche por su baja conductividad térmica, lo que produce la condensación de vapor de la atmósfera.

ALJIBES

- ✓ Los *aljibes* son unos depósitos subterráneos que permiten almacenar las aguas de lluvia, recogidas a través de canalizaciones, escorrentías etc.
- ✓ La islas con mayor presencia de *aljibes*, son las de El Hierro y Lanzarote.

SANTAMARTA JUAN C.

ALJIBES

- ✓ Los *aljibes* se tienden a poner en los patios usando como **superficie de captación (*alcogida*)**, aquel, por ello se prestaba a tener una buena impermeabilización y limpieza, que garantizara algo la calidad y cantidad del agua.

SANTAMARTA JUAN C.

• ALJIBE EN EL HIERRO

Foto :
Santamarta JC



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.**

SANTAMARTA JUAN C.

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/>

SISTEMAS DE RECURSOS HIDRÁULICOS EN MEDIOS VOLCÁNICOS

Tema 7 ; Depuración y reutilización de aguas

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

ULL | Universidad
de La Laguna



2

CONTENIDOS

CONTENIDOS

- ✓ **La depuración de aguas.**
- ✓ **Esquema de la depuración de aguas.**
- ✓ **Reutilización de aguas.**
- ✓ **Esquema de trabajo en una EDAR.**

SANTAMARTA JUAN C.

DESARROLLO DE CONTENIDOS

1. LA DEPURACIÓN DE AGUAS

INTRODUCCIÓN

- ✓ En lo que se refiere a las técnicas de depuración de aguas, éstas se desarrollaron en su mayoría durante los años cincuenta y sesenta y casi todas las soluciones técnicas hoy empleadas proceden de investigaciones hechas entonces.

INTRODUCCIÓN

- ✓ La **depuración de aguas** es el nombre que reciben los distintos procesos implicados en la extracción, tratamiento y control sanitario de los productos de desecho arrastrados por el agua.
- ✓ El **tipo y grado de tratamiento** a que debe someterse el agua dependen del tipo y del grado de contaminación que contiene, de la capacidad de dispersión en el medio receptor, de la calidad y fragilidad de éste y de la función que se dará al agua resultante.

SANTAMARTA JUAN C.

DIRECTIVA MARCO DEL AGUA

Art. 1. Establecer un marco para la **protección de las aguas** que:

- prevenga todo deterioro adicional.
- promueva un uso sostenible.
- ...medidas específicas de reducción progresiva de vertidos.
- ...reducir de forma significativa la contaminación de las aguas subterráneas.

SANTAMARTA JUAN C.

INTRODUCCIÓN

- ✓ **Generalmente, las aguas residuales presentan una serie de características comunes, que permiten que los métodos utilizados para su tratamiento sean uniformes.**

SANTAMARTA JUAN C.

INTRODUCCIÓN

- ✓ **El agua está contaminada cuando su composición o su estado natural se ve modificado de tal modo, que pierde las condiciones aptas para los usos a los que estaba destinada, presentando alteraciones físicas (temperatura, color, radioactividad) y químicas (composición).**

SANTAMARTA JUAN C.

TIPOS DE AGUA

- **Aguas pluviales.**
- **Aguas negras .**
- **Aguas industriales.**
- **Aguas agrarias.**

SANTAMARTA JUAN C.

PARÁMETROS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

✓ **Sólidos.**

- ▶ **Sólidos disueltos (SD).**
- ▶ **Sólidos en Suspensión (SS).**

SANTAMARTA JUAN C.

PARÁMETROS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

✓ **Materias oxidables biológicamente .**

- ▶ **Demanda Química de Oxígeno (DQO).**
- ▶ **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).**
- ▶ **Carbono Orgánico Total (COT).**



SANTAMARTA JUAN C.

PARÁMETROS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

• **Materia inorgánica.**

- ▶ **Nitrógeno, Nitratos, Nitritos, Fósforo, Flúor, Cloruros, Metales, Sulfatos.**

• **Gases.**

- ▶ **Metano, Oxígeno disuelto, sulfuro de hidrógeno.**

SANTAMARTA JUAN C.

PARÁMETROS DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS

- **Materia biológica.**

- ▶ **Microorganismos (protozoos, bacterias, hongos y algas).**
- ▶ **Organismos patógenos (coliformes).**

SANTAMARTA JUAN C.

2.ESQUEMA DE LA DEPURACIÓN DE AGUAS

MARCO LEGAL

- ✓ **Directiva 271/91/CEE** de la Unión Europea que establece los plazos para construir depuradoras y los tamaños de población de que deben contar con una. Establece también mecanismos y frecuencias de muestreo y análisis de las aguas residuales.
- ✓ Existe la transposición de esta Directiva a la legislación española y un Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales B.O.E.

SANTAMARTA JUAN C.

MARCO LEGAL

- ✓ **Real Decreto Ley 11/1995** de 28/12/95, establece las normas aplicables al tratamiento del A.R.
- ✓ **Real Decreto 509/1996** de 15 de marzo, de desarrollo del RDL 11/1995, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

SANTAMARTA JUAN C.

MARCO LEGAL

- ✓ **Comisaría de Aguas** correspondiente a la cuenca donde se vierte emite una autorización de vertido en la que se pueden reflejar valores límite de vertido.

SANTAMARTA JUAN C.

EDAR

✓ **ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES**

- ✓ **Instalación que recoge el agua residual y la somete a una serie de tratamientos y procesos con el objetivo de reducir su contaminación antes de ser vertida de nuevo y así no causar impactos medioambientales**

SANTAMARTA JUAN C.

• ESQUEMA PLANTA

Foto :
Santamarta JC



☀ ETAPAS

- ✓ Tratamiento previo o pretratamiento.
- ✓ Tratamiento primario.
- ✓ Tratamiento secundario.
- ✓ Tratamiento terciario.

PRETRATAMIENTO

- ✓ Tiene como objetivo la separación o eliminación de las **sustancias sólidas** de mayor tamaño, ya que estos pueden provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos.

SANTAMARTA JUAN C.

PRETRATAMIENTO

- ✓ Consiste en un **desbaste** para la eliminación de sólidos gruesos.
- ✓ **Flotación** para la eliminación de grasas y aceites .
- ✓ **Desarenado** para la eliminación de la materia en suspensión gruesa.

SANTAMARTA JUAN C.

• OBRA DE LLEGADA

Foto :
Santamarta JC



• OBRA DE REPARTO

Foto :
Santamarta JC



☀️ TRATAMIENTO PRIMARIO

- ✓ El tratamiento primario trata de eliminar los sólidos en suspensión de pequeño tamaño y una pequeña parte de la materia orgánica.
- ✓ Esta eliminación suele llevarse a cabo mediante operaciones físicas como pueden ser el tamizado y la sedimentación.

SANTAMARTA JUAN C.

• DECANTADOR SECUNDARIO

Foto ;
Santamarta JC



• DECANTADOR

Foto :
Santamarta JC



☀️ TRATAMIENTO SECUNDARIO

- ✓ El tratamiento secundario y tercera etapa, está enfocado a la eliminación de la materia orgánica disuelta en el agua. Está demostrado que el proceso de oxidación biológica es el método más efectivo y económicamente más rentable.

• DIGESTIÓN SECUNDARIA

Foto :
Santamarta JC



• ESPESADOR DE LODOS

Foto :
Santamarta JC



• RECIRCULACIÓN DE FANGOS

Foto :
Santamarta JC



☀ USO AGUA TRATADA

- ✓ **Tras un tratamiento secundario, el agua sería apta para ser evacuada por el emisario submarino, pero sin embargo, no sería apta para reutilizarla en otros usos, tal y como expone el RD 1620/2007.**

3. REUTILIZACIÓN DE AGUAS

INTRODUCCIÓN

- ✓ La **reutilización de aguas** se ha venido llevando a cabo desde la antigüedad en muchos países.
- ✓ En otros países, la reutilización de aguas, se introduce por la necesidad inminente debido a su escasez.

REUTILIZACIÓN DE AGUAS EN CANARIAS

- ✓ Las Islas Canarias se caracterizan por ser una región con **escasez hídrica**, esto junto a la particularidad de cada isla por ser un sistema aislado, crea una **inminente necesidad de reutilizar sus aguas**.

SANTAMARTA JUAN C.

REUTILIZACIÓN DE AGUAS

- ✓ La regeneración de las aguas residuales, exige de tratamiento terciarios para asegurar la existencia de un agua de calidad, tal y como el **RD 1620/2007**
- ✓ Estos tratamientos tratan de eliminar los **nutrientes, los compuestos tóxicos, los excesos de materia orgánica y los sólidos en suspensión o disueltos**.

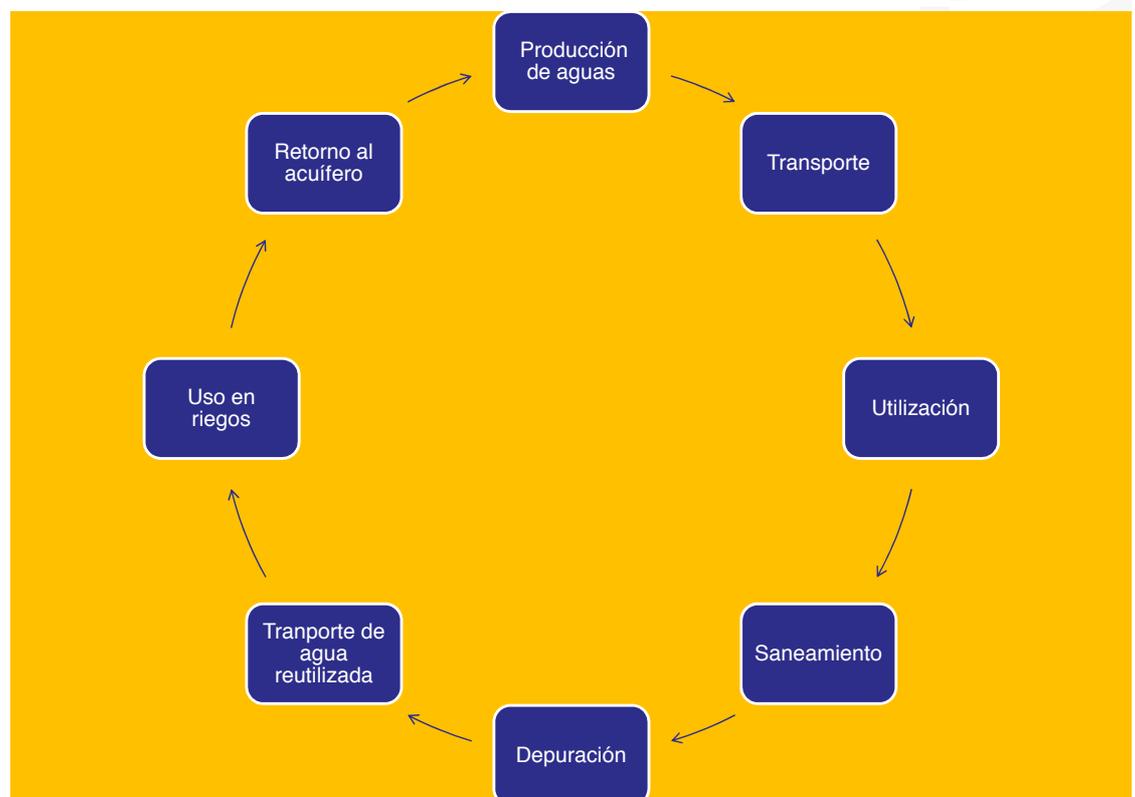
SANTAMARTA JUAN C.

☀️ REUTILIZACIÓN DE AGUAS

- ✓ **La viabilidad de la reutilización de aguas residuales depende fundamentalmente de la calidad original de las aguas de abastecimiento.**

SANTAMARTA JUAN C.

• ESQUEMA DEL USO DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUA



REUTILIZACIÓN EN CANARIAS

- ✓ Los caudales sometidos a tratamientos secundarios se estiman actualmente , del orden de 125 Hm³/año.
- ✓ Para **mejorar la calidad** de dichos efluentes es necesario acoplar unidades de tratamientos terciarios avanzados a la infraestructura de las depuradoras ya existentes.

SANTAMARTA JUAN C.

USOS

- ✓ El agua depurada puede utilizarse en agricultura, riego de parques y jardines, campos de golf, industrias, etc. gracias al desarrollo de la red de distribución de agua regenerada.
- ✓ Zonas rurales, turísticas e industriales es donde existe mayor demanda.

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ DEMANDA

✓ El principal uso del agua reutilizada será, como lo está siendo en la actualidad, el riego agrícola.

▶ 60 % de la demanda total.

SANTAMARTA JUAN C.

• TRANSPORTE AGUAS RESIDUALES

Foto :
Santamarta JC



PROBLEMAS DE LA REUTILIZACIÓN

✓ **La reutilización de las aguas residuales depuradas en regadíos presenta problemas principalmente relacionados con la salud pública.**

- ▶ **Calidad del agua.**
- ▶ **Fertilización de las tierras cultivables.**
- ▶ **la legislación.**

SANTAMARTA JUAN C.

4.ESQUEMA DE TRABAJO EN UNA EDAR

ESQUEMA DE TRABAJO

- ✓ Plan de **operación**.
- ✓ Plan de **conservación**.
- ✓ Organización de los **recursos humanos**.
- ✓ Estudio de **costes**.
- ✓ Trabajos de **gestión**.

SANTAMARTA JUAN C.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- ✓ **Hernández Sánchez C, (2011). Depuración de Aguas. Recursos Hídricos en Medios Volcánicos.**
- ✓ **Barbero , C (2011) . Ponencia la depuración de aguas en Tenerife. Curso UV de Adeje.**
- ✓ **Hernández Muñoz, A. (2004). Depuración de aguas residuales. Edit. Colegio de Caminos. Madrid**

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.**

SANTAMARTA JUAN C.

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/>

SISTEMAS DE RECURSOS HIDRÁULICOS EN MEDIOS VOLCÁNICOS

Tema 8 ; Gestión de los recursos hídricos en medios insulares

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

ULL | Universidad
de La Laguna



2

CONTENIDOS

CONTENIDOS

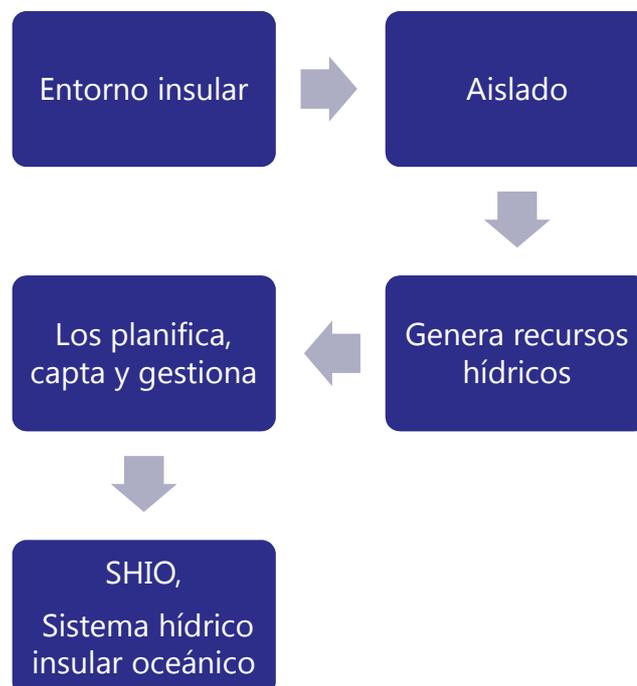
1. **Introducción; los sistemas insulares.**
2. **El agua en Canarias.**
3. **El plan hidrológico.**
4. **Previsión de infraestructuras canarias.**
5. **El coste del agua.**
6. **Directiva Marco del Agua.**

SANTAMARTA JUAN C.

DESARROLLO DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN ; LOS SISTEMAS INSULARES

SISTEMA HÍDRICO INSULAR OCEÁNICO



☀️ PRODUCCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS EN UNA ISLA VOLCÁNICA



SANTAMARTA JUAN C.

☀️ PROBLEMAS A LA HORA DE GESTIONAR UN SISTEMA INSULAR

- ✓ **Alta densidad de población en relación con los recursos disponibles en general.**
- ✓ **Importante sector turístico establecido o emergente en algunas de las islas.**
- ✓ **Sector agrícola de relativa importancia económica.**

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ PROBLEMAS A LA HORA DE GESTIONAR UN SISTEMA INSULAR

- ✓ **Fragilidad y exclusividad de los ecosistemas.**
- ✓ **Origen volcánico que condiciona la complejidad del subsuelo y la orografía del Terreno.**
- ✓ **Sistemas cerrados y aislados en lo que se refiere a la gestión del agua (Vera, L).**

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ MACARONESIA



SANTAMARTA JUAN C.

☀️ RECURSOS HÍDRICOS EN MEDIOS INSULARES

Producción de recursos hídricos en islas volcánicas

Atmósfericos

Convencionales

No convencionales

Captadores de niebla

Recursos superficiales

Recursos subterráneos

Reutilización de aguas residuales

Desalación

SANTAMARTA JUAN C.

2. EL AGUA EN CANARIAS

☀️ RECURSOS DISPONIBLES

	LZT	FVT	GC	TF	GO	HIE	LP
Recursos superficiales regulados	0,1	1,8	11,2	5,0	3,4	0,1	3,5
Aguas subterráneas para uso directo	0,1	0,2	60,0	180,0	11,1	1,9	72,9
Aguas subterráneas salobres desaladas	0,0	1,0	20,2	11,3	0,0	0,0	0,0
Desalación agua de mar	16,9	10,9	56,9	6,7	0,0	0,5	0,1
Reutilización	3,8	1,4	7,2	8,0	0,0	0,0	0,1
Total recursos disponibles	20,9	15,3	155,5	211,0	14,5	2,4	76,6

Fuente ; Fundación Centro del Agua , 2008)

SANTAMARTA JUAN C.

3. EL PLAN HIDROLÓGICO

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ISLA

- ▶ Marco geográfico y climático.
- ▶ Población y actividad económica.
- ▶ Geología e hidrología.

SANTAMARTA JUAN C.



SITUACIÓN HIDRÁULICA ACTUAL

- ▶ Recursos hídricos.
- ▶ Usos del agua.
 - Consumo urbano.
 - Consumo industrial.
 - Consumo agrícola.
- ▶ Balance hidráulico.

SANTAMARTA JUAN C.



► Infraestructura hidráulica.

- Captaciones aguas subterráneas.
- Balsas y depósitos.
- Redes de transporte.
- Desaladoras.
- Saneamiento y depuración.

► Gestión del recurso.

SANTAMARTA JUAN C.



☀️ PRINCIPIOS DIRECTRICES Y PREVISIONES DE EVOLUCIÓN

- Principios, directrices ¿hacia donde vamos?.
- Evolución de las **demandas**.
- Evolución de los **recursos**.
- Balance hidráulico.

SANTAMARTA JUAN C.



PLAN HIDROLÓGICO

- ✓ **Calidad de aguas.**
- ✓ **Zonificación hidrogeológica.**
- ✓ **Programas de actuación.**
- ✓ **Inversiones y financiación.**
- ✓ **Normativa aplicable.**

SANTAMARTA JUAN C.

4. PREVISIÓN DE INFRAESTRUCTURAS CANARIAS

GOMERA

- ✓ **Captaciones subterráneas.**
- ✓ **Presas.**
- ✓ **Manantiales.**

SANTAMARTA JUAN C.



TENERIFE

- ✓ **Captaciones subterráneas.**
- ✓ **Desalación.**
- ✓ **Balsas.**

SANTAMARTA JUAN C.



HIERRO

- ✓ **Captaciones subterráneas.**
- ✓ **Desalación.**

SANTAMARTA JUAN C.



FUERTEVENTURA

- ✓ **Desalación.**
- ✓ **Aprovechamientos superficiales.**
- ✓ **Captaciones subterráneas.**

SANTAMARTA JUAN C.



GRAN CANARIA

- ✓ **Captaciones subterráneas.**
- ✓ **Presas.**
- ✓ **Desalación.**

SANTAMARTA JUAN C.

LANZAROTE

- ✓ **Desalación.**
- ✓ **Residual , captaciones subterráneas.**

SANTAMARTA JUAN C.

LA PALMA

- ✓ **Captaciones subterráneas.**
- ✓ **Escorrentía , aprovechamientos superficiales , manantiales.**

SANTAMARTA JUAN C.

5.COSTE DEL AGUA

COSTE EN LA PENÍNSULA IBÉRICA

Infraestructura	Mínimo €/m ³	Medio €/m ³	Máximo €/m ³
Agua superficial (presas)	0,02	0,085	0,15
Aguas subterráneas	0,06	0,23	0,40
Transporte	0,0006 €/m ³ /km	0,03 €/m ³ /km	0,06 €/m ³ /km
Reutilización	0,20	0,30	0,40
Ahorro de agua	0,15	0,22	0,30
Desalación de agua	0,60	0,70	0,80

Fuente ; Balairón Luis y fuente propia

SANTAMARTA JUAN C.

COSTE DEL RECURSO EN ISLAS

Coste del recurso hídrico	Mínimo €/m ³	Máximo €/m ³	Medio €/m ³
Aguas subterráneas galerías-pozos	0,45	0,55	0,50
Aguas superficiales(2)	0,42	0,62	0,52
Aguas atmosféricas	0,01	0,01	0,01
Desalación de aguas	0,57(1)	1,62	0,70
Desalación de aguas salobres(3)	0,20	0,30	0,25
Depuración de aguas (4)	0,18	0,20	0,19
Reutilización de aguas(aplicación de terciario a depuración)	0,35	0,35	0,35

1 Fuente Balten.
 2 Consejo Insular de Aguas de Tenerife
 3 Fuente Gobierno de Canarias, Dirección General de aguas. (hay que sumar captación)
 4 Planta de 40.000 m³ / d

SANTAMARTA JUAN C.

COSTES DEL AGUA EMBALSADA EN BALSAS

	Suministro aguas blancas	Suministro agua depurada	Transporte de agua	Almacenamiento
Máximo	0,63 €/m ³	0,55 €/m ³	0,08€/m ³	3,25 €/1000 m ³ /día
Mínimo	0,38 €/m ³	0,22 €/m ³	0,04 €/m ³	3,25 €/1000 m ³ /día

Fuente : Cabildo de Tenerife (2009)

SANTAMARTA JUAN C.

6.DIRECTIVA MARCO DEL AGUA

INTRODUCCIÓN

- ✓ Norma del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea por la que se establece un marco de actuación comunitario en el ámbito de la política de aguas.

SANTAMARTA JUAN C.

INTRODUCCIÓN

- ✓ En España fue transpuesta al marco legislativo estatal a través de la Ley 62/2003, de 30 de diciembre de 2000.

SANTAMARTA JUAN C.

OBJETIVOS

- ✓ **La prevención del deterioro adicional y la protección y mejora de los ecosistemas acuáticos, así como de los ecosistemas terrestres dependientes.**
- ✓ **La promoción de los usos sostenibles del agua.**

SANTAMARTA JUAN C.

OBJETIVOS

- ✓ **La protección y mejora del medio acuático.**
- ✓ **La reducción de la contaminación de las aguas subterráneas.**
- ✓ **La paliación de los efectos de inundaciones y sequías.**

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.

SISTEMAS DE RECURSOS HIDRÁULICOS EN MEDIOS VOLCÁNICOS

Tema 9 ; Precipitación horizontal

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

ULL | Universidad
de La Laguna



2

CONTENIDOS

CONTENIDOS

- ✓ **1. introducción.**
- ✓ **2. Efecto de la masa forestal en las islas volcánicas.**
- ✓ **3. Fenómeno físico.**
- ✓ **4. Captación biológica.**

SANTAMARTA JUAN C.

CONTENIDOS

- ✓ **5. Medidores.**
- ✓ **6. Captación artificial.**
- ✓ **7. Rendimientos y usos**
- ✓ **8. Bibliografía y referencias**

SANTAMARTA JUAN C.

DESARROLLO DE CONTENIDOS



1. INTRODUCCIÓN



☀️ INTRODUCCIÓN

✓ **En un terreno volcánico, la influencia de la masa forestal en los recursos hídricos superficiales y subterráneos es fundamental.**

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ PRODUCCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS EN UNA ISLA VOLCÁNICA

Producción de recursos hídricos en islas volcánicas

Atmósfericos

Convencionales

No convencionales

Captadores de niebla

Recursos superficiales

Recursos subterráneos

Reutilización de aguas residuales

Desalación

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ INTRODUCCIÓN

- ✓ Las **masas forestales** también tienen un papel importante en la **recarga del acuífero** y por ende, en los recursos subterráneos, ya que los árboles funcionan como elementos **canalizadores de la lluvia**, infiltrando la lluvia tanto vertical como horizontal.

SANTAMARTA JUAN C.

• MASAS FORESTALES EN COLADA VOLCÁNICA

Foto :
Santamarta JC



2.EFECTO DE LA MASA FORESTAL EN LAS ISLAS VOLCÁNICAS

EFECTOS DE LA MASA FORESTAL

- ✓ **Amortigua el choque de las gotas de lluvia contra el suelo.**
- ✓ **Ofrece resistencia al agua en su movimiento y disminuye la escorrentía.**
- ✓ **Favorece la infiltración.**

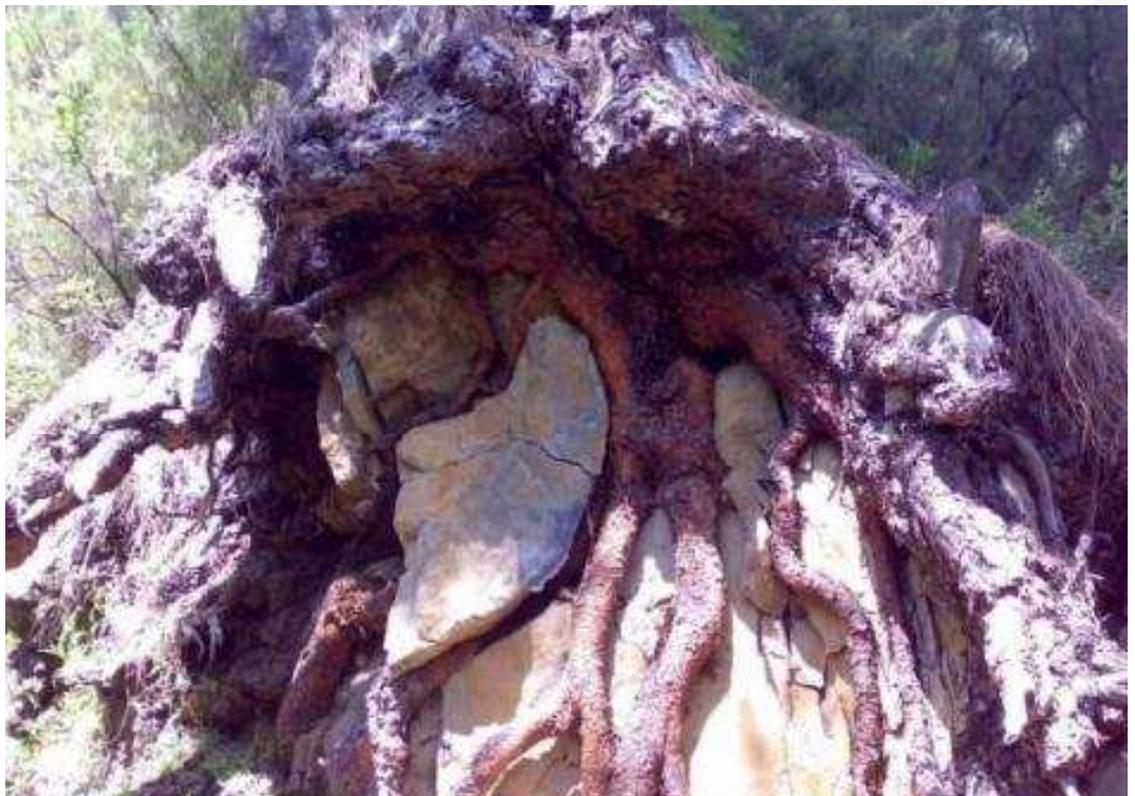
☀ EFECTOS DE LA MASA FORESTAL

- ✓ **Sujetan el suelo.**
- ✓ **El agua permanece más tiempo en el suelo.**
- ✓ **Regulan la precipitación de niebla u horizontal.**

SANTAMARTA JUAN C.

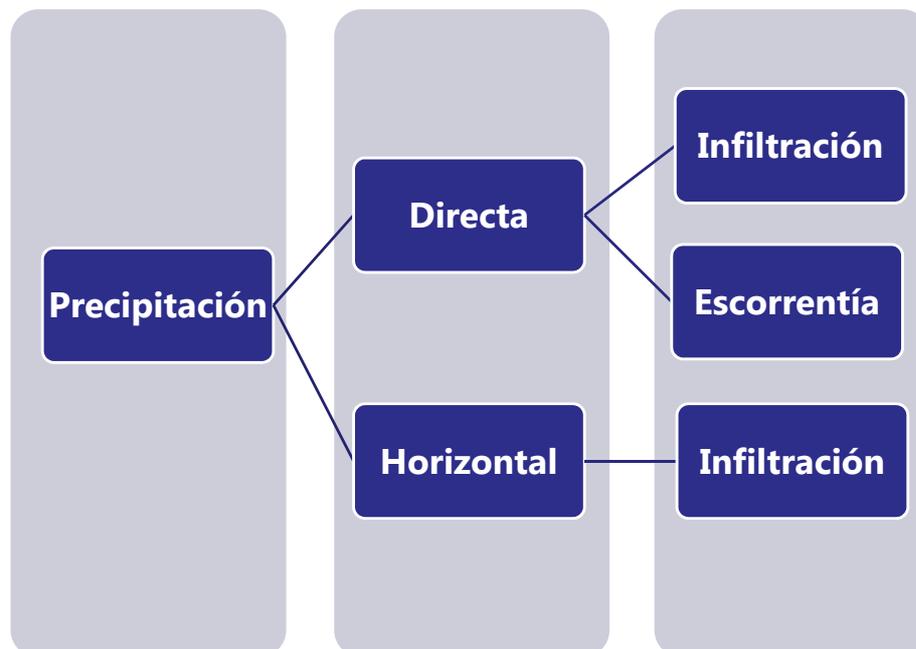
• EFECTO DE LAS RAÍCES DE PINO CANARIO EN UN BASALTO

Foto ;
Santamarta JC



3.FENÓMENO FÍSICO

INTRODUCCIÓN



FUNDAMENTOS CLIMÁTICOS

- ✓ Una característica del Archipiélago son los llamados **vientos Alisios**, un aire seco producido por el anticiclón de las Azores, este fenómeno somete a las islas a una estabilidad climática con temperaturas moderadas.

SANTAMARTA JUAN C.

FUNDAMENTOS CLIMÁTICOS

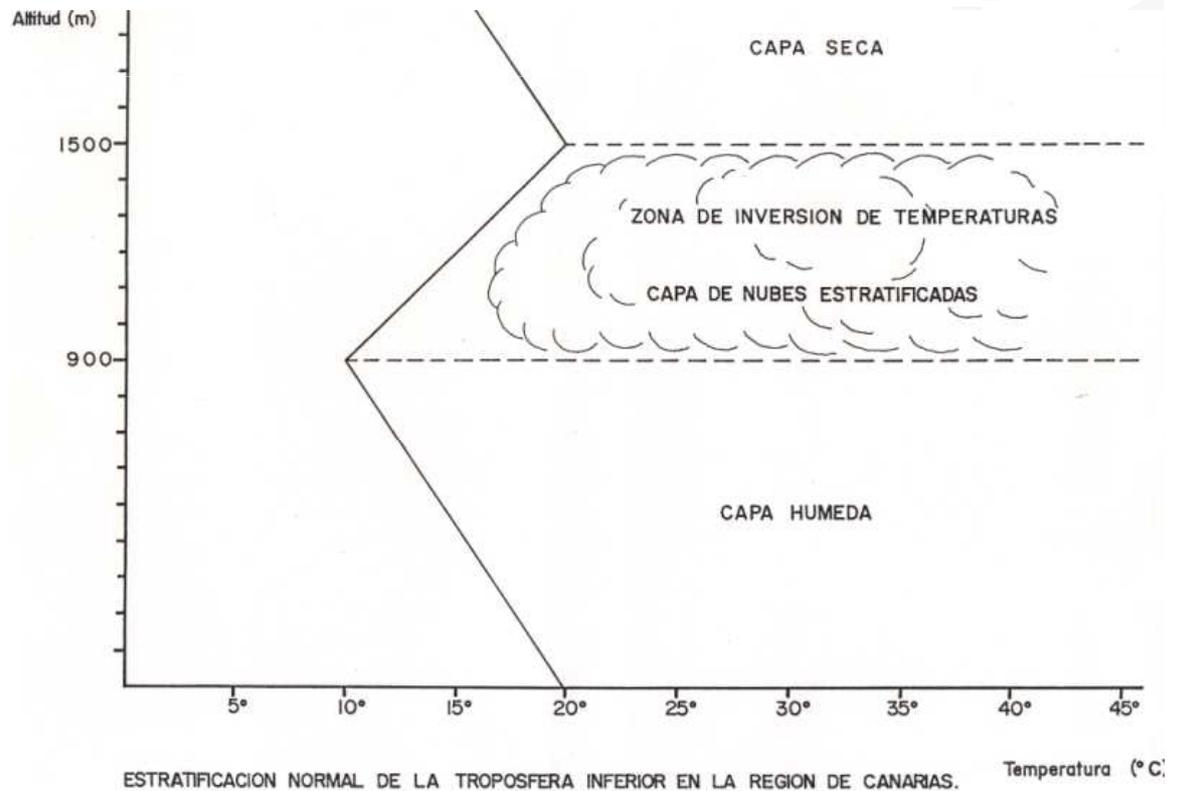
- ✓ La estructura vertical del Alisio presenta en la troposfera una superposición de dos capas:

- ▶ Una fresca y húmeda inferior .
- ▶ Cálida y seca superior.
- ▶ Entre estas dos capas se sitúa una inversión térmica de subsidencia, es decir, una franja en la que la temperatura aumenta con la altura, lo contrario a lo que debería de suceder en condiciones normales.

SANTAMARTA JUAN C.

• ESTRATIFICACIÓN DE LA TROPOESFERA

Fuente ; Santana L.



☀ FUNDAMENTOS CLIMÁTICOS

✓ La presencia de esta inversión térmica genera estabilidad en las Islas ya que impide que se produzcan movimientos de convección y limita el crecimiento vertical de las nubes;

► Sólo se forman nubes estratiformes como los estratocúmulos, las cuales forman el llamado "mar de nubes".

• MAR DE NUBES EN TENERIFE

Foto :
Santamarta JC



☀ ISLAS ORIENTALES

- ✓ En el caso de las islas orientales el efecto de la *lluvia horizontal* es muy escaso, aunque existe, debido al poco relieve que es fácilmente superado por el mar de nubes.
- ✓ Es de cierta relevancia en el Macizo de Famara en Lanzarote.

NIEBLAS

- ✓ **Nieblas**; sistemas coloidales compuestos de gotas de agua y partículas sólidas, formados por la condensación de vapor sobre núcleos higroscópicos.
- ✓ **Cantidad de agua** que contiene una niebla; 10^{-4} a 2 gr/m^3 , se puede tomar como valor medio 2 gr/m^3 .

SANTAMARTA JUAN C.

CANTIDAD DE RECURSO HÍDRICO

- ✓ La cantidad de agua que depositan estas lluvias, se basa en la densidad de las nubes, estas pueden ser poco densas con una cantidad de agua de 0.05 g/m^3 a muy densas con una densidad de 3 g/m^3 (Schemenaver y Cerecera, 1.994).

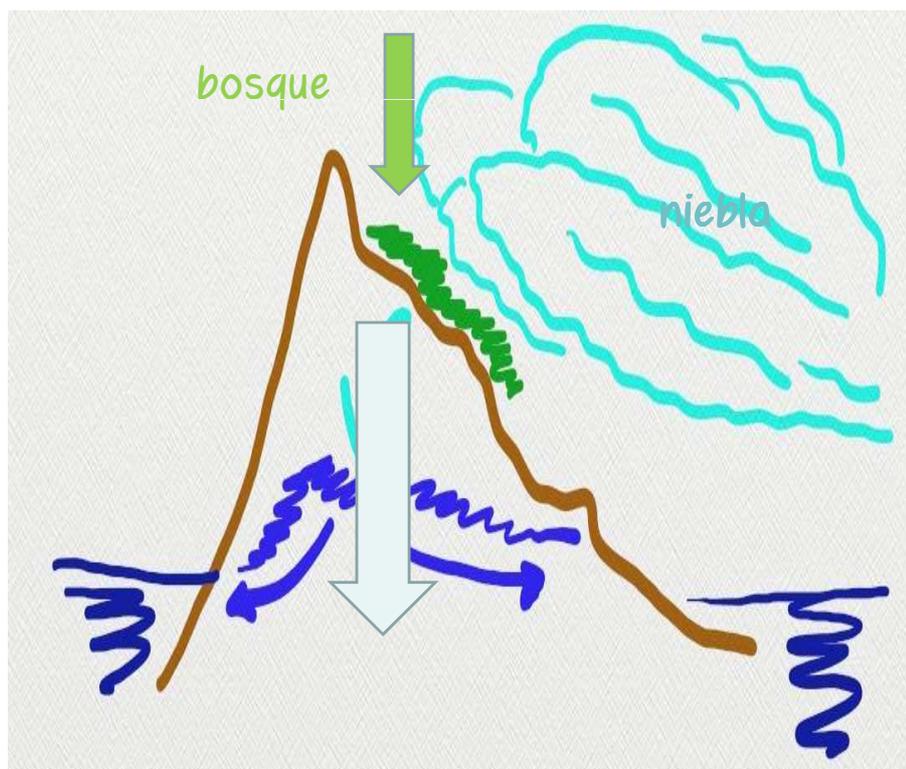
SANTAMARTA JUAN C.

☀ ISLAS OCCIDENTALES

- ✓ El mar de nubes es más frecuente de Marzo a Agosto en términos generales y se da a unas alturas más bajas que el resto del año por las circunstancias de la inversión térmica de la troposfera inferior de la región de las Canarias.
- ✓ La cota media donde se dan este tipo de precipitaciones esta en el rango de 900 a 1.600 m (Santana L, 1987).

SANTAMARTA JUAN C.

☀ EFECTO EN EL ACUÍFERO INSULAR



SANTAMARTA JUAN C.

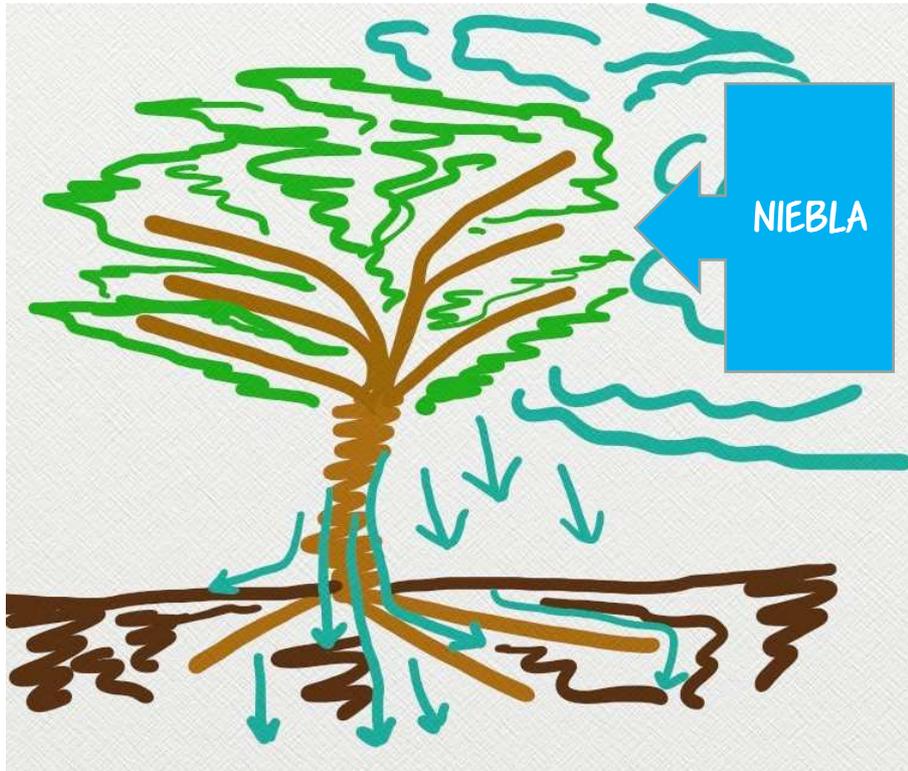
4. CAPTACIÓN BIOLÓGICA

• ARBOL GAROÉ

Foto ;
Santamarta JC



☀ REGULACIÓN DEL RECURSO POR LA MASA FORESTAL



SANTAMARTA JUAN C.

☀ FACTORES

- ✓ Se capta principalmente por los **árboles**.
- ✓ La **parte cercana al suelo**, la velocidad del viento es **menor** y casi no hay niebla.
- ✓ En rocas, piedras, arbustos y suelo se capta agua cuando la niebla es muy densa y los vientos son muy fuertes.

SANTAMARTA JUAN C.

INFLUENCIA DEL TIPO DE ÁRBOL

✓ **Influye;**

▶ **Volumen.**

▶ **Perfil.**

▶ **Exposición del árbol.**

SANTAMARTA JUAN C.



FACTORES

✓ **Velocidad del viento.**

✓ **Temperatura del aire.**

✓ **Densidad forestal.**

SANTAMARTA JUAN C.



FACTORES

- ✓ **Forma de la hoja.**
- ✓ **Altitud de la zona de deposición.**
- ✓ **Tipo de viento.**

SANTAMARTA JUAN C.

INFLUENCIA DE LA DENSIDAD

- ✓ **Experimentalmente se comprueba que*;**
 - ▶ Los bosques **no densos con claros** , con árboles grandes y aislados dan los valores **más altos**.(si se dan las condiciones, vientos fuertes y húmedos).
 - ▶ Los **bosques densos** , solo afecta a las partes superiores que sobresalen del conjunto , dan valores menores que los anteriores.

SANTAMARTA JUAN C.

INFLUENCIA FORMA DE LA HOJA

- ✓ **Plana ; menores rendimientos**
- ✓ **Acicular ; (aerodinámica)
rendimientos mayores.**

SANTAMARTA JUAN C.

5.MEDIDORES

• MEDIDOR EN BOLA

Foto :
Santamarta JC



• PLANO

Foto :
Santamarta JC



6.CAPTACIÓN ARTIFICIAL

• CAPTADOR EN EL HIERRO

Foto ;
Santamarta JC



• CAPTADOR EN FUERTEVENTURA

Foto :
Santamarta JC



7. RENDIMIENTOS Y USOS



☀ DIFICULTAD DE MEDIR LOS RENDIMIENTOS

- ▶ Vandalismo
- ▶ Pájaros que beben los medidores o depósitos
- ▶ Roturas por fuertes vientos
- ▶ Falta de mantenimiento
- ▶ Difíciles accesos a las instalaciones

SANTAMARTA JUAN C.

☀ CALIDAD DE LAS AGUAS RECOLECTADAS

mg/L	teno	Anaga 1	Anaga 2	Anaga 3
pH in situ	s/d	s/d	7,5	7,3
pH en laboratorio	6,95	6,82	6,1	6,3
Sólidos en suspensión	s/d	s/d	8,66	1,02
Conductividad	53,0	127,0	279,0	52,6
Dureza	25,0	18,0	s/d	6,4
Sodio	5,8	20,0	s/d	3,66
Potasio	0,5	0,7	s/d	3,68
Calcio	0,0	4,8	s/d	1,04
Magnesio	0,5	1,5	s/d	0,93
Cloruro	13,9	24,4	68,90	13,41
Sulfato	2,8	9,7	13,88	3,13
Nitrato	s/d	s/d	4,19	0,03
Nitrito	s/d	s/d	0,14	0,07
Fluoruro	s/d	s/d	0,19	0,26
Fosfato	s/d	s/d	0,24	0,08
Carbonato	s/d	s/d	0,0	0,0
Bicarbonato	14,6	21,9	13,05	6,59
Aptitud	Apta para consumo	Apta para consumo	Apta para consumo	Apta para consumo

Fuente ;
Marzol V.

SANTAMARTA JUAN C.

RENDIMIENTO EN TENERIFE

✓ **3.6 litros /m² / día (Tenerife , Torre El Gaitero)**

SANTAMARTA JUAN C.

✓ **Adecuaciones Recreativas, zonas de
acampada.**

✓ **Aulas de la Naturaleza.**

✓ **Viveros forestales.**

SANTAMARTA JUAN C.

USOS

- ✓ **En depósitos de cabecera, suministran agua a una red de hidrantes para la extinción de incendios. Proporcionan presión suficiente para el manejo de una lanza sin ayuda de motobombas, etc.**
- ✓ **Bebederos de fauna silvestre.**
- ✓ **Fuentes.**

SANTAMARTA JUAN C.

8.BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- ✓ **SANTANA PÉREZ, L.; *Precipitaciones de nieblas en Tenerife*. Simposio Internacional de Recursos hidráulicos Canarias Agua 2000. Puerto de La Cruz. Tenerife.1987.**
- ✓ **SANTAMARTA CEREZAL, JC. SEIJAS, J. 2009; *Fundamentos y tecnologías para la captación y uso del agua procedente de la lluvia horizontal en los montes canarios*. Revista Montes. Marzo 2010.**
- ✓ **MARZOL JAEN, M. V.; *La captación de agua de la niebla en la isla de Tenerife*. Ed. Caja Canarias Obra Social. 2003**

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.**

SANTAMARTA JUAN C.

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/>

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



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 → Aumento de la densidad ósea con calcificaciones ligamentarias, especialmente en la columna vertebral (espondilitis deformante).**
- ✓ **> 8 mg/L → 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

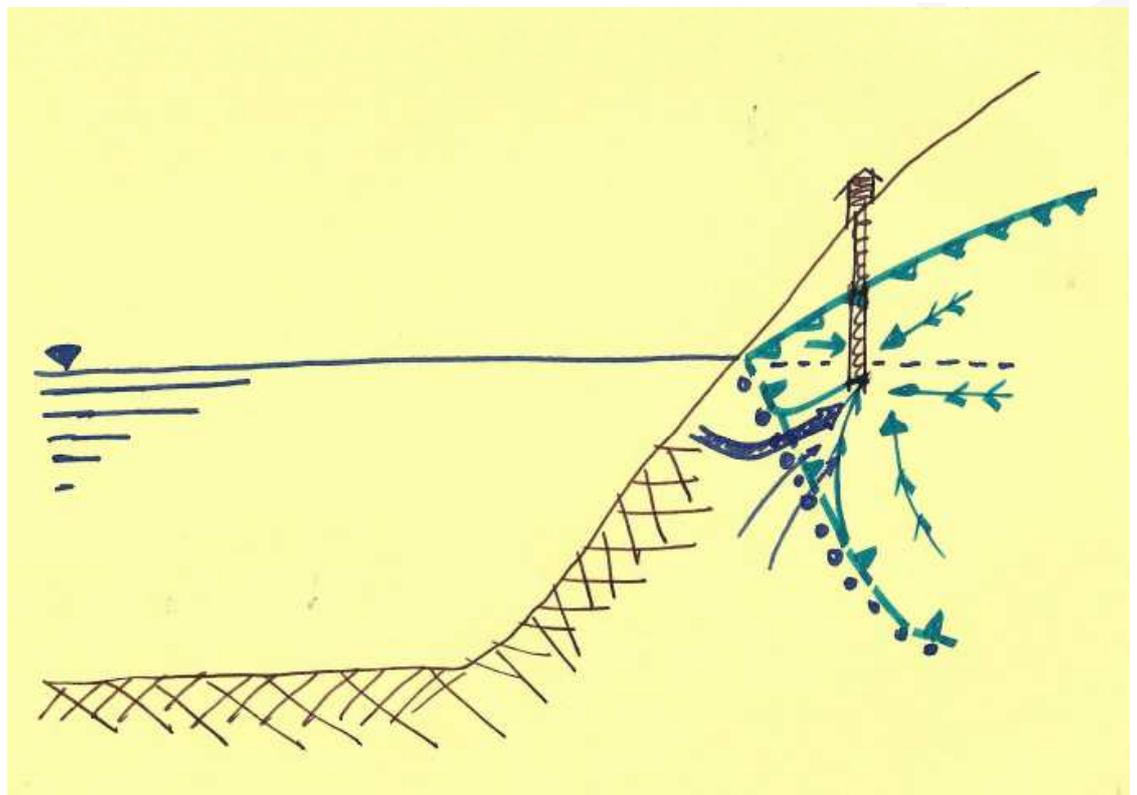


☀️ INTRUSIÓN MARINA

- ✓ 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

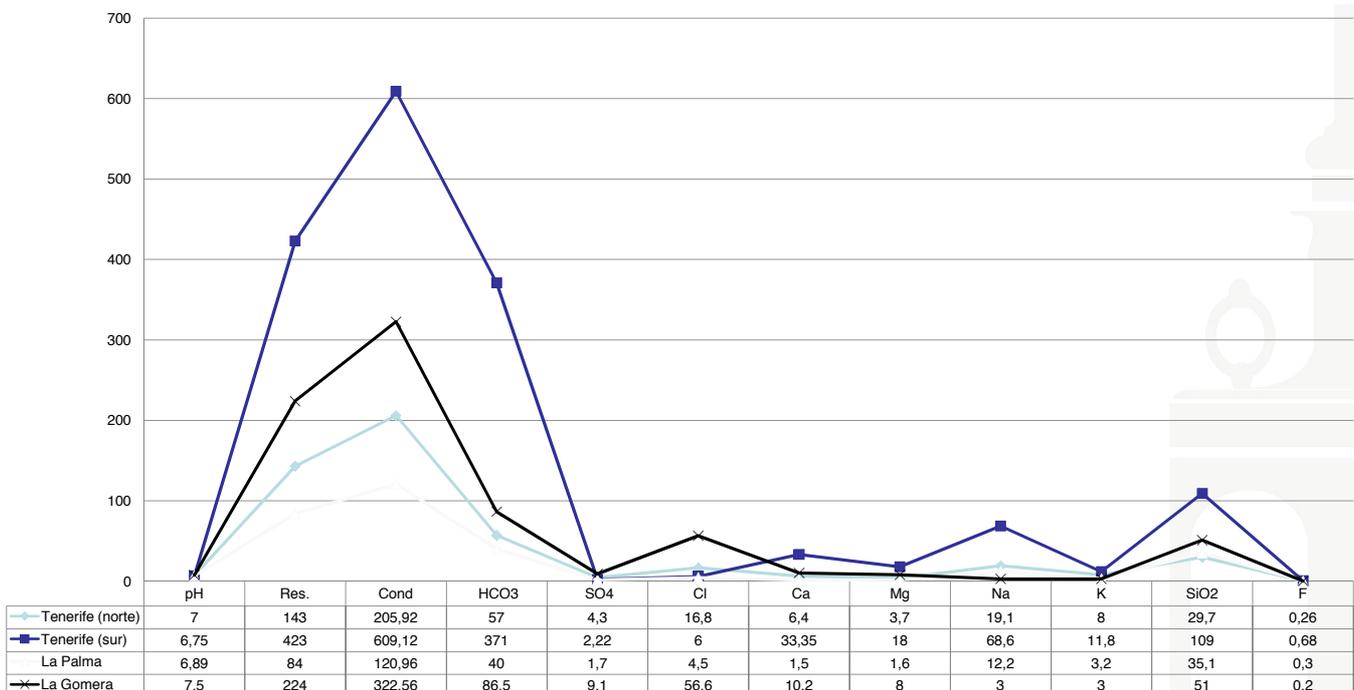
Fuente :
Gobierno de
Canarias.

Parámetro físico-químico	mg/L
pH (sin unidades)	7,5
Residuo seco a 180°C	224
Conductividad	320 μ siemens 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.

SISTEMAS DE RECURSOS HIDRÁULICOS EN MEDIOS VOLCÁNICOS

Tema 11 ; Desalación de aguas

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. Técnicas utilizadas.**
- ✓ **3. Desalación en Canarias.**
- ✓ **4. Esquema EDAM.**

SANTAMARTA JUAN C.

CONTENIDOS

- ✓ **5. Costes.**
- ✓ **6. Avances técnicos y futuro.**
- ✓ **7. Ejemplo planta en Tenerife.**
- ✓ **8. Inconvenientes.**

SANTAMARTA JUAN C.

DESARROLLO DE CONTENIDOS



1. INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

- ✓ El **97,5%** del agua que existe en nuestro planeta es salada y sólo una cantidad inferior al **1%** es apta para el consumo humano.

SANTAMARTA JUAN C.

CANTIDAD DE SALES

- ✓ Es necesario desalar el agua porque el hombre no puede consumir agua que tenga mas de **0.5 gramos por litro** de sales disueltas.
- ✓ Por otro lado, tampoco es recomendable que tenga menos de esta cantidad.

SANTAMARTA JUAN C.

2. TÉCNICAS UTILIZADAS

☀️ PRODUCCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS EN UNA ISLA VOLCÁNICA

Producción de recursos hídricos en islas volcánicas

Atmósfericos

Convencionales

No convencionales

Captadores de niebla

Recursos superficiales

Recursos subterráneos

Reutilización de aguas residuales

Desalación

PRIMERAS PLANTAS DESALADORAS EN EUROPA

- ✓ Sobre 1.944 **Gibraltar.**
- ✓ Sobre 1.955 **Turquía.**
- ✓ Sobre 1.964 **Lanzarote.**

SANTAMARTA JUAN C.

ALGUNAS DEFINICIONES

- ✓ **DESALINIZAR:** Quitar la sal del agua del mar o de las aguas salobres, para hacerlas potables o útiles para otros fines.
- ✓ **DESALAR:** Quitar la sal a algo, como a la cecina, al pescado salado, etc.

SANTAMARTA JUAN C.

ALGUNAS DEFINICIONES

- ✓ **DESALOBRAR: No consta.**
- ✓ **AGUA SALOBRE: Aquella cuya proporción de sales la hace impropia para la bebida y otros usos .**

SANTAMARTA JUAN C.

DEFINICIÓN

- ✓ También llamado **desalinización.**
- ✓ Proceso de **separación del agua y las sales** de una disolución acuosa de concentración similar al agua de mar (35 g/l). Para el caso de agua salobre puede llamarse también **desalobración.**

SANTAMARTA JUAN C.

TÉCNICAS APLICABLES

✓ La desalación se consigue por medio de procesos de **tecnología termal** y **tecnología de membrana**.

SANTAMARTA JUAN C.

SISTEMAS DE DESALACIÓN DE AGUAS

✓ **Térmicos.**

▶ **Destilación.**

✓ **Membrana.**

▶ **Ósmosis inversa.**

SANTAMARTA JUAN C.

TÉCNICAS

- ✓ **Los procesos multi-stage flash (MSF), termales abarcan la destilación multiefecto (MED) y compresión de vapor (VC).**
- ✓ **Los procesos de membrana incluyen la electrodiálisis (ED), electrodiálisis y osmosis inversa (OI).**

SANTAMARTA JUAN C.

SISTEMAS DE DESALACIÓN DE AGUAS

- ▶ **Filtración.**
- ▶ **Eléctricos.**
 - **Electrodiálisis.**
- ✓ **Hielo.**

SANTAMARTA JUAN C.

3. DESALACIÓN EN CANARIAS

DESALACIÓN EN CANARIAS

- ✓ La **primera planta desaladora** de agua de mar de Canarias y de España se instaló en la isla de Lanzarote en 1964.
- ✓ Producía **2.500 m³/d** de agua potable utilizando como proceso, la MSF.

DESALACIÓN EN CANARIAS

- ✓ El sistema más utilizado actualmente es **osmosis inversa**, aunque en algunos casos como en Las Palmas de Gran Canaria se combinan procesos térmicos de producción de energía con los de producción industrial de agua.

SANTAMARTA JUAN C.

DESALACIÓN EN CANARIAS

- ✓ El factor limitante siempre será el **consumo energético**, no obstante se está trabajando en el sentido de alimentar estas instalaciones mediante **energías renovables (EERR)**.

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ PLANTAS DESALADORAS EN CANARIAS

Fuente ;
Gobierno de Canarias

Isla	Nº desaladoras	Públicas	Privadas	Producción (m³/día)
Tenerife	44	5	36	118.143
Gran Canaria	137	11	126	336.195
Fuerteventura	64	4	60	65.049
Lanzarote	80	0	80	62.570
La Gomera	1	0	1	4.100
El Hierro	4	4	0	2.000
La Palma	0	0	0	0

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ COSTE AGUA DESALADA

- ✓ **El Coste actual de la producción de 1m³ de agua procedente del mar es de 0.5-0,6 €/m³, mientras que si la procedencia es de agua salobre, el precio es de 0.2-0,3 €/m³ (Gobierno de Canarias, Dirección General de Aguas, 2008).**

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ DESALACIÓN POR EERR

✓ Casos en Canarias;

- ▶️ Planta alimentada por aerogenerador aislado de la red.
- ▶️ Planta alimentada por paneles fotovoltaicos.

SANTAMARTA JUAN C.

☀️ BINOMIO AGUA-ENERGÍA

Fuente ;
Gobierno de Canarias

	Volumen total agua desalada Hm ³ /año	Consumo energético
Tenerife	18,0	4%
Gran Canaria	77,1	13%
Fuerteventura	11,9	18%
Lanzarote	16,9	14%
La Gomera	0	0%
El Hierro	0,5	10%
La Palma	0	0%

SANTAMARTA JUAN C.

☀ CONSUMO ENERGÉTICO DE LA DESALACIÓN POR ISLAS

Fuente ;
Gobierno de Canarias

Isla	Consumo energético
Tenerife	4%
Gran canaria	13%
Fuerteventura	18%
Lanzarote	14%
La Gomera	0%
El Hierro	10%
La Palma	0%

SANTAMARTA JUAN C.

☀ BINOMIO AGUA ENERGÍA

- ✓ Los sistemas de desalación más generalizados en Canarias, son la **electrodialisis** y la **ósmosis**, esta última en el tratamiento de aguas salobres y la **ósmosis inversa** en el caso del agua procedente del mar.
- ✓ Las plantas de **ósmosis inversa** sólo necesitan entre 6 y 7 kWh/m³ para producir, con agua de mar, un metro cúbico de agua potable.
- ✓ Las plantas de **compresión a vapor** que precisan entre 7 y 11 kWh/m³.

SANTAMARTA JUAN C.

CONSUMO DE ENERGÍA

- ✓ El factor que más directamente afecta al **consumo energético** del proceso es la **presión osmótica del agua de alimentación**.
- ✓ Para conseguir caudales de perneado razonables es normal trabajar a presiones **entre 20 y 30 atm por encima de la presión osmótica**.

SANTAMARTA JUAN C.

4. ESQUEMA EDAM



✓ ESTACIÓN DESALADORA DE AGUAS DE MAR.

SANTAMARTA JUAN C.

✓ ESQUEMA DE PLANTA

- ✓ 1. Toma de agua al sistema.
- ✓ 2. Sistema de pre-tratamiento.
- ✓ 3. Bomba de alimentación de alta presión.
- ✓ 4. Elementos de membrana de osmosis inversa.
- ✓ 5. Post-tratamiento o acondicionamiento del agua.

SANTAMARTA JUAN C.

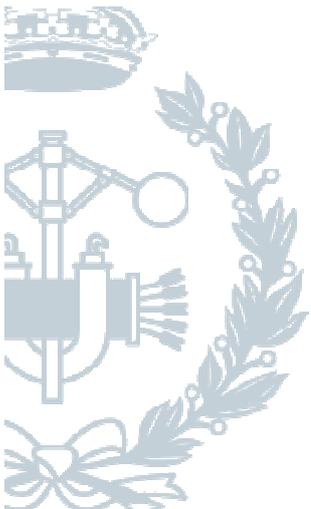
• TOMA DE AGUA Y DEPÓSITO

Foto :
Santamarta JC



• VISTA GENERAL DE LA PLANTA

Foto :
Santamarta JC



PÉRDIDAS DE CARGA EN EL SISTEMA

- ✓ **El rozamiento del fluido en los colectores y en las membranas disminuye la cantidad de energía recuperable en el concentrado.**
- ▶ **Para contrarestarlo se requiere un aumento en la presión de la alimentación.**

SANTAMARTA JUAN C.

PÉRDIDAS DE CARGA EN EL SISTEMA

- ✓ **El ensuciamiento de la membrana por causas físicas o biológicas contribuye a incrementar esa pérdida de carga y también de consumo.**

SANTAMARTA JUAN C.

PÉRDIDAS DE CARGA EN EL SISTEMA

- ✓ **Los sistemas de recuperación de energía. Producen un ahorro importante en el consumo**
 - ▶ Con el agua de mar es normal trabajar a conversiones del 40 y 45 %.
 - ▶ la mayor reducción del consumo energético se consigue en conversiones del 30% aunque la inversión en bombas es mucho mayor.

SANTAMARTA JUAN C.

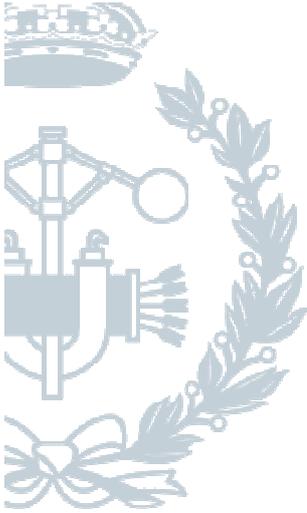
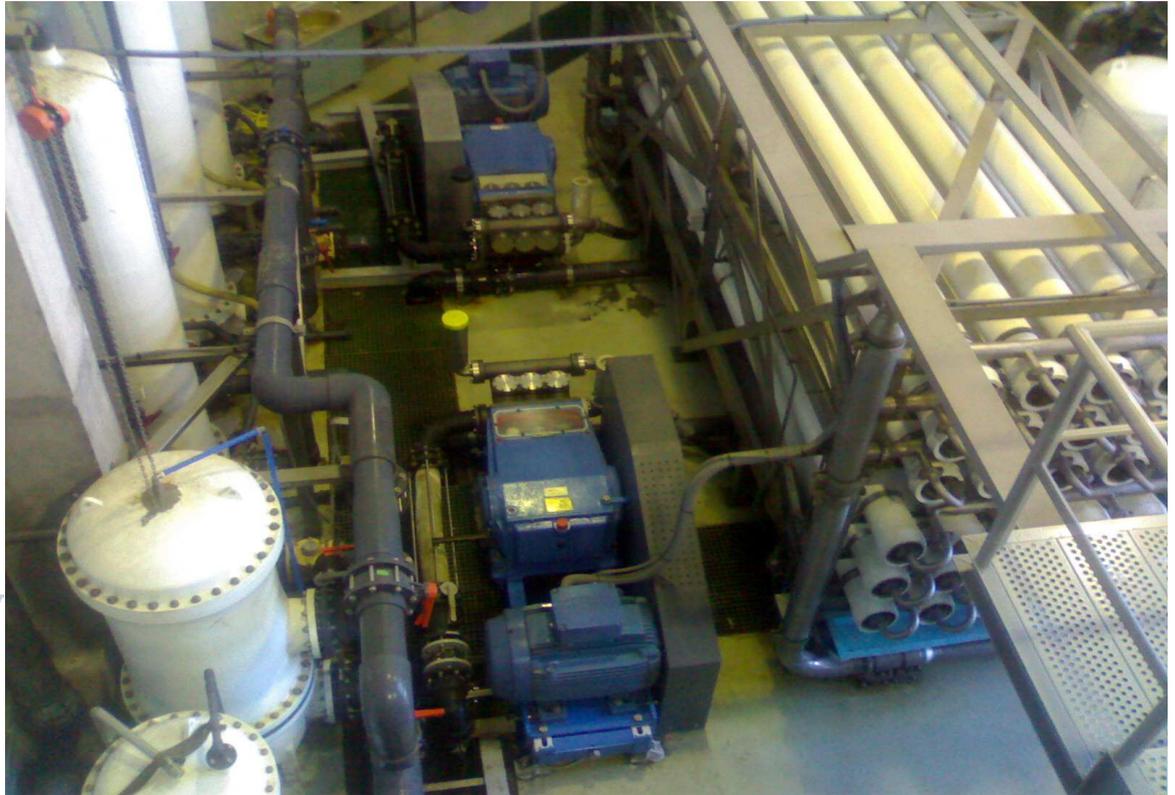
EQUIPOS RECUPERADORES

- ✓ **Los equipos más adecuados para recuperar energía son los siguientes:**
 - ▶ Turbobombas compactas.
 - ▶ Bombas invertidas.
 - ▶ Turbinas Pelton.
 - ▶ Turbo-charger.
 - ▶ Bomba-turbina Pelton integrada.

SANTAMARTA JUAN C.

• BOMBAS DE DISTRIBUCIÓN Y FILTROS

Foto :
Santamarta JC



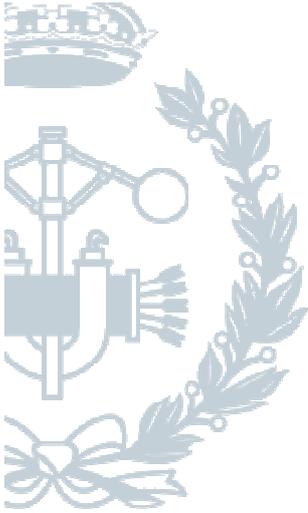
☀ REACTIVOS

✓ Los reactivos químicos utilizados en los diversos procesos realizados en una EDAM dependen fundamentalmente de

- ▶ Calidad del agua bruta a tratar.
- ▶ Calidad del producto requerida.

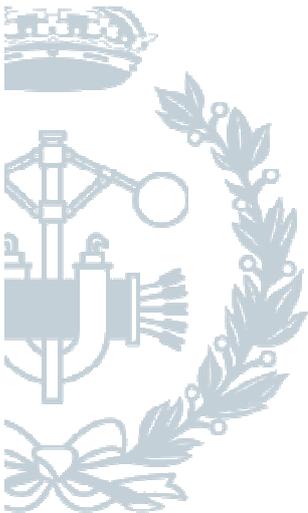
• POSTRATAMIENTOS

Foto :
Santamarta JC



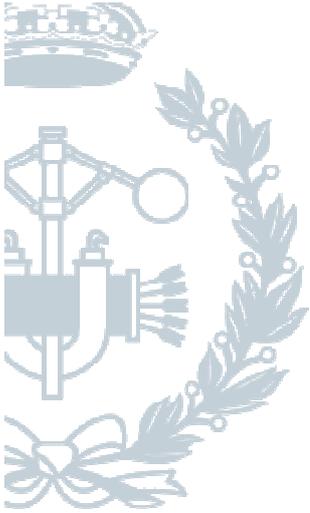
• SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

Foto :
Santamarta JC



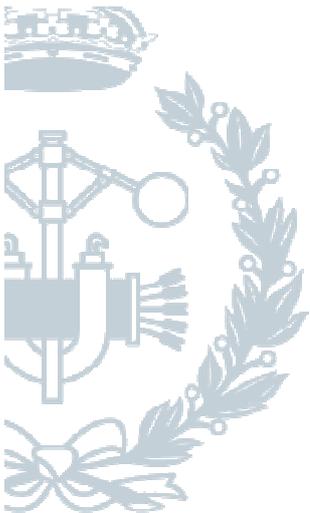
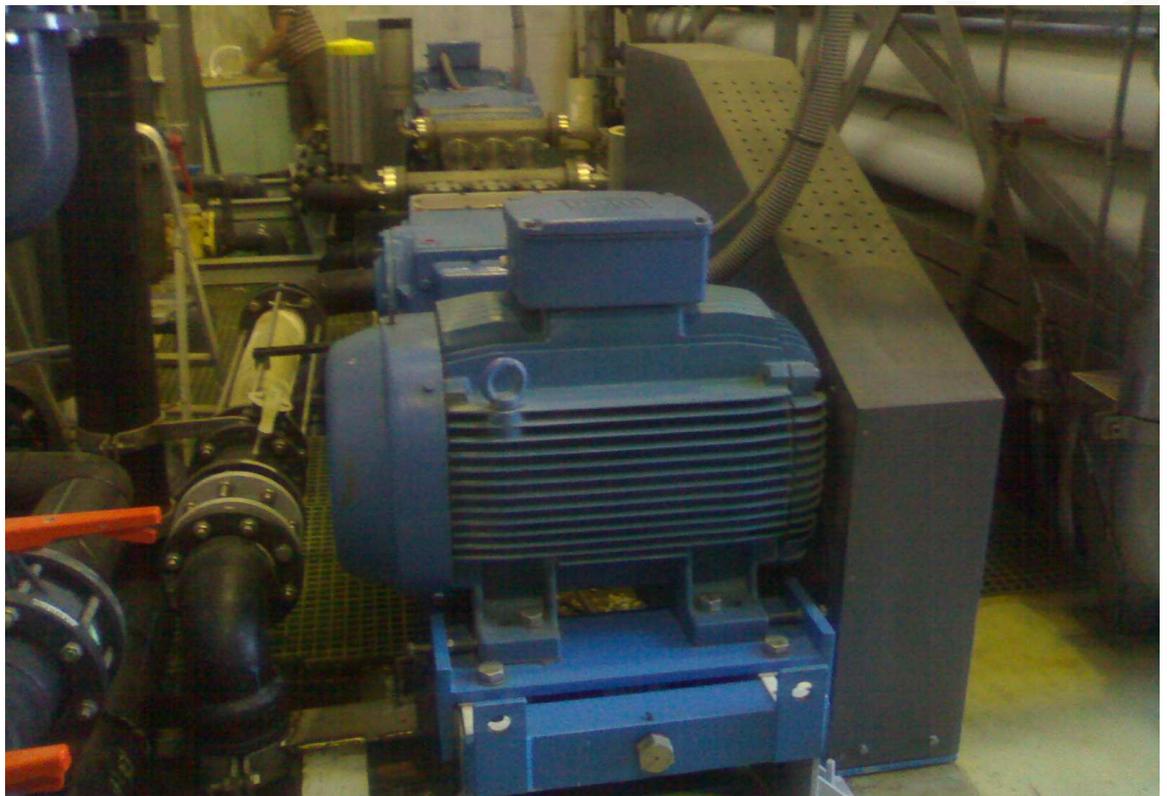
• BASTIDOR DE MEMBRANAS DE OI

Foto :
Santamarta JC



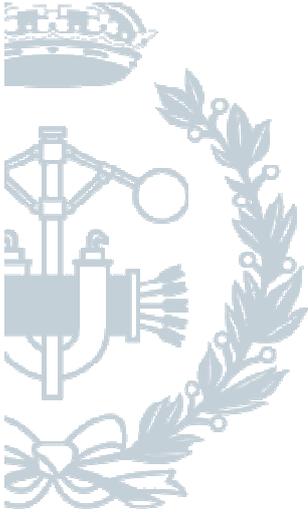
• EQUIPOS DE BOMBEO

Foto :
Santamarta JC



• POZO DE DESAGÜE DE LA SALMUERA

Foto :
Santamarta JC



☀️ PROBLEMAS DE AUMENTAR LA PLANTA

- ✓ **Comportamiento menos uniforme de las membranas dentro de gran bastidor.**
- ✓ **Menor flexibilidad para ajustar la producción a la demanda.**

PROBLEMAS DE AUMENTAR LA PLANTA

- ✓ **Cuellos de botella.**
- ✓ **Grandes equipos de bombeo.**
- ✓ **Toma de agua de mar abierta.**
- ✓ **Implica más pretratamiento.**

SANTAMARTA JUAN C.

5.COSTES

COSTES

- ✓ El **tamaño de planta** es crucial a la hora de calcular los costes.
- ✓ Las **pequeñas instalaciones** de tipo turístico suelen funcionar sin apenas mantenimiento o con el mismo personal dedicado a otras actividades dentro del complejo turístico.

SANTAMARTA JUAN C.

COSTES DE LA PLANTA

Fuente ;
Santamarta JC
2007

Planta	Coste en euros	Producción en m ³ /día	Año	Isla
Arucas ampliación	2.343.947	4.000	1998	Gran Canaria
Tamaduste	2.024.000	1.200	2005	El Hierro
La Restinga	3.000.000	1.700	2005	El Hierro
Los Cangrejos	1.850.200	600	1995	El Hierro
Galdar III	3.005.042	5.000	1999	Gran Canaria
Las Palmas IV	4.808.096	5.000	1999	Gran Canaria
Guia II	3.005.042	5.000	1999	Gran Canaria
La Aldea	3.005.042	5.000	1999	Gran Canaria

SANTAMARTA JUAN C.

COSTES

- ✓ Cuando la planta tiene una **capacidad considerable** ($> 30.000 \text{ m}^3/\text{día}$) es necesaria una plantilla mínima de 20 personas para su gestión y mantenimiento que permita una producción continuada y sin mermas.

SANTAMARTA JUAN C.

EVOLUCIÓN DE COSTES EN LA OI (COSMOSIS INVERSA)

- ✓ Se rebajan los **costes fijos**.
 - ✓ Se concentra la producción como forma de resolver ciertos problemas de una vez :
 - ▶ Vertido de salmuera.
 - ▶ Toma de agua de mar.
 - ▶ Acometida eléctrica.
- 3) Se rebajan los **costes de primera instalación**.

SANTAMARTA JUAN C.

EVOLUCIÓN COSTES DESALACIÓN

Fuente ;
Torres Corral
M.CEDEX.2004

Costes del agua desalada					
1.Bases de cálculo	Unidades	1995	2.002	2004	2010
Coste de inversión	€/m ³ y día	890,00	610,00	600,00	590,00
Periodo de amortización	años	15	15	15	15
Interés	%	10	4	4	4
Consumo específico	kWh/m ³	5,3	4,1	3,6	2,9
Precio energía	€/kWh	0,077	0,048	0,048	0,048
Tipo de toma	abierto	abierto	abierto	abierto	Abierta
2.Coste agua desalada					
Energía eléctrica	€/m ³	0,408	0,196	0,172	0,139
Personal	€/ m ³	0,036	0,036	0,030	0,025
Productos químicos	€ / m ³	0,030	0,030	0,028	0,030
Mantenimiento y otros	€ / m ³	0,024	0,024	0,024	0,024
Reposicion de membranas	€ / m ³	0,018	0,018	0,018	0,014
Total explotación		0,516	0,302	0,270	0,232
Amortizacion	€ / m ³	0,337	0,170	0,168	0,165
Coste total	€/ m ³	0,853	0,472	0,438	0,397

SANTAMARTA JUAN C.

COSTE DE LA DESALACIÓN EN LA ISLA DE TENERIFE

Fuente ;
Consejo Insular de
Aguas de Tenerife .
2005

Costes desalación	
OI agua de mar	
Operación y mantenimiento	0,1498
Electricidad	0,2759
Gestión y control	0,0213
Subtotal (sin inversiones)	0,4470
Inversiones	0,1317
total (euros)	0,5788

SANTAMARTA JUAN C.

COSTE PERSONAL

Fuente ;
Santamarta JC
2007

Personal	Coste medio en %
Dirección	20%
Personal de operación	45%
Personal de mantenimiento	25%
Personal administrativo	10%

SANTAMARTA JUAN C.

6.AVANCES TÉCNICOS Y FUTURO

AVANCES TÉCNICOS

- ✓ **Estos avances técnicos se van a dar a corto plazo en las siguientes cuatro áreas:**
 - ▶ **Toma de agua de mar y pretratamiento.**
 - ▶ **Sistema de alta presión y recuperación de energía.**
 - ▶ **Sistema de ósmosis inversa.**
 - ▶ **Postratamiento de agua desalada.**

SANTAMARTA JUAN C.

7.EJEMPLO PLANTA EN TENERIFE

ESTACIÓN DESALADORA DE LA CALETA (2011)

- ✓ m^3 producidos día: 10.000 m^3 .
- ✓ m^3 producidos año: 3.600.000 m^3 .
- ✓ Dos líneas de 5.000 m^3 .
- ✓ Supondrá el 35 % del agua consumida en Adeje al año.

SANTAMARTA JUAN C.

ESTACIÓN DESALADORA DE LA CALETA (2011)

- ✓ El 70 % del agua consumida será agua desalada y sólo el 30 % será de extracciones tradicionales.

SANTAMARTA JUAN C.

8. INCONVENIENTES

INCONVENIENTES

- ✓ En el proceso de desalación , se producen residuos salinos y sustancias contaminantes que pueden perjudicar a la flora y la fauna.
- ✓ Suponen un gasto elevado de consumo eléctrico. Este es mas importante en medios insulares.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- ✓ **FUNDACIÓN CENTRO CANARIO DEL AGUA.** Documentación sobre el agua en Canarias (en línea). (Tenerife, España), Enero 2009 (ref. de 6 Marzo 2009). Disponible en World Wide Web:<<http://www.fcca.es/>>
- ✓ **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANARIAS.** Documentación de los proyectos de innovación tecnológica (en línea). (Islas Canarias, España), (ref. Marzo 2006). Disponible en World Wide Web; <www.itccanarias.org>
- ✓ **VEZA, JM.;** *Introducción a la desalación de aguas.* Ed; Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Año 2002. Pag 379. ISBN 84-95792-98-2.
- ✓ **MEDINA, JA. ;** *Desalación de aguas salobres y de mar. Osmosis Inversa.* Madrid .Ediciones Mundi-Prensa.1999.396 p. ISBN 8471148498

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.