

Estudio físico-químico y microbiológico de las aguas de los tubos volcánicos de Rapa Nui

Nagore Irazabal Tamayo (E-mail: nagore_ira@yahoo.es)

Sociedad de Ciencias Espeleológicas Alfonso Antxia.

Zabalbide 7- 2º izda

Bilbao 48006. Bizkaia (España)

Ricardo Amils Pibernat y Emiliano Enrique Díaz Portuondo

(E-mail: ramils@cbm.uam.es)

Centro de Biología Molecular. C/ Nicolás Cabrera, 1.

Universidad Autónoma de Madrid.

Cantoblanco 28049. Madrid (España)

Introducción

En este apartado se presenta el estudio físico-químico y microbiológico de las aguas y estratos de los tubos volcánicos de la zona de Roiho, principalmente, aunque también se tomó una muestra de agua de la laguna de la caldera del volcán Rano Kau, así como una muestra de agua de lluvia en Hanga Roa, y otra del agua de red de distribución de Hanga Roa procedente de pozo.

Este estudio pretende aportar conocimiento de la hidroquímica de las aguas de los tubos volcánicos de la isla, con el fin de contribuir en su conocimiento y además, poder caracterizar mejor las condiciones en las que se desarrollan las bacterias de las aguas, fangos y estratos de las cavidades de la zona de Roiho, para contribuir al conocimiento de la isla, de sus tubos volcánicos y de su flora microbiana, por la admiración y cariño que sentimos por las cuevas y gentes de este lugar único en el planeta.

Materiales y Métodos

Este estudio se realiza con material de campo y con el fin de caracterizar los principales componentes de las aguas. Para el estudio de las características físico-químicas de las aguas se determinaron *in situ* algunos parámetros físico-químicos, susceptibles de sufrir modificaciones por el transporte y almacenamiento de las muestras, con diversos instrumentos portátiles. El pH, la temperatura del agua, la temperatura ambiental, la conductividad y los TDS (sólidos disueltos totales) se determinaron con un instrumento multiparamétrico portátil de Labprocess (PC300). El O₂ disuelto se determinó, también, *in situ*, con un equipo fotómetro de análisis de campo y reactivos de HANNA. El sodio se analizó mediante un instrumento multiparamétrico de Eutech Instruments (pH620) y un medidor de ión selectivo (Thermo Scientific-Ross®) El resto de parámetros se determinaron en las siguientes 4-5 horas mediante equipos portátiles monoparamétricos y multiparamétricos de fotometría, y reactivos de la casa HANNA y Aquamerck®.

Para el estudio microbiológico de las aguas, se tomaron las muestras de fango y de formaciones tipo “mucolito” de los tubos volcánicos y se fijaron inmediatamente en formaldehído durante varias horas. Luego se almacenaron en tampón hasta su posterior procesamiento en laboratorio. Para el estudio de la cuantificación y detección de bacterias, la técnica utilizada ha sido el FISH y CARD-FISH, técnica de hibridación apta para detectar y cuantificar microorganismos.

Resultados

Caracterización química de las aguas

El estudio de las aguas de las cavidades de Rapa Nui, se realizó en la campaña de los días 17, 22, 23 y 25 de febrero de 2009, en nueve muestreos en las siguientes cavidades: Ana Vaiteka, Ana Heva, Ana Te Pahu, Ana Kionga, Ana Aharo y Ana Roiho (cavidades de la zona de Roiho). Se seleccionaron estos puntos de muestreo, ya que todas estas cavidades disponían de agua acumulada en zonas de su interior (*Figura I*). Además, se procedió a muestrear el volcán Rano Kau, y el agua de red de una casa de Hanga Roa (procedente de pozo). Además se ha analizado el agua de lluvia (de Hanga Roa), con el fin de determinar la composición de la misma y comprobar los elementos químicos que pueden ser aportados por el agua de precipitación (*Figura II*).

A partir de los datos obtenidos (*Tabla I*), se han realizado los cálculos químicos necesarios para conocer los iones principales de las aguas y las relaciones entre los diferentes parámetros físico-químicos. Para ello se han utilizado los programas informáticos AQUACHEM (versión 3.7) y PHREEQC (versión 2).

Figura I (Ubicación de las cuevas muestreadas)

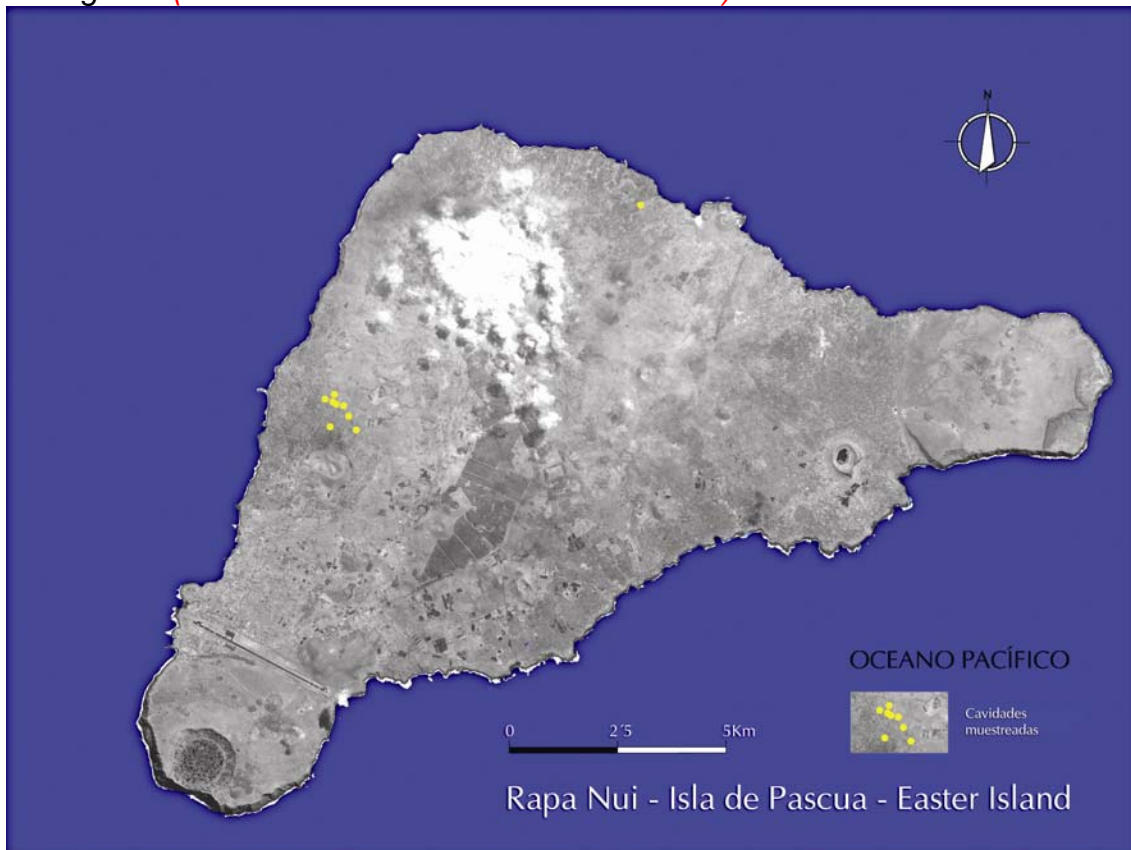


Figura II

Muestras de agua procesadas

Nº muestra

1. Agua Ana Vaiteka
2. Agua Ana Heva
4. Agua Ana Te Pahu
8. Agua Ana Kionga
10. Agua Ana Aharo
12. Agua Ana Roiho
15. Agua Rano Kau
16. Agua de lluvia (Hanga Roa)
17. Agua red de distribución de Hanga Roa (grifo casa particular)

Las cavidades o tubos volcánicos de Rapa Nui son estructuras de lavas basálticas y hawaiitas. Estos materiales presentan una alta permeabilidad y con un gran fraccionamiento que hace que el agua de lluvia se infiltre hacia el interior de los tubos volcánicos, tras atravesar una pequeña capa de estrato volcánico, produciéndose así gran humedad muy apreciable en toda la superficie interior de las cuevas y tubos, condensándose en forma de gotas y haciendo que se de la formación de acumulaciones de agua. Podríamos decir, por tanto, que el interior de la isla de Rapa Nui es un acuífero formado en la roca basáltica y que el agua de lluvia que se infiltra se acumula dentro de él. Así pues, las características de las aguas van a depender, en gran medida, del agua de infiltración, agua de lluvia en este caso, de la composición de la roca, del tiempo de residencia, del pH del agua y de su agresividad, de la temperatura, y en general, del aporte que reciba del medio el agua de lluvia infiltrada.

Los resultados de las muestras tomadas se muestran a continuación en la *Tabla I*:

Tabla I

	Nº muestra Agua	Precisión	Resolució// Desviación EMC Típica	1	2	4	8	10	12	15	16	17
				Agua Ana Vaiteka	Agua Ana Heva	Agua Ana Te Pahu	Agua Ana Kionga	Agua Ana Aharo	Agua Ana Roiho	Agua Rano Kau	Agua de lluvia Hanga Roa	Agua red de distribución Hanga Roa
pH		±0.01pH	0.01pH	6.6	6.5	6.5	7.28	6.9	6.8	6.0	8.3	6.5
Conductividad	µS/cm (25°C)	±1%	0.1 µS	162	134	141	154	139	149	176	48.7	1009
Temp. Agua	°C	±0.5	0.1°C	19.1	19.4	20.4	22.1	21.4	22.6	23.0	23.1	23.1
Temp. ambiente	°C	±0.5	0.1°C	20.8	19.9	21.6	22.2	22.2	25.0	23.8	24.1	24.1
TDS	ppm	±1%	0.1mg/l	86.0	68.0	70.0	86.9	69.0	73.0	91.0	24.4	502
O2 disuelto	mg/l O2	±0.4 // ±3%	0.1//±0.1	5.6	8.6	8.2	7.4	7.6	7.6	/	8.0	7.4
Cloruros	mg/l Cl			20.0	22.0	20.0	24.0	22.0	24.0	32.0	8.0	156
Bicarbonatos	mg/l HC O ₃			<4.3	<4.3	<4.3	30.46	8.70	26.11	13.05	13.05	82.69
Mg	mg/l Mg	±3 // ±3%	1//±1	3.0	1.0	<1	2.0	3.0	<1	8.0	<1	9.0
Ca	mg/l Ca	±10 // ±5%	1//±1	23.0	34.0	20.0	12.0	20.0	27.0	53.0	38.0	10.0
Sulfatos	mg/l SO ₄	±1 // ±5%	1//±1	3.0	<1	<1	<1	<1	<1	<1	4.0	17.0
Na	mg/l Na			38.0	37.0	16.0	14.0	14.0	11.0	33.0	4.0	110
Fluoruros	mg/l F	±5%	0.01//±0,01	0.07	0.09	0.24	0.5	0.22	0.20	0.10	0.91	<0.10
Silicio	mg/l SiO ₂	±0.03 // ±3%	0.01//±0,01	>200	>200	>200	178	160	156	>200	0.04	>200
Hierro	µg/l Fe	±10 µg/l//±8%	1 µg/l//±1µg/l	50.0	69.0	103.0	578.0	66.0	159.0	572.0	<1	<1
Nitratos	mg/l N	±0.5 // ±10%	0.1//±0,1	<0.1	<0.1	0.4	0.1	3.5	3.2	<0.1	<0.1	0.1
Potasio	mg/l K	±0.5 // ±5%	0.05//±0,01	<0.05	<0.05	0.20	0.4	0.20	0.35	<0.1	0.50	5.65
Cloro residual libre	mg/l Cl	±0.03 // ±3%	0.01//±0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1
Cloro residual combinado	mg/l Cl	±0.03 // ±3%	0.01//±0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.1
FECHA muestreo				17/02/2009	17/02/2009	17/02/2009	22/02/2009	22/02/2009	22/02/2009	23/02/2009	23/02/2009	25/02/2009

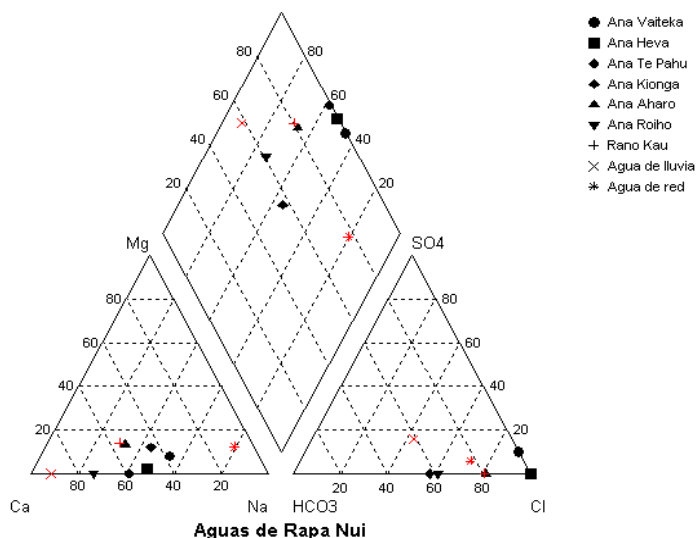
El valor del pH medido *in situ* de las aguas de los tubos se sitúa en torno a valores de neutralidad cercanos a pHs 7. Las muestras de los tubos volcánicos, en general, presentan valores algo inferiores a pHs de 7, excepto la muestra de agua de la Ana Kionga que está algo por encima. El valor del pH del agua de lluvia, están por encima de 8, mientras que el agua de la laguna del Rano Kau sin embargo, presenta valores algo más ácidos de 6.

La temperatura del agua se midió en el momento del muestreo y siempre en la misma franja horaria. Esta presenta rangos de valores parecidos, aunque los valores de las aguas de los tubos volcánicos del sector de Roiho presentan temperaturas algo más bajas. Las temperaturas más altas se presentan en las muestras de agua de lluvia, de la red de distribución y de la laguna de la caldera del volcán Rano Kau.

La caracterización hidroquímica se ha realizado mediante el diagrama de Piper que representa los diferentes tipos de aguas según el contenido iónico. La composición de las aguas de las cavidades analizadas es predominantemente cloruradas sódicas y/o cálcicas con un gran contenido en sílice todas ellas (*Figura III*). El predominio de esta facies responde en gran medida al hecho de que su origen es el agua de precipitación, y a que, además, al tratarse de una isla, la salinidad climática puede ser generada principalmente por el viento que traslada el aerosol marino aumentando algunos iones, como los cloruros, por ejemplo. La diferencia entre la composición de las aguas de los tubos volcánicos y la de lluvia se encuentra en las diferentes concentraciones de todos los iones, menores o ausentes en el agua de lluvia. El agua de red, procedente de pozo, presenta un carácter claramente clorurada sódica, y la presencia de los iones de sodio y cloruro, así como una alta conductividad, indican una clara influencia y mezcla del agua de mar en la misma. Es destacable la presencia de bicarbonatos en el agua de red, de la Ana Kionga así como en el agua de la laguna del Rano kau. El agua del Rano Kau presenta características particulares, que la diferencian del agua de los tubos y del agua de la red de distribución.

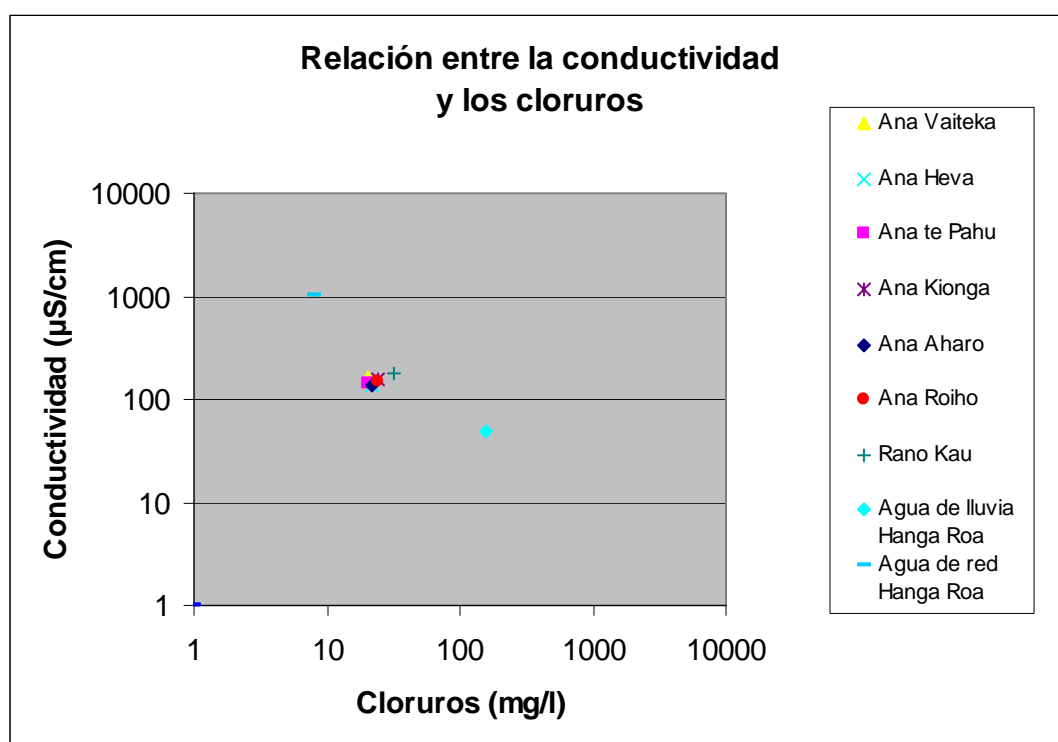
Resulta también destacable la alta presencia de hierro en todas las muestras, especialmente en el agua de la Ana Kionga y de la laguna de la caldera del volcán Rano Kau, a excepción del agua de lluvia y del agua de red, en las que no se detecta la presencia de hierro. El sílice se encuentra en unas concentraciones elevadas en todas las muestras recogidas en las cavidades, exceptuando en el agua de lluvia, debido a que los silicatos son los principales minerales presentes en las formaciones volcánicas, y aunque son insolubles estos pueden hidrolizarse ante la presencia del CO₂ disuelto presente.

Figura III



En la *Figura IV* se representa la relación existente entre la conductividad eléctrica y la concentración de cloruros en las aguas de las cavidades estudiadas. Podemos apreciar que todas las muestras presentan una relación lineal con diferentes rangos de valores, a excepción del agua de lluvia y la de la red, que muestran una dispersión mayor, y que esta relación está en función de la influencia que tenga del agua de mar. Existe, por tanto, una alta correlación entre la conductividad y el contenido en cloruros, como se aprecia en la matriz de correlación de la *Tabla II*. No existen grandes variaciones en la conductividad ni en el contenido en cloruros entre las distintas muestras procedentes de las cavidades y de la laguna del Rano Kau, aunque esta presenta una conductividad algo más elevada. Las muestras de agua de lluvia y de agua de la red de distribución, sin embargo, son muy distintas para este parámetro. En la muestra de agua de lluvia (de Hanga Roa) se presenta un contenido en cloruros y una conductividad mucho más baja que el resto de muestras, como es lógico, ya que es la más diluida. La muestra procedente del agua de red, presenta un contenido más elevado en cloruros y una conductividad muy elevada. Estos valores más altos de la muestra del agua de red pueden estar relacionados con un fenómeno que hace que el agua del pozo se mezcle con el agua marina. Por otro lado, en los tubos volcánicos, la baja concentración de cloruros indica un mayor contenido de agua de infiltración procedente de la lluvia.

Figura IV



La elevada correlación existente entre la conductividad eléctrica y los iones sodio (Na), además del ión cloruro (Cl) y Potasio (K), y del sílice (SiO₂) y del sulfato (SO₄), confirma el predominio estos en la solución. Estos se deben en gran medida, a la influencia del agua de mar en mayor o menor presencia, así como al hecho de que Rapa Nui es fundamentalmente un gran acuífero basáltico.

Tabla II: Matriz de correlación entre las diferentes variables físicas y químicas medidas en las aguas de Rapa Nui
Concentraciones en mg/l

	Cond.	TDS	pH	Tª	Mg	Ca	Na	SO4	SiO2	HCO3	O2	Cl	K	Fe	NO3	F
Cond.	1,0	1,0	-0,287	0,324	0,713	-0,461	0,945	0,985	0,926	-0,539	-0,123	0,998	0,989	0,609	-0,444	-0,844
TDS		1,0	-0,287	0,322	0,711	-0,466	0,946	0,983	0,901	-0,527	-0,132	0,998	0,988	0,718	-0,458	-0,767
pH			1,0	0,29	-0,603	-8,7E-2	-0,441	-0,487	-0,904	0,196	0,158	-0,294	-0,351	-5,8E-2	0,123	0,942
Tª				1,0	0,755	0,14	0,105	0,554	-0,545	-0,208	0,236	0,36	0,496	0,674	-1,6E-2	0,551
Mg					1,0	0,159	0,692	1,0	0,239	-0,675	-0,154	0,734	0,986	0,419	-0,381	-0,294
Ca						1,0	-0,315	-0,809	-0,19	-8,2E-2	0,333	-0,426	-0,508	0,371	0,77	-3,7E-2
Na							1,0	0,927	0,68	-0,59	-0,206	0,941	0,988	7,7E-2	-0,462	-0,75
SO4								1,0	-1,0	-1,0	0,338	0,991	1,0	0,0	0,0	1,0
SiO2									1,0	0,272	-0,196	0,795	-0,753	0,179	-0,851	-0,896
HCO3										1,0	0,275	-0,545	-0,606	0,341	-2,3E-2	2,1E-2
O2											1,0	-8,8E-2	-0,609	0,571	-0,268	0,279
Cl												1,0	0,99	0,776	-0,433	-0,738
K													1,0	0,82	-0,446	0,847
Fe														1,0	-0,618	0,429
NO3															1,0	-0,7
F																1,0

Estudio microbiológico

Una vez caracterizadas las aguas procedentes de los tubos volcánicos de Roiho, ésta nos resultaba una información fundamental para proceder a estudiar su flora bacteriana. Para ello, se tomaron muestras de agua con fango, por un lado, y muestras de “mucolitos”, estructuras presentes en techos y paredes de algunas cavidades y formadas predominantemente por bacterias. Tras seleccionar los que resultaron más interesantes por las características físico-químicas del agua, procedimos a su muestreo y fijación del DNA de las bacterias para su posterior estudio en el Centro de Biología Molecular sito en la Universidad Autónoma de Madrid. En la *Figura V* se detallan las muestras procesadas y que están siendo estudiadas por el grupo de investigadores del profesor y catedrático Ricardo Amils Pibernat.

Figura V

Muestras de agua y fangos ó mucolitos tomadas y procesadas

1. Ana Vaiteka
2. Ana Heva
3. MUCOLITO Ana Heva
4. Ana Te Pahu
5. MUCOLITO Ana Heva (blanco)
6. MUCOLITO Ana Kionga
7. MUCOLITO Ana Kionga (Forti)
9. Ana Kionga
11. Ana Aharo
13. Ana Roiho

Para su estudio, se están realizando trabajos de hibridación de sondas de DNA pertenecientes a grupos de bacterias conocidas, con el fin de detectar el tipo de bacterias que forman parte de las muestras procesadas, por un lado, y cuantificar el número de las mismas, por otro lado. A continuación se adjuntan los resultados obtenidos, por el momento. Se han añadido también fotografías obtenidas por microscopía electrónica de las bacterias hibridadas con sondas fluorescentes. Estos resultados preliminares obtenidos muestran que no existe gran diversidad en las muestras procesadas y que la mayoría pertenecen al mismo phylum. Aún queda mucho trabajo por realizar y que se está desarrollando para el estudio de la flora bacteriana de los tubos volcánicos de la zona de Roiho en Rapa Nui, que se irá mostrando según se vayan obteniendo más resultados.

Sondas de CARD-FISH utilizadas en este trabajo

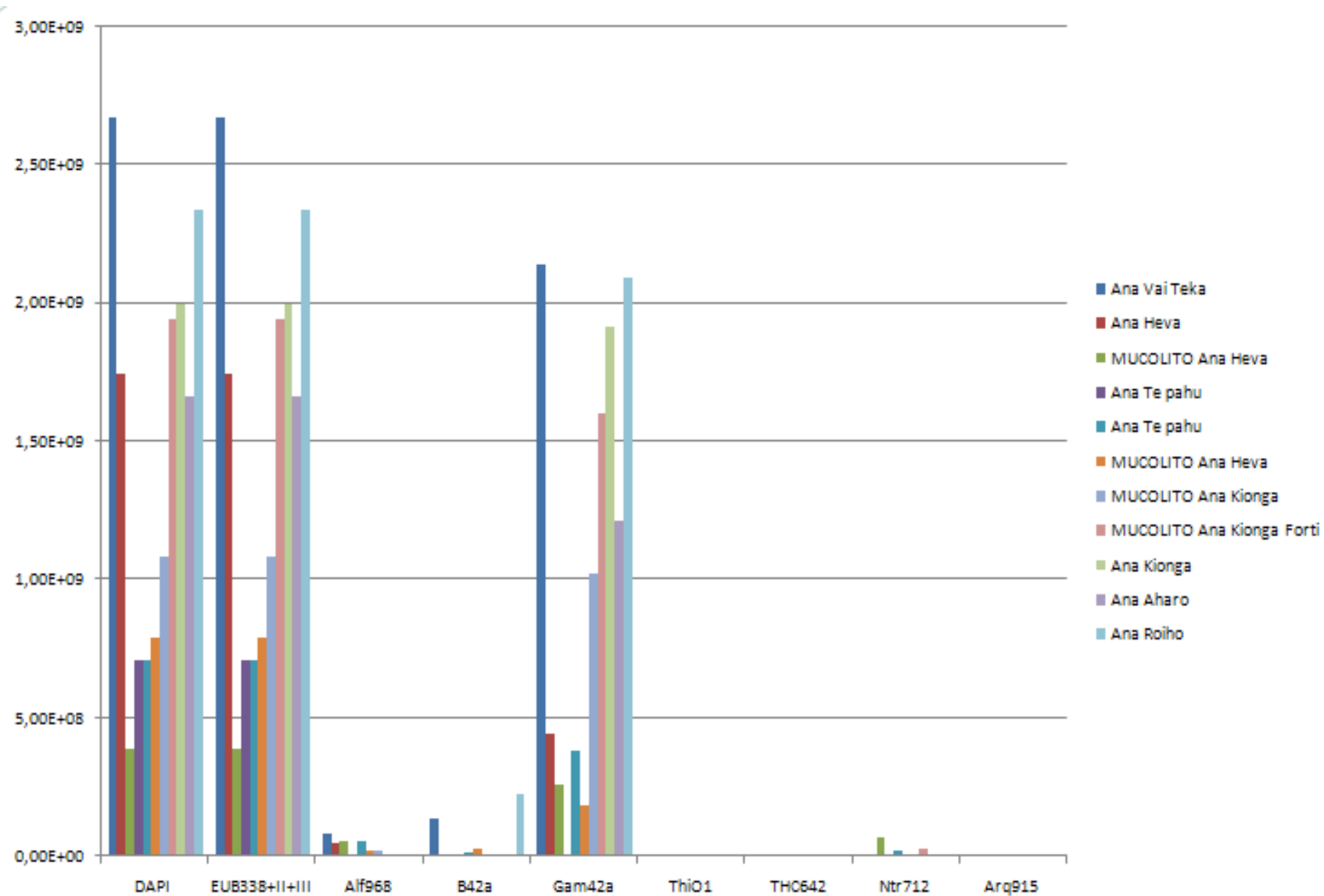
Probe	Target	Sequence (5' to 3')	(%) FM ^a	Specificity	Reference
EUB338	16S	GCT GCC TCC CGT AGG TCC	0-35	<i>Bacteria</i> domain	Amann, 1990
EUB338- II	16S	GCA GCC ACC CGT AGG TCT	0-35	<i>Planctomyces</i>	Daims, 1999
EUB338- III	16S	GCT GCC ACC CGT AGG TGT	0-35	<i>Verrumicrobia</i> (and others)	Daims, 1999
Alf698	16S	GGTAAGGTTCTGCGCGTT	20	Alfa-proteobacteria	Manz et al, 1996
Bet42a	16S	GCCTTCCCACATCGTTT	35	Beta-proteobacteria	Manz et al, 1996
Gam42a	16S	GCCTTCCCACATCGTTT	35	Gamma - proteobacteria	Manz et al, 1996
Thio1	16S	GCG CTT TCT GGG GTC TGC	35	Género <i>Acidithiobacillus</i>	Stoffels, no publicado
Ntr712	16S	CGC CTT CGC CAC CGG CGT TCC	35	Phylum Nitrospira	Daims et al, 2004
THC642	16S	CAT ACT CCA GTC AGC CCG T	35	<i>Acidithiobacillus caldus</i>	Bond, 2000

Conteo del número de microorganismos hibridado con las diferentes sondas de CARD-FISH

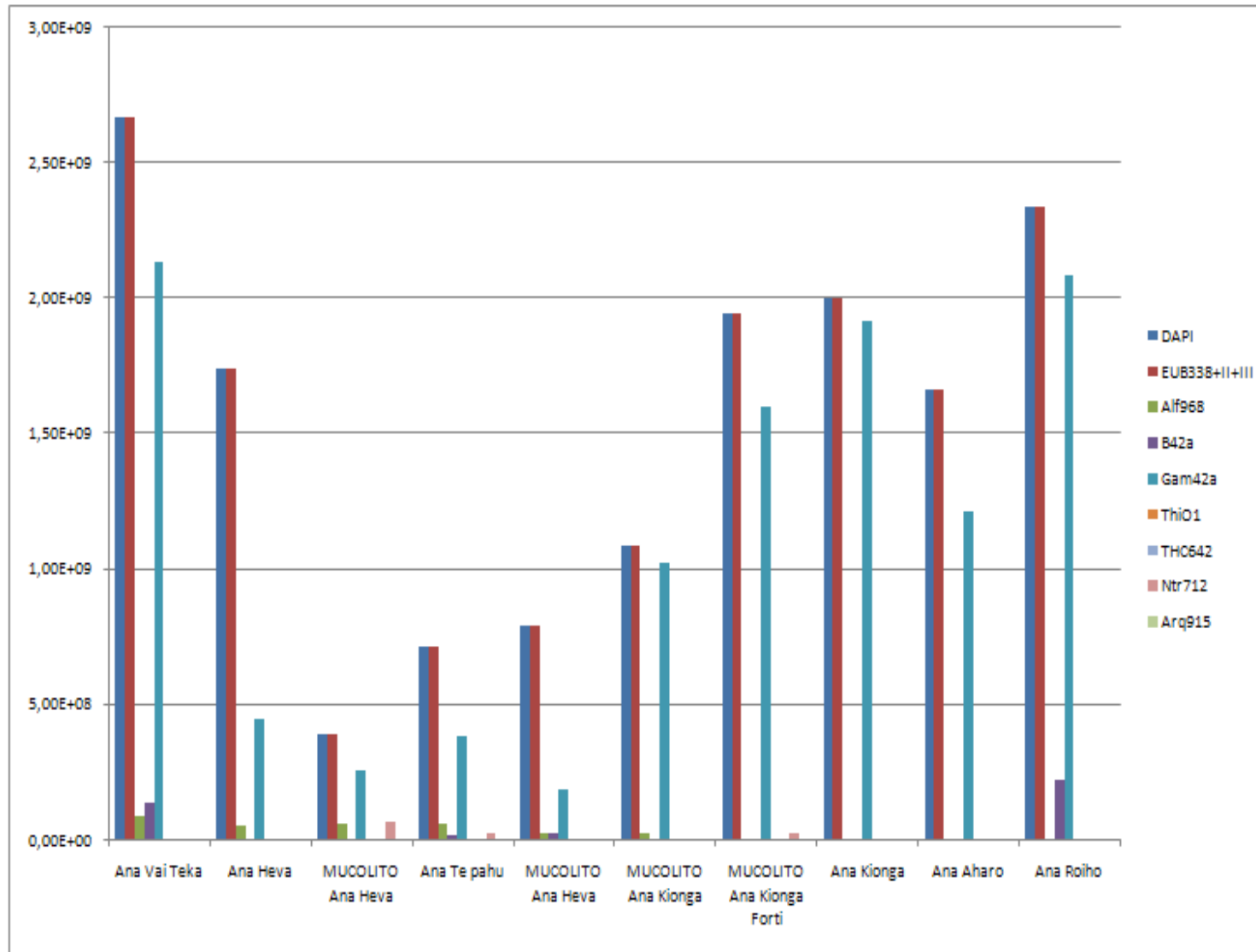
	DAPI	EUB338+II +III	Alf968	B42a	Gam42a	ThiO1	THC642	Ntr712	Arq915
Ana Vai Teka	2,67E+09	2,67E+09	8,40E+07	1,38E+08	2,14E+09	0	0	0,00E+00	0
Ana Heva	1,74E+09	1,74E+09	5,04E+07	0,00E+00	4,44E+08	0	0	0,00E+00	0
MUCOLITO Ana Heva	3,89E+08	3,89E+08	5,66E+07	6,00E+06	2,56E+08	0	0	6,60E+07	0
Ana Te pahu	7,09E+08	7,09E+08	5,30E+07	1,70E+07	3,80E+08	0	0	2,00E+07	0
MUCOLITO Ana Heva	7,86E+08	7,86E+08	2,00E+07	2,40E+07	1,82E+08	0	0	0,00E+00	0
MUCOLITO Ana Kionga	1,08E+09	1,08E+09	1,90E+07	0,00E+00	1,02E+09	0	0	0,00E+00	0
MUCOLITO Ana Kionga Forti	1,94E+09	1,94E+09	0,00E+00	0,00E+00	1,60E+09	0	0	2,40E+07	0
Ana Kionga	2,00E+09	2,00E+09	0,00E+00	0,00E+00	1,91E+09	0	0	0,00E+00	0
Ana Aharo	1,66E+09	1,66E+09	0,00E+00	0,00E+00	1,21E+09	0	0	0,00E+00	0
Ana Roiho	2,34E+09	2,34E+09	0,00E+00	2,25E+08	2,09E+09	0	0	0,00E+00	0

Nota: cantidad referida a 1 gramo de muestra

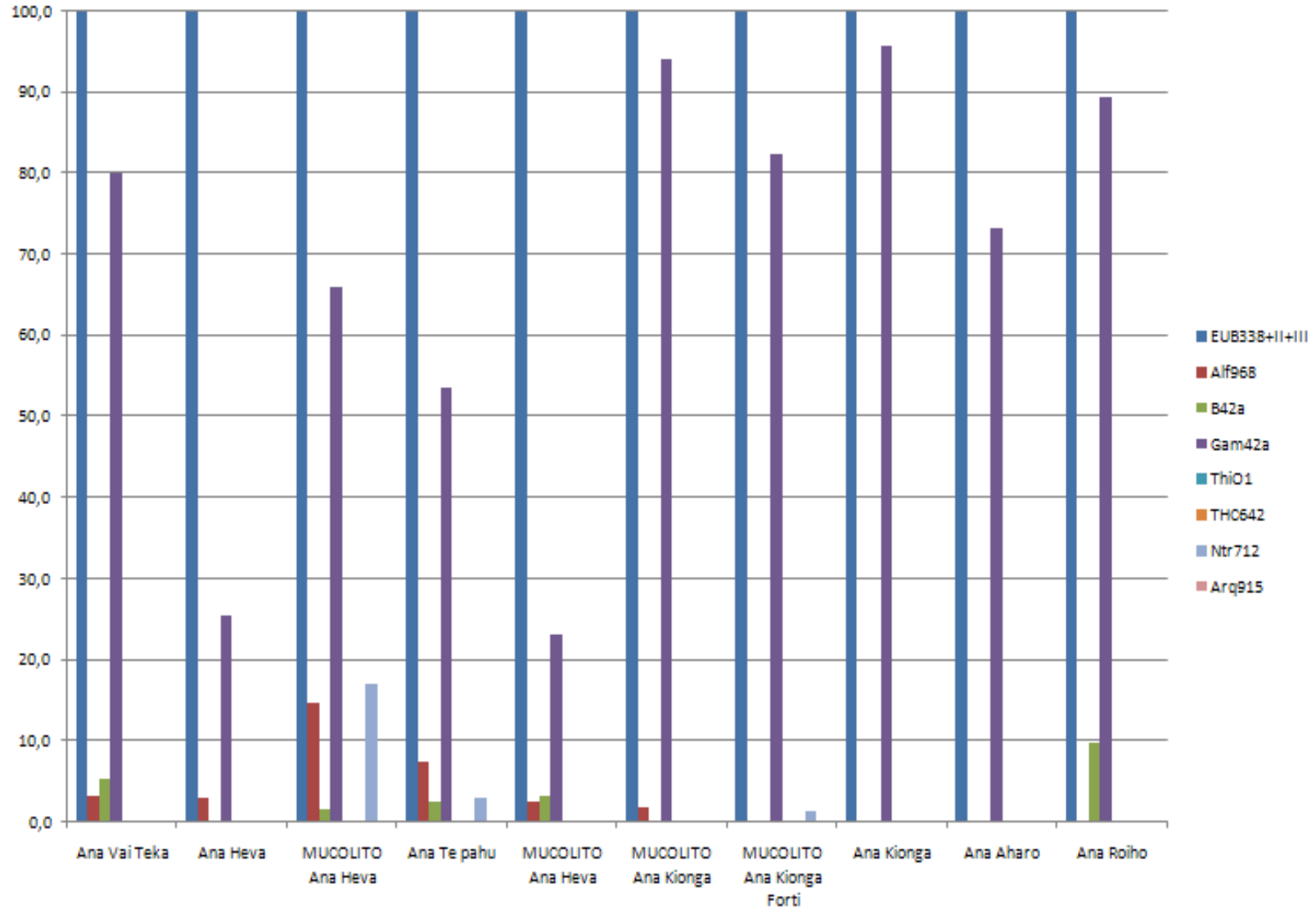
Número de microorganismos por 1 gramo de muestra



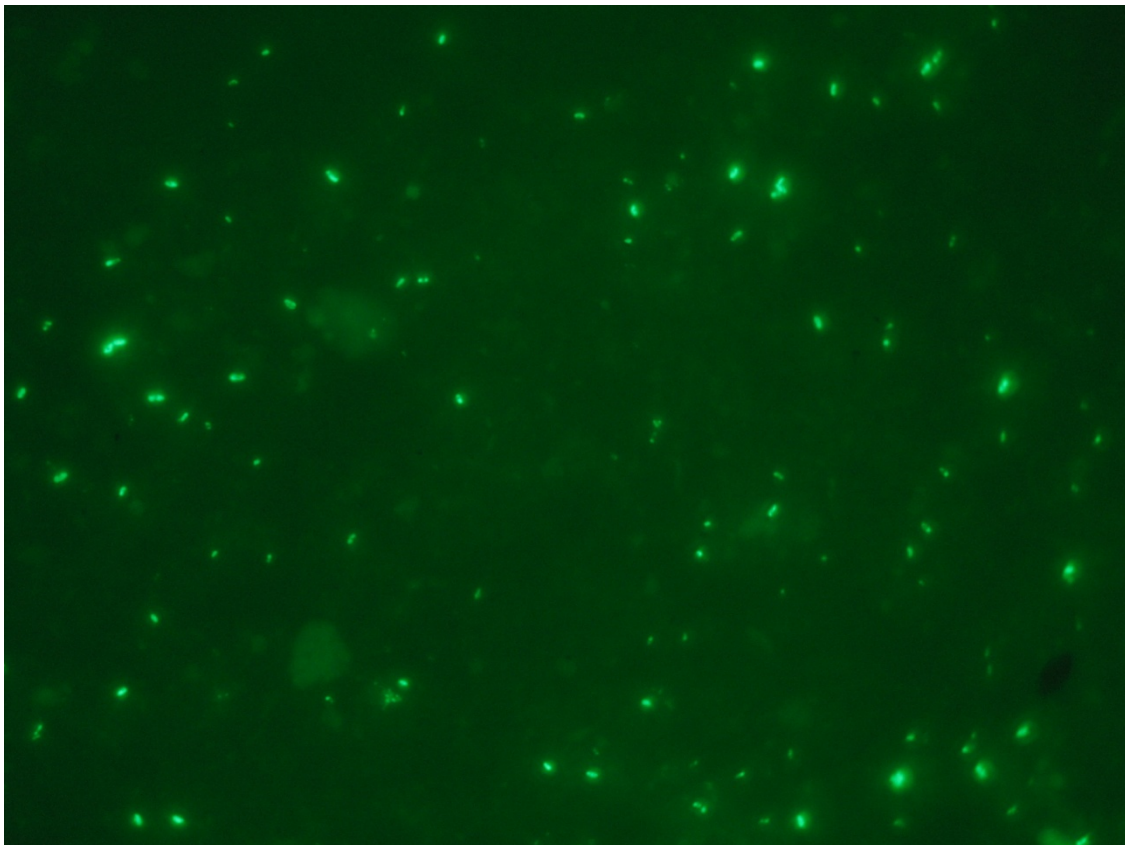
Número de microorganismos por 1 gramo de muestra



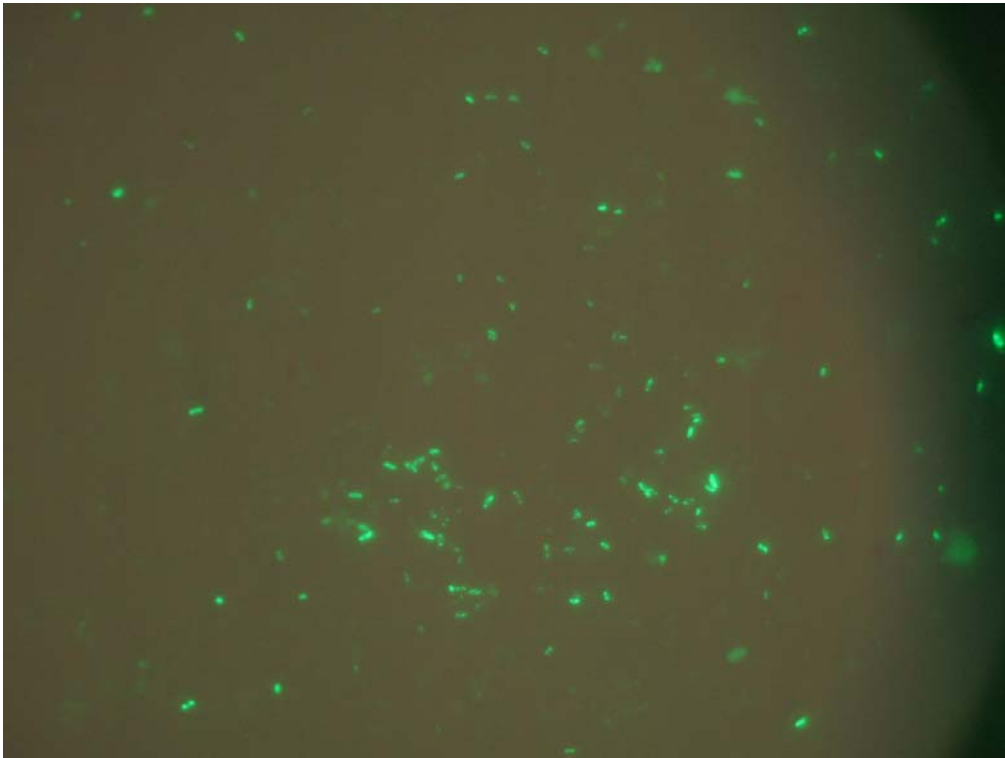
Porcentaje de microorganismos Híbridos



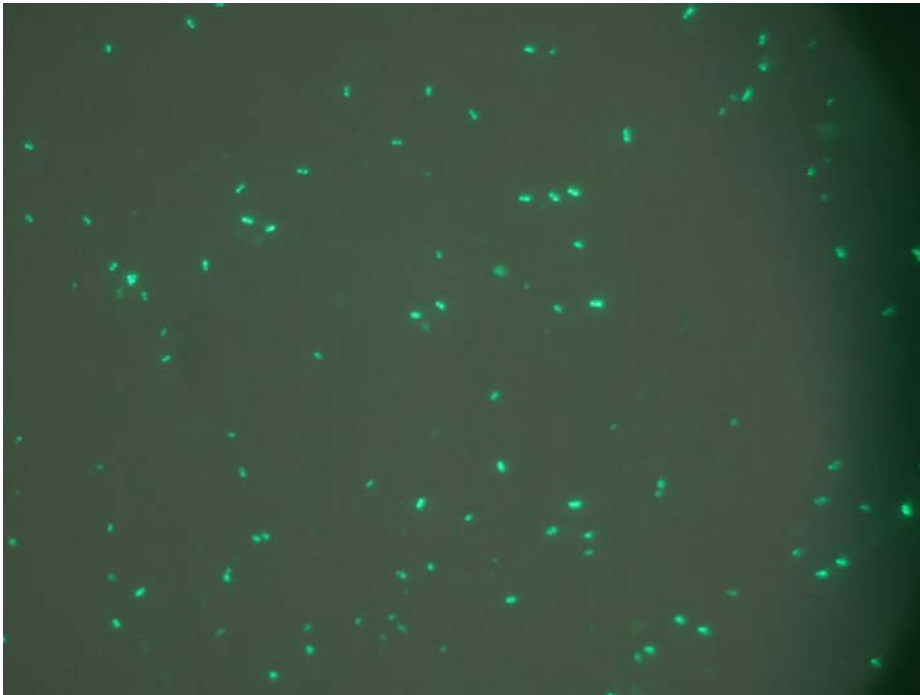
Hibridación in situ por CARD-FISH, con la sonda Universal para Bacteria Eub338+II+III con el fluorocromo Alexa 488. (Muestra 11- Ana Aharo)



Hibridación in situ por CARD-FISH, con la sonda Universal para Bacteria Eub338+II+III con el fluorocromo Alexa 488.
(Muestra 2-Ana Heva)



Hibridación in situ por CARD-FISH, con la sonda específica para Gammaproteobacteria Gam42a con el fluorocromo Alexa 488.
(Muestra 3 – MUCOLITO Ana Heva)



Conclusiones

La composición química del agua subterránea en formaciones volcánicas depende de factores como la composición del agua de lluvia, el tipo de roca, el tiempo de contacto, la temperatura, la agresividad del agua y, en general, aquellos factores que facilitan la disolución de los silicatos (principales minerales presentes en las formaciones volcánicas, que aunque insolubles, pueden llegar a hidrolizarse. En general, la composición del agua subterránea estará relacionada con la composición del agua de lluvia y de la roca.

Como conclusión, las aguas de los tubos volcánicos son predominantemente cloruradas sódicas y/o cálcicas con gran contenido en sílice. El predominio de este carácter responde, en gran medida, al hecho de que su origen es el agua de lluvia, que presenta una facies, también, clorurada sódica cálcica y el aporte que realiza la roca basáltica de los tubos volcánicos. El agua de los tubos volcánicos en su composición incluye elementos de la composición de la roca que no son aportados por el agua de precipitación, como el sílice, el hierro o los nitratos. Como ya se ha citado, se trata de agua de precipitación que se infiltra desde la superficie, llega al interior de los tubos volcánicos y al condensarse en forma de gotas, que son apreciables en el techo y en las paredes de las cavidades, así como una muy alta humedad en las mismas, se favorece la formación de acumulaciones de agua en el interior.

No presentan grandes diferencias las de unas cavidades con respecto a las de otras, a excepción de la muestra de la Ana Kionga, que es la muestra que más se diferencia del resto procedente de los tubos volcánicos, y que presenta un alto contenido en hierro y en bicarbonatos, así como un pH algo superior al resto de muestras procedentes de los tubos.

En general, el agua de los tubos volcánicos se trata de aguas de mineralización baja, pHs neutros y con un más o menos alto contenido en hierro dependiendo de la cavidad, en lo que respecta a los parámetros físico-químicos. El agua de la red de distribución procedente de pozo, tiene un carácter clorurado sódico y un contenido más elevado en cloruros y una conductividad más elevada deben estar relacionados con un fenómeno de intrusión marina, que hace que el agua del pozo se mezcle en parte con el agua marina. La muestra de agua de lluvia (de Hanga Roa) presenta un contenido en cloruros y una conductividad mucho más baja que el resto de muestras.

El agua del Rano Kau presenta un pH ligeramente más ácido que el resto, una conductividad algo más elevada así como un contenido en hierro, cloruros, magnesio y calcio más elevado que el agua de los tubos volcánicos.

En el estudio microbiológico de las aguas, muestras de fango y de formaciones tipo mucolito de los tubos volcánicos se ha iniciado la identificación

de los microorganismos presentes en las distintas cuevas de Rapa Nui y probablemente involucrados en su desarrollo y estructuración. La técnica utilizada ha sido la hibridación *in situ*, que tiene la ventaja de permitir una preservación adecuada sin mayores manipulaciones, con el fin de hacerla compatible con el fin primordial de la expedición: la exploración espeleológica de las cuevas.

Los resultados geomicrobiológicos obtenidos en esta campaña son interesantes. En primer lugar se ha podido demostrar que el protocolo de preparación de muestras funciona convenientemente. En segundo lugar, se aprecia una importante cantidad de microorganismos en los distintos mucolitos analizados. La mayor parte de la señal universal obtenida con el colorante DAPI corresponde a los valores de hibridación obtenidos con sondas de distinta especificidad, lo que demuestra, por un lado, que somos capaces de explicar la mayor parte de la diversidad microbiana existente y por otro lado que los microorganismos son metabólicamente activos, es decir están vivos. Los microorganismos existentes en mucolitos de distintas cuevas corresponden al dominio Bacteria, ya que dan una elevada señal de hibridación con la sonda correspondiente. No se aprecia hibridación con la sonda de Arqueas, por lo que parece que no existen microorganismos de este dominio en los mucolitos analizados. La utilización de sondas correspondientes a los distintos phyla, dan una señal preponderante de Proteobacterias y dentro de ellas a las Gammaproteobacterias. Este grupo de bacterias incluye muchos patógenos humanos, así como la mayoría de los grupos de bacterias más relevantes médica y científicamente. Se evidencia una señal clara pero menor para microorganismos de los grupo Alfa y Betaproteobacteria (dos órdenes de magnitud menor que para las Gammaproteobacteria).

La utilización de sondas específicas de género y especie disponibles en el laboratorio no han dado una señal positiva. Lo que requerirá la clonación de las muestras con el fin de disponer de las secuencias específicas necesarias para diseñar las sondas. De momento con los datos existentes podemos concluir:

- Los mucolitos de distintas cuevas de Rapa Nui están formados por bacterias metabólicamente activas del grupo de la Gammaproteobacterias.
- Se obtiene la misma señal en distintos mucolitos de distintas cuevas, lo que sugiere que este tipo de microorganismo es fundamental en el desarrollo de estas estructuras.
- Este microorganismo es distinto del detectado en mucolitos de cuevas de Venezuela, lo que puede deberse al aislamiento geográfico de la isla o al distinto tipo de condiciones ambientales existentes en las mismas.
- Se requerirá la clonación de este microorganismo con el fin de disponer de la secuencia del gen rRNA, lo que permitirá además de su posible identificación el diseño de sondas para su cuantificación.

Estos resultados están resultando muy interesantes aunque queda mucho por hacer aún, trabajo que se sigue llevando a cabo con el fin de caracterizar la flora bacteriana propia de las aguas de las cavidades así como de sus interesantes y curiosas formaciones tipo “mucolito”.

Bibliografía

- AquaChem (versión 3.7). Aqueous Geochemical Data Analysis and Plotting Waterloo Hydrogeologic. 1997.
- *C. Herrera, M. Pincheira., C. Custodio, I. Araguás, y G. Velasco. 2004.* El contenido en tritio de las aguas subterráneas de la isla de Pascua, como una herramienta para calcular la recarga del acuífero volcánico. Boletín geológico y Minero de España. Vol., 115, pp. 299-310.
- *David L. Parkhurst and C.A.J. Appelo.* User's guide to phreeqc (version 2) 1999. A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. By Water-Resources Investigations Report 99-4259.
- *John D. Hem.* Study and interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water (Third Edition). 1985. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254. USGS Science for changing world. United States Government Printing Office.

Dedicatoria

“La luna llama a la mar y la mar llama al humilde chorrito de agua, que en busca de la mar corre y corre desde donde sea, por muy lejos que sea, y corriendo crece y arremete y no hay montaña que le pare la pechada.”

Eduardo Galeano (El libro de los abrazos)

A Iñaki, Aran, Asier-i