



Departamento de Geociencias
Facultad de Ciencias
Universidad Nacional de Colombia

RELACIONES GEOBIOLOGICAS ENTRE ROCAS DE LA FORMACIÓN CHURUVITA CON BACTERIAS NATIVAS EN EL SECTOR DE VILLA DE LEYVA

GEOBIOLOGIC RELATIONS BETWEEN LITHOLOGIES OF THE CHURUVITAS FORMATION WITH NATIVE BACTERIUM ON THE QUADRANT OF VILLA DE LEYVA

Estudiante: Corzo Acosta, Julian Andreas
Directora: Tchegliakova, Nadejda Nikolaevna

Contenido

1. Resumen.....	2
2. Introducción	4
3. Revisión de literatura	5
4. Problema considerado en este trabajo:.....	13
5. Geología: base para la biología.....	13
6. Metodología	14
7. Resultados	19
Resultados geológicos	19
Resultados biológicos	23
8. Discusión de resultados	26

9.	Conclusiones.....	27
10.	Agradecimientos.....	28
11.	Bibliografía	29

1. Resumen

Este trabajo reúne información geológica y microbiológica con el fin de hacer una primera aproximación a la relación entre los minerales y elementos químicos presentes en una biomicrita dispersa, una arenita de grano grueso y una limolita fisil con el número de colonias bacterianas que se cultivaron a partir de un raspado hecho en cada una de estas tres litologías las cuales fueron tomadas en la secuencia sedimentaria de la Formación Churuvita (vía Tunja – Villa de Leyva).

A todas las muestras de roca se les practicaron tres tipos de ensayos, en primer lugar una sección delgada y un análisis petrográfico con el fin de tener datos cuantitativos de los minerales presentes en las rocas; en segundo lugar, se llevó a cabo un análisis de Fluorescencia de Rayos X para obtener el porcentaje en peso de los elementos químicos que hay en cada una de las muestras de roca; y en tercer lugar, se realizó un recuento de bacterias por gramo de muestra y siembra en placa para obtener la cantidad de colonias bacterianas que potencialmente se desarrollarían en estas tres litologías.

Las colonias bacterianas presentaron crecimiento en una proporción muy similar entre los tres tipos litológicos; con la obtención de 144 morfotipos de colonias bacterianas de las cuales 43 corresponden a la biomicrita dispersa, 49 a la arenita de grano fino y 52 a la limolita fisil.

El hecho de que no haya una diferencia importante en las poblaciones bacterianas que crecieron en las tres litologías podría deberse a que aquéllas que se desarrollaron sobre la biomicrita obtuvieron sus requerimientos básicos a partir del carbonato de calcio (87,3%) mientras que las que crecieron sobre la arenita y limolita lo obtuvieron a partir de la sílice (82% y 58% de cuarzo, respectivamente). Por otro lado la roca en la que más crecieron bacterias fue JY-3 (limolita), esto puede deberse a que esta roca además de tener sílice tiene altas concentraciones de Al_2O_3 , lo que podría haber facilitado el desarrollo de poblaciones bacterianas por la disponibilidad de estos dos elementos.

No se pudo correlacionar en forma clara un mineral o elemento químico con el crecimiento de colonias bacterianas en cada una de las muestras de roca tomadas en la secuencia de la Formación Churuvita. La codependencia del crecimiento de bacterias puede deberse no solo a los minerales como fuente de alimento sino a la manera bioquímica como se disponen ellos en el ambiente, o a contaminantes ambientales.

Los resultados de pH mostraron que las tres litologías tienen un pH ácido que varía entre 5.3 y 5.5, por lo tanto parece no ser un factor inhibidor para su crecimiento.

Para tener resultados más claros es necesario realizar nuevos trabajos con un muestreo más sistemático de la misma litología y establecer si las litologías influyen o no de forma significativa en la cantidad de colonias bacterianas que allí puedan crecer.

Palabras clave

Astrobiología, Geobiología, Colonias bacterianas, Litología

Abstract

Geological and microbiological information was gathered in order to identify the potential relationships between minerals and /or chemical elements contents in the sparse biomicrite, a sandstone and a mudstone with bacterial communities that were cultivated from a “scrapped off” made on each of these lithologies which were sampled on the Cretaceous sedimentary sequence of the Churuvita Formation (Road Tunja-Villa de Leyva). Three types of evaluations were made on each of these sample rocks: quantitative mineralogy was obtained through rock petrography, X-ray fluorescence analysis of the major element composition (weight %) of the rocks and quantitative bacterial count per gram in order to know the amounts of communities that would be able to grow in each type of rock.

Analogous amounts of bacterial communities grew up in the three lithology types: 144 bacterial morphotypes grew up in total; 43 of them corresponding with the sparse biomicrite, 49 with the fine grain sandstone and while 52 with the mudstone.

No significant differences in bacterial populations to the three rocks types could be due that the basic necessities required by these communities were obtained from calcium carbonate (87.3%) in the biomicrite while to sandstone and siltstone were obtained from the silica (82% quartz and 58%, respectively).

High Al_2O_3 and SiO_2 concentrations in the siltstone (JY-3 sample) could have facilitated the development of most important bacterial populations.

Main conclusion shows that there is not clearly relationship between a mineral content with the growth of bacterial populations in each of rock type of the Churuvita Formation.

Bacterial growth is not only influenced to the mineral content as a food source but also with biochemical availability of these minerals to be part of bacterial food chain or also as environmental pollutants.

Results of pH tests show that the structure of bacterial communities in three rock types is not a factor that constrains the bacterial growth, in fact the range of pHs values range between 5.3 to 5.5.

The preliminary findings show the need to carry out new systematic samplings on the rocks to establish the influence level the lithologies over the bacterial communities' growth.

Key words

Astrobiology, Geobiology, Bacterium Colonies, Lithology

2. Introducción

Teniendo en cuenta la complementariedad que existe entre disciplinas como la biología y la geología, es posible efectuar estudios aplicados a la búsqueda de vida en otros planetas y; en este sentido si se establece que si se tiene conocimiento de que hay bacterias cuyo surgimiento y desarrollo está influenciado directamente por los elementos químicos o minerales presentes en un sustrato rocoso se pueden establecer análogos donde potencialmente pueda surgir y establecerse vida en algún planeta o satélite dentro de nuestro sistema solar.

Este trabajo es el primer estudio en Colombia de geobiología comparativa entre las bacterias nativas existentes en la Formación Churuvita en el kilómetro 14.3 de la carretera Villa de Leyva-Tunja (Colombia) y la relación geológica existente para permitir su desarrollo y crecimiento.

Objetivo General: Analizar geoquímica y mineralógicamente muestras de roca de la Formación Churuvita en el municipio de Villa de Leyva para establecer conexiones geobiológicas que permitan correlacionarlas con bacterias nativas.

Objetivos Específicos:

1. Realizar salida de campo en el sector de Villa de Leyva (Colombia) para muestrear y recolectar 3 litologías diferentes dentro de la Formación Churuvita, para posteriormente ejecutar los análisis mineralógicos, geoquímicos y biológicos.

2. Petrografía: Realizar secciones delgadas con el fin de clasificar composicional y texturalmente las muestras recolectadas, para tener además un conteo de granos que permita establecer concentración de minerales.
3. Análisis Geoquímico: Realizar Espectrometría de Rayos X con el fin de reconocer los elementos químicos que potencialmente ayuden al origen, crecimiento y diversificación de las bacterias.
4. Análisis Biológico: Obtener aislamientos bacterianos nativos a partir de las muestras analizadas.

Dedicatoria: Este trabajo va dedicado a mi familia: A mi mamá por estar siempre para mí, apoyándome en todos mis proyectos, llegar hasta aquí ha sido en gran parte gracias a su amor, sus cuidados y sus consejos a la hora de tomar decisiones importantes. A mi papá por enseñarme disciplina y a proyectarme académicamente.

3. Revisión de literatura

Se ha mencionado en (Noffke, 2010) que los fósiles de *microbial mats* foto autótrofos en Namibia en el Grupo Namibia del Neo Proterozoico, están asociados a capas bien expuestas de areniscas ricas en cuarzo y que fueron depositadas con una energía hidráulica moderada. “Esta misma relación entre tapetes microbianos, tipos de sedimento y un retrabajamiento hidráulico promedio es típica, incluso hoy en día”, así que se puede decir que hay una relación directa entre una litología específica y la ocurrencia de actividad biológica tanto en el pasado como en el presente.

Las biopelículas¹ y *microbial mats* crecen preferentemente y con mayor espesor en zonas de baja actividad de olas, alta exposición subaérea y en arenas de grano fino compuesta de granos de cuarzo translucidos. Las olas moderadas y las corrientes no permiten que el lodo se forme. El lodo por su parte bloquea la luz solar, que es esencial para organismos fotoautótrofos. Sin embargo el movimiento de agua no es lo suficientemente fuerte como para erosionar las estructuras microbianas bentónicas. Una regla de formación de los *microbial mats* es que son gruesas en ambientes marinos donde el agua permanece en calma durante largos periodos de tiempo, mientras que los *microbial mats* delgadas indican condiciones menos favorables en áreas costeras frecuentemente retrabajadas. Por ejemplo, en una plataforma continental, las tormentas regulan el desarrollo de las *microbial mats*, estas crecen de forma más delgada en donde las tormentas frecuentemente retrabajan los sedimentos del fondo oceánico. Otro ejemplo son las (tidal flats), allí las tormentas no son tan significantes

¹ Los microbios forman biopelículas, revestimientos orgánicos delgados, que se forman alrededor de granos de sedimento, o crecen para hacerse más gruesos, capas tipo tapete (*microbial mats*). Noffke (2010)

para el crecimiento de los microbial mats como la duración de exposición subaérea en la superficie de marea. En general entre más tiempo de exposición, más gruesas son las *microbial mats* (Noffke, 2010).

Es de importante interés que los patrones a largo plazo de las tormentas y de las ciclicidades de mareas crean en todos los sitios una sucesión lateral de *microbial mats* desde la parte más profunda de agua hasta la superficie. Al menos en 20 sitios de estudio, se observó este cambio característico de *microbial mats* con la profundidad de las aguas. Esta misma distribución se ha observado en el registro fósil, un buen ejemplo es la (tidal flat) de 2,9 Ga expuesta en el río Wit Mfolozi en Sur África (Noffke, 2010).

Por otra parte (Noffke, 2010) también propone que el término “sedimento” ya no debe ser entendido solamente para describir la acumulación de partículas. Lo que es especialmente el caso de los sedimentos arenosos siempre entendidos como una acumulación de granos de cuarzo. Debido a que en la naturaleza los sedimentos son el hábitat de muchos microorganismos bentónicos, por lo tanto muchos principios sedimentológicos deben reconsiderarse. Los microbios colonizan los sedimentos, por lo tanto afectan los procesos sedimentarios primarios físicos (microbial biostabilization, binding, or blaffing and trapping). Los *microbial mats* tienen también una importancia estratigráfica ya que algunos análisis hechos en areniscas muestran que éstos se forman muy bien durante las transgresiones marinas

En Project 5. Life in Extreme Environments (2006) se menciona que hay bacterias que oxidan hierro en las venas hidrotermales en el monte marino Loihi en el océano pacífico. “Emerson y sus colaboradores han propuesto que este compone una nueva clase, la protobacteria-z”. El genoma de esta bacteria confirma que este organismo está adaptado a tener un modo de vida fotoautótrofo al vivir en Fe (II) y tiene un repertorio metabólico limitado al crecer alejado de Fe (II). Esto nos indica que las bacterias pueden tener una referencia química a la hora de crecer en un paquete rocoso y eso es precisamente lo que se busca en el presente trabajo.

(Konhauser y colaboradores, 1994) Se realizó un trabajo en el río Speed River, Ontario Canadá, se encontraron comunidades microbianas epilíticas, encontradas en biopelículas en granitos, calizas y areniscas sumergidas. “Por medio de microscopia electrónica de transmisión se mostró que todas las bacterias adheridas al sustrato fueron altamente mineralizadas, con un rango de materiales capsulares ricos en hierro a precipitados minerales autigénicos “primarios” de grano fino ($<1 \mu$)”. (Konhauser y colaboradores, 1994) expone. “Los granos autigénicos exhiben un amplio rango de morfologías, de fases amorfas tipo gel a estructuras cristalinas”. La

energía dispersiva de la espectroscopia de rayos x reveló que el mineral más abundante asociado a las bacterias epilíticas fueron silicatos complejos de hierro y aluminio de composición variable. Las bacterias mostraron estructuras tipo gel con composición similar a la arcilla chamosítica, mientras que aquellas que mostraron estructuras cristalinas fueron más silíceas y tenían composición entre glauconita y kaolinita. En todas las poblaciones de bacterias fue consistente la formación de (Fe,Al) independientemente de la litología, lo cual implica que la mineralización fue un proceso superficial asociado a la naturaleza aniónica de la pared celular de las bacterias. Es decir que la adsorción de los constituyentes disueltos del ambiente acuoso contribuyen de forma significativa en el proceso de formación mineral. En este artículo se propone que las biopelículas microbianas epilíticas dominan la reactividad de las interface roca-agua y puede determinar el tipo de minerales formados, los cuales en última instancia formaran parte de los sedimentos arrastrados por el río.

Cabe anotar que la metodología utilizada en (Konhauser y colaboradores, 1994) fue de gran utilidad para definir la metodología del presente estudio, dado que los autores recolectaron bacterias epilíticas (que se adhieren a sustratos rocosos y se alimentan de estos) en rocas sumergidas (incluyendo granito, arenita y caliza) y concreto en los pilares que sostienen un puente. Las rocas fueron removidas de 1m de agua, secciones de (4.0 cm²) de biopelículas fueron raspados del sustrato con bisturís esterilizados e inmediatamente colocados en tubos de plástico libres de metal de 5 ml conteniendo glutaraldehído (vol/vol) al 2.0%. También se realizaron secciones delgadas de 60 nm de espesor (de bacterias), y para identificar minerales realizaron microscopia electrónica de transmisión, espectroscopia energía-dispersiva de rayos (EDS) x y difracción de rayos x.

El análisis de (EDS) indica que los polímeros capsulares que se formaron alrededor de las biopelículas secuestraron cantidades significantes de Ca, K, Si y Mn. La acumulación de metales traza tales como el Mn indica que las bacterias son muy buenas para extraer metales iónicos en solución del ambiente acuoso, incluso si se encuentran en muy bajas concentraciones (Konhauser y colaboradores, 1994)

Debido a que todas las bacterias biomineralizaron de la misma manera, la conclusión del artículo es que claramente la litología tiene una influencia limitada en la formación de minerales autigénicos, implicando que la biomineralización fue más un proceso superficial, asociado con la naturaleza aniónica de las paredes celulares bacterianas. Parece más bien que la adsorción de constituyentes disueltos (del ambiente acuoso) contribuyeron significativamente al proceso de formación del mineral (Konhauser y colaboradores, 1994)

En (Glesson y colaboradores, 2005) Se estudia el contraste de la química de elementos mayores de un granito pegmatítico para investigar las influencias mineralógicas que este tiene en la estructura de una comunidad bacteriana. Se extrajeron cristales intactos meteorizados de muscovita, plagioclasa, feldespato potásico y

cuarzo. El escaneo ambiental de microscopia electrónica reveló una diversidad de estructuras bacterianas, con barras y fragmentos claramente visibles en las superficies de todo tipo de minerales. Un análisis espaciador intergénico de bacterias de ribosomas automatizadas fue usado para generar perfiles de ribotipos para cada mineral. Un test de aleatorización reveló que las huellas de las comunidades difieren entre diferentes tipos de minerales, mientras que el análisis de correspondencia canónica (CCA) mostró que la química mineral afectó los ribotipos individuales. El análisis CCA también reveló que el Al, Si y Ca tienen un impacto significativo en la estructura de la comunidad bacteriana dentro del sistema, lo cual contrasta con el hallazgo dentro de comunidades de hongos que aunque tienen Al y Si también tienen un impacto importante, y se destacó que el K es más importante que el Ca. Las poblaciones de bacterias asociadas a diferentes minerales resultaron también ser diferentes entre sí. Miembros de cada uno de los tipos de poblaciones fueron encontrados casi exclusivamente en un solo tipo de mineral, como había sido reportado previamente en las poblaciones de hongos. Estos resultados muestran que la estructura de las comunidades bacterianas fue controlada por la composición química del mineral, indicando una presión selectiva por los elementos químicos individuales en poblaciones *in situ* de bacterias. Varios ribotipos de bacterias en este estudio mostraron ser dependientes de un tipo de mineral, con los cuarzos teniendo estructuras de comunidades de bacterias menos complejas que los otros minerales. El cuarzo es esencialmente sílice puro, que puede restringir la nutrición de las bacterias más que otros minerales (en términos de nutrientes inorgánicos como el K, etc) dejando una estructura comunitaria simple, aunque los contaminantes superficiales de cristales de cuarzo pueden contribuir a la nutrición bacteriana, varios ribotipos individuales fueron ampliamente restringidos a un solo tipo de mineral, exceptuando dos ribotipos (R547 y R818). Por ejemplo el ribotipo # 960, encontrado solo en plagioclasas, lo cual lo correlaciona significativamente con aluminio y fósforo.

En (Ori, 2000) la riqueza de información en cuanto a clima, hidrología y depositación sedimentaria adquirida de los lagos y los ambientes lacustres los vuelve uno de los objetivos más importantes a la hora de hacer exploración en Marte. Los depósitos lacustres terrestres registran una gran variedad de trazas biológicas, y por esto son potenciales candidatos para el estudio de la exobiología en Marte. Se han descubierto paleolagos de muchos estilos y edades en la superficie de Marte. Analizar el potencial biológico del planeta Marte y de algunos otros cuerpos del Sistema Solar, es un objetivo ahora perseguido por varias misiones planetarias. El primer requisito para una misión exobiológica es una nave que pueda aterrizar, posiblemente con alguna movilidad alcanzada por un robot. La instrumentación es por supuesto extremadamente importante porque podría estar específicamente diseñada para detectar la presencia de vida o evidencia en el pasado, ya que es muy probable que en el caso de Marte, la vida ya no esté presente al menos en la superficie y en la subsuperficie.

Por lo tanto, la búsqueda de vida en Marte debería estar probablemente concentrada en fósiles, las formas de vida extintas no pueden ser descartadas.

Las estrategias para la exploración exobiológica se concentran en misiones de aterrizaje que tienen una serie de instrumentos en el siguiente orden: (i) Instrumentos para detectar moléculas orgánicas o productos de desarrollo orgánico e (ii) imágenes de formas fósiles. El objetivo de esta búsqueda son las bacterias, algas u otras formas básicas de vida que pueden estar presentes en sedimentos y en superficies rocosas, así como en fracturas y poros (Ori, 2000).

Para realizar un análisis exobiológico es necesario recolectar datos por debajo de la zona superficial en la cual los procesos de oxidación probablemente han destruido la evidencia orgánica de presencia de vida. La profundidad de esta capa superficial oxidada no es conocida, y por otro lado podría ser extremadamente variable dependiendo de la litología y de las características ambientales. El objetivo mejor definido de las exploraciones son (fósiles de formas de vida) y las incertidumbres de posibles sitios donde los fósiles pueden estar preservados necesitan un estudio de fondo (background) detallado para la selección de los sitios de aterrizaje, que deben tener en cuenta la seguridad en primer lugar y en segundo lugar los sitios de interés científico. Sin embargo, en la búsqueda de vida en Marte, hay algunas facies sedimentarias que deberían ser identificadas como posibles sitios de aterrizaje. A diferencia de la petrografía y de los estudios geoquímicos, la exobiología necesita investigar áreas bien definidas con un alto nivel de potencial de preservación de fósiles.

El reconocimiento de procesos sedimentarios y sus depósitos relacionados en Marte es de vital importancia para seleccionar áreas para la exploración In- Situ. Marte probablemente tuvo cuerpos estáticos de agua.

La vida es ubicua en la Tierra pero su contraparte fósil no lo es, por otra parte la forma más apropiada de buscar evidencia de vida antigua en un planeta está en descubrir firmas geológicas y químicas, que podrían estar presentes en una gran variedad de ajustes geológicos que van desde afloramientos en la superficie hasta el fondo de lagos congelados más que en fósiles o trazas (Ori, 2000).

Los depósitos lacustres antiguos son unos de los lugares más prometedores para la reconstrucción de la historia geológica de Marte y la búsqueda de vida en el pasado. Las misiones (Mars Pathfinder) y el (Mars Global Surveyor) han demostrado que Marte ha sido más rico en agua de lo que se había pensado, y por lo tanto es rico en sedimentos de este tipo. Las morfologías y facies sedimentarias lacustres y fluviales de Marte, sugieren que hubo cambios periódicos en el ciclo hidrológico como consecuencia de los cambios climáticos y amplían en un lapso considerable el tiempo de duración de agua líquida. Se ha encontrado evidencia de formación de lagos en la superficie marciana. Marte probablemente tuvo cuerpos estáticos de agua, hay geoformas relacionadas a estos ambientes tales como terrazas por corte de olas, además de abanicos aluviales y deltas

bien preservados. Los análisis geológicos en la superficie de Marte han mostrado que su pasado climático fue caracterizado por periodos cálidos con alta humedad y la presencia de agua bien distribuida, y periodos fríos con condiciones áridas y agua en la subsuperficie. El agua en Marte probablemente estuvo presente en la superficie en periodos intermitentes formando cuencas lacustres bien definidas. El término (lacustre) al igual que el término océano puede ser engañoso, porque en la Tierra la diferencia principal entre estas dos masas de agua es la concentración de sal y sus relaciones con las masas de tierra. Sin embargo, debido al uso frecuente de estos dos términos en la literatura sobre Marte sugiere que se le puede llamar “océano” a las grandes masas de agua putativas que posiblemente cubrieron gran parte del hemisferio norte (Ori, 2000).

En Marte un cráter provee una cuenca pre- formada con bordes bien definidos y el cuerpo de agua que está adentro puede ser más fácilmente reconocible por características morfológicas que los lagos más anchos y con bordes menos definidos. Se han reconocido 179 posibles paleo lagos en cráteres de impacto en la superficie de Marte utilizando las imágenes del Viking. Es difícil definir un modelo de facies para los ambientes sedimentarios marcianos porque hay grandes incertidumbres en cuanto a la identificación geomorfológica y sedimentológica de características de la superficie. Los datos del MOC (Mars Orbiter Camera) del Mars Global Surveyor podrían resolver este problema. Las estructuras reconocidas e interpretadas sugieren dos tipos de cuencas lacustres posibles. Una formada por cuerpos permanentes de agua de apreciable profundidad y otros con poca o nada de agua presente en la superficie. Los primeros son llamados *Lagos profundos* los cuales consisten en cuerpos permanentes de agua que tienen una suficiente profundidad para sobrevivir a las crisis hidrológicas que disminuyen sus niveles de agua. Sus niveles pueden, por lo tanto, fluctuar, pero permanecen dominados por aguas profundas. Las características básicas de geomorfología, que también sugieren la ocurrencia de lagos profundos son (i) deltas tipo Gilbert en las bocas de los canales afluentes, (ii) terrazas en los bordes de las cuencas alrededor del relieve y (iii) superficies planas y uniformes. Se han encontrado algunas terrazas en el límite de los bordes de un cráter en Marte en la región de Memmonia. Las terrazas se forman básicamente por la acción de las olas que pueden funcionar como agentes destructivos y constructivos. En el primer caso las olas erosionan la plataforma continental (flat platform) al nivel de la ola rompiendo y moldeando la así llamada plataforma de corte de ola, en el segundo caso la acción de las olas construye una plataforma por acumulación de sedimentos en el frente de costa donde la mayor energía es consumida. Las terrazas pueden también ser moldeadas usando la estratificación de las capas rocosas como preferentes superficies planas. Los deltas tipo Gilbert se forman cuando una corriente con una gran capacidad de arrastre (bed-load) fluye dentro de una cuenca de agua con un margen profundo. Los deltas tipo Gilbert son un tipo de delta tipo abanico que durante la progradación desarrolla estructuras sedimentarias con (foresets) bien

definidos. Varias estructuras tipo abanico con una superficie plana en la parte superior y una fuerte caída frontal han sido observadas en la boca de canales en cráteres que son extraordinariamente similares a los Deltas tipo Gilbert de la Tierra, esto soporta la posibilidad de presencia de pasados ambientes lacustres en la superficie marciana (Ori, 2000).

La sedimentación en los lagos profundos acumula detritos siliciclásticos de grano grueso en los bordes. La arena y grava pueden estar presentes en las terrazas y en los cuerpos deltaicos. Si el cuerpo de agua es lo suficientemente largo, la parte central de la sedimentación de la cuenca va a estar básicamente dominada por limo y otras partículas finas. La microbiota en los lagos profundo terrestres de la tierra, está ampliamente presente en las facies centrales de grano fino, tanto especies plantónicas como bentónicas. Grandes cantidades de (mats) de algas y bacterias pueden cubrir la parte marginal de grano grueso de las líneas de costa y de los deltas. Sin embargo los procesos de erosión, debido a la alta energía de la ola y a la acción fluvial pueden disminuir la posibilidad de que la biota quede preservada (Ori, 2000).

Los sedimentos carbonáceos en los depósitos lacustres son formados por: (i) carbonato precipitado inorgánicamente. (ii) carbonato biogénico generado por organismos residentes, y por (iii) detritos de carbonatos transportados por procesos físicos. La litología de los carbonatos es altamente variable debido a los ajustes climáticos y geológicos que producen litofacies únicas. En la mayoría de los casos, los sedimentos carbonáceos son margas formadas en las porciones más profundas de los lagos. El componente carbonáceo de las margas se debe a procesos autigénicos, mientras que el componente argilítico se debe al transporte físico desde el área fuente. Depósitos laminados y estratificados son muy comunes, especialmente en las partes más profundas donde está ausente el retrabajamiento hecho por corrientes. En los márgenes de los lagos, los estromatolitos y otras litologías producidas por las algas son comunes en ambientes templados o tropicales. Otros depósitos marginales consisten en margas, dolomita, micrita, y calizas oolíticas. Las calizas micríticas pueden precipitar con escaso cambios en los valores de Eh (potencial redox) y otras variables ambientales (Ori, 2000).

Los lagos secos en la Tierra son diferentes de aquellos de agua profunda, porque estos están secos la mayor parte del tiempo y pueden ser inundados ocasionalmente. Lo interesante de estos lagos son los depósitos que están asociados a estos, que son en su mayoría minerales evaporíticos tales como carbonatos, sulfatos u otras sales (ej. Caliza, anhidrita, yeso y halita). Los procesos más comunes de sedimentación son la química y la bioquímica y se relacionan directamente con los procesos evaporíticos. La evaporación puede ocurrir de dos maneras (i) evaporación directa del agua en superficie y (ii) evaporación de agua intersticial cercana a la superficie (bombeo evaporítico). En el primer caso el agua se evapora dejando una cubierta de sales en la interface sedimentaria. El segundo tipo de evaporación es debido a un clima extremadamente seco y caliente

que permite que el agua contenida en la roca o en los poros del sedimento se evapore y forme nódulos o costras con una composición que depende del contenido de sal del agua parental. El potencial exobiológico de estas facies es enorme porque estos procesos formadores de minerales son de hecho bioquímicos y estos ambientes son ricos en colonias bacterianas, tales como (bacterial mats). Estos procesos evaporíticos son conocidos por mostrar superficies con alto albedo y muchos de ellos han sido observados en Marte. Hay una propuesta para un lago seco en Marte contenido en el cráter Wegener donde un material de alto albedo yace en las tierras bajas dejando un relieve (de bajo albedo) (Ori, 2000).

Otro tipo de carbonatos son los nódulos de micrita a microesparita de color claro llamados caliche. Son formados cuando la zona capilar de la zona superior del agua intersticial en el suelo está lo suficientemente cerca de la interface sedimentaria para ser afectada por la evaporación. Este proceso ocurre, por supuesto en depósitos continentales, y en climas secos y calientes. Estas pueden formarse en las zonas más proximales de las facies marginales o incluso en ambientes más tierra adentro donde el agua subsuperficial está presente a poca profundidad. Hay varios ejemplos de propuestas para cuencas evaporíticas, los más relevantes están en los cráteres Holden (26.5°S, 33.9°W, Troulevot (16.3°N, 13°W), y Wegener (64.3°S, 4°W) (Ori, 2000)

Los depósitos lacustres están entre los mejores candidatos para albergar vida en Marte. La cantidad de biota en estos ambientes es amplia y su potencial de preservación es bueno. Los organismos vivos pueden estar presentes en la interface sedimentaria ya sea en aguas profundas o en áreas marginales en la columna de agua como formas planctónicas. Los microorganismos planctónicos pueden concurrir con la depositación de carbonatos profundos. Las calizas consisten en calcita microcristalina (micrita) que puede precipitar por sobresaturación. Sin embargo los materiales esqueléticos de la vida planctónica pueden ser preservados en los depósitos calcáreos. Si los materiales esqueléticos están hechos de sílice, en vez de calcita, el chert puede ser formado a lo largo con calizas micríticas. En la Tierra, el chert es una litología eficiente para preservar las formas fósiles. Un estudio reciente de depósitos de estromatolitos ricos en carbonato de magnesio en Turquía han apuntado a la posibilidad de microbialitas de hidromagnesita como la composición mineral más probable para los depósitos evaporíticos antiguos de Marte. Las (bacterial mats), concentraciones bacterianas suspendidas en agua, algas, etc. Son las formas de vida que más probabilidad tienen de estar presentes en las facies marginales y centrales de los lagos secos. La depositación evaporítica puede ser facilitada por la presencia de materia orgánica que podría formar capas y lentes dentro de las evaporitas. Esta materia orgánica tiene un gran potencial de preservación porque muchas rocas evaporíticas muestran una muy baja porosidad y sellan la materia orgánica de los agentes oxidantes externos. Los lagos de aguas profundas pueden mostrar facies similares en los márgenes (Ori, 2000)

4. Problema considerado en este trabajo:

Un aspecto vital en la búsqueda de vida extraterrestre, ya sea en otros planetas o satélites naturales de nuestro sistema solar es determinar si una estructura o un fósil en un ambiente de depósito son de origen biológico o no (Noffke, 2010). Es igualmente importante determinar si las características litológicas (concentración de minerales y/o de elementos químicos) de las rocas tienen o no influencia sobre el crecimiento de un organismo, en particular si se trata de organismos unicelulares como las bacterias, ya que estas constituyen las formas de vida más primitivas y algunas de ellas son capaces de soportar condiciones ambientales extremas.

Las estrategias para la exploración exobiológica se concentran en misiones de aterrizaje que tienen una serie de instrumentos en el siguiente orden: (i) Instrumentos para detectar moléculas orgánicas o productos de desarrollo orgánico e (ii) imágenes de formas fósiles. El objetivo de esta búsqueda son bacterias, algas u otras formas básicas de vida que pueden estar presentes en sedimentos y en superficies rocosas, así como en fracturas y poros (ORI, 2000). El hecho de encontrar una relación directa entre el porcentaje de un mineral por ejemplo cuarzo y el número de unidades formadoras de colonias bacterianas en una sola litología puede servir para establecer análogos en planetas donde potencialmente puede haber vida. En otras palabras, si se puede afirmar que aquí en la Tierra sobre areniscas cuarzosas crecen preferencialmente más colonias bacterianas que en una caliza biomicrítica, entonces análogamente se podría tratar de buscar en otro planeta, como Marte, e identificar formas de vida (muy probablemente unicelulares) en estratos rocosos ricos en cuarzo, es decir se tendría un biomarcador.

5. Geología: base para la biología

Fuentes geológicas: Hay dos tipos de análogos terrestres, las formas de vida y los ambientes presentes en La Tierra que son similares a aquellos ambientes esperados en otros planetas. Por ejemplo, las *microbial mats* en un lago de la Antártida en la Tierra representan un ecosistema que potencialmente puede ocurrir en las regiones polares de Marte (Noffke, 2010).

Oxígeno: Una de las preguntas más intrigantes en la paleontología es ¿Cuándo evolucionaron las cianobacterias? Esta pregunta es muy importante ya que las cianobacterias son fotoautótrofas y producen

oxígeno. A lo largo del tiempo, las cianobacterias pudieron haber contribuido mucho a la acumulación de oxígeno en la atmósfera. Hay MISS (microbial induced sedimentary structures) espectacularmente bien preservadas en el río Wit Mfolozi en el supergrupo Pongola, su África, un registro que consta de hace 2,9 Ga, las cianobacterias podrían haber evolucionado a una alta diversidad. No obstante un organismo fotoautótrofo no necesariamente está ligado a la producción de oxígeno porque hay fotoautotrofia oxigenica y anoxigenica (Noffke, 2010).

Compuestos importantes para organismos vivos:

Hallar agua significa vida en todas partes, no solo aquí en La Tierra, las misiones de la NASA a otros planetas usan equipos con sensores remotos para reunir información sobre la presencia de agua. En Marte los sedimentos arenosos que fueron originalmente depositados bajo el agua son mucho más frecuentes que cualquier otro tipo de depósito marciano. Si la vida estuvo, o está presente en marte los depósitos arenosos tienen mayor probabilidad de contener MISS. Ciertamente, las exitosas misiones robóticas en Marte han encontrado depósitos arenosos acuáticos. Hay grandes posibilidades de que las estructuras sedimentarias biogénicas tales como los MISS² aparezcan en los depósitos de Marte (Noffke, 2010).

Biomarcadores: Una firma biológica (biosignature) es un término comúnmente utilizado para las señales de vida en otros planetas. No se conoce como es la vida en otros planetas, el problema es, entonces detectar vida incluso sin conocer específicamente lo que se está buscando. Los astrobiólogos han resuelto este dilema investigando las características (background) de un planeta. ¿Cuál es la firma común de la atmósfera, litosfera e hidrosfera? Tan pronto como estas características son mapeadas cualquier desviación local puede ser una señal de vida existente. La vida debe emplear una estructura física que permita mantener un gradiente químico diferente al ambiente inmediato en el que está contenida. Esta estructura y gradiente puede causar una desviación que la hace destacar de su ruido de fondo, es a esta desviación a lo que se le llama “biosignature”. La MISS son biofirmas formadas por los microorganismos en ambientes arenosos, es decir son uno de los objetivos para buscar vida en ambientes sedimentarios a nivel local. (Noffke, 2010)

6. Metodología

² MISS: (Microbially Induced Sedimentary Structures) son estructuras primarias que se levantan syndepositacionalmente de la interacción de biopelículas y de microbial mats con el sedimento en la dinámica de ambientes acuáticos siliciclasticos. Noffke (2010)

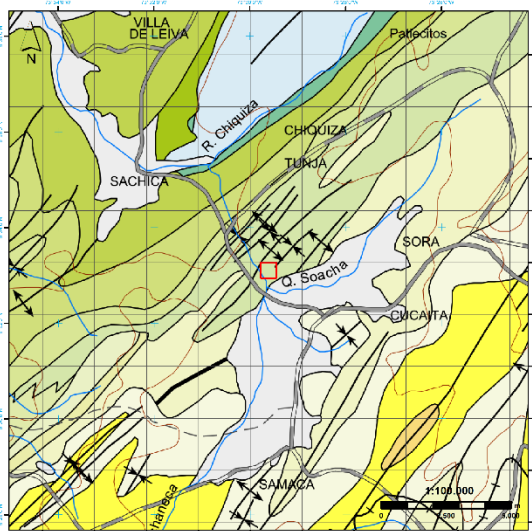
Planeación y preparación: Antes de realizar la salida de campo se consultó el trabajo realizado por (Etayo, 1968) donde hay una descripción detallada de la estratigrafía física de las Formaciones presentes en Villa de Leyva y por supuesto de la Formación Churuvita.

Ubicación de la zona de estudio:

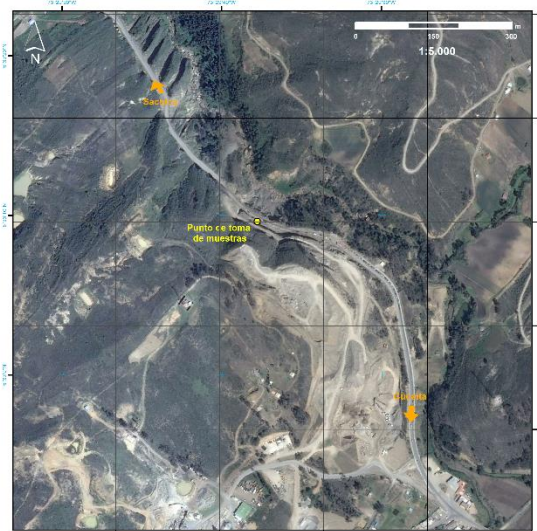
Zona de interés:

Para elegir la zona de trabajo se tomó en cuenta el trabajo de grado en microbiología efectuado por (Méndez & Vives, 2013) en el que se realizó una recolección de sedimentos en la zona semiárida de la Candelaria de Villa de Leyva (Colombia), para los cuales posteriormente se llevó a cabo procedimientos para el cultivo de bacterias, con hallazgos de bacterias que toleran radiación ultravioleta por una exposición de hasta 12 horas. Con base en este trabajo se decidió realizar nuevamente una recolección de muestras, esta vez fijándose en la litología de la roca y la Formación geológica de la cual se extrae el material para posteriormente realizar una caracterización geoquímica, petrográfica y un análisis microbiológico con el fin de establecer si hay una relación directa entre los minerales y elementos químicos de la roca, así como crecimiento de las colonias bacterianas de cada sustrato rocoso.

Tomas de muestras en campo:



Ubicación del punto donde se tomaron las muestras Coordenadas: 5°33.178'N; 73° 29.626'O. Mapa geológico



Zoom de imagen satelital del punto donde se tomaron las muestras. Coordenadas: 5°33.178'N; 73° 29.626'O

En la salida de campo realizada en Villa de Leyva entre el 28 y 30 de agosto de 2015, se realizaron las siguientes actividades: (i) Recolección muestras *in situ* de estratos rocosos de la Formación Churuvita con el fin de realizar una sección delgada (un shale, una arenita y caliza). (ii) Trituración de las rocas para conseguir un raspado con un cincel y con el martillo previamente esterilizado con alcohol. (iii) la roca triturada fue almacenada en frascos estériles para hacer crecer cultivos de bacterias con varias réplicas de cada una de las 3 litologías seleccionadas.

Descripción del afloramiento y ubicación de muestreo: El afloramiento tiene 30 m de alto aproximadamente y 1 km de largo con secuencias de calizas, shales y areniscas; las calizas miden 1,80 m aproximadamente los shales entre 33 y 1,23 m y las lodolitas entre 1 m y 1,1 m. Es de aclarar que este afloramiento fue abierto recientemente (menos de un año) gracias a la ampliación de la vía que conduce entre Tunja y Villa de Leyva. El afloramiento no tiene presencia de vegetación y recibe radiación solar aproximadamente por 8 horas, durante la mañana. Ver Anexo 1, mapa y fotos de campo



Figura 1. Capas de areniscas intercaladas con calizas y shales en el lugar exacto donde se extrajeron las muestras.
Rumbo N82°E/52°SE



Figura 2. En este punto hay un pliegue, una charnela de unos 45 grados y la secuencia se repite.

Esterilización de equipos: Antes de realizar la recolección de las muestras para los análisis microbiológicos el martillo y el cincel fueron esterilizados con el fin de no contaminar las muestras antes de su procesamiento.

Raspado de roca *in situ*: De las muestras de litologías JY-1, JY-2 y JY-3 se extrajo un raspado con un martillo y un cincel hasta pulverizar aproximadamente 10 gramos de roca, para de allí realizar un cultivo de bacterias. Se tomaron 3 muestras en cada litología y cada una de estas con 3 réplicas. En total 27

Almacenamiento de muestras en frío: Las muestras se almacenaron en una nevera portátil para conservarlas frías a 4°C aproximadamente en el trayecto hasta Bogotá, para luego hacerles el debido tratamiento.

Cultivo de microorganismos en laboratorio:

1. Método de series de dilución y siembra en placa para conteo de microorganismos

Se diluyó un gramo de roca en 9 mL de solución salina al 0.9% para obtener una dilución de 10^{-1} . Se llenaron 8 tubos eppendorf con 0.9 mL y partiendo de la dilución de 10^{-1} se transfirieron 0.1 mL de un tubo eppendorf a otro hasta lograr una dilución de 10^{-9} . Este procedimiento se llevó a cabo para las muestras JY1, JY2 y JY3.

2. Recuento de bacterias por gramo de muestra y siembra en placa:

Con el fin de reconocer la población de unidades formadoras de colonias de bacterias por mililitro (UFC/ml) presentes en un gramo de muestra se utilizó el conteo de células viables por el método de gota en placa, el cual consistió en sembrar en superficie las diluciones impares (-1, -3, -5, -7 y -9). Para cada una de estas diluciones se sembraron 0.02 mL en la superficie de una caja con agar nutritivo, permitiendo que las gotas se secaran por absorción del medio de cultivo (Valencia, 2004). Posteriormente las cajas se incubaron a una temperatura de 25 °C para mantener una temperatura de crecimiento similar a la reportada en el momento del muestreo (23°C). Este procedimiento se realizó por triplicado.

Para la siembra en placa se usaron cajas de Petri pequeñas (5 cm de diámetro) con agar nutritivo como medio de cultivo. Se sembraron 0.05 mL de cada muestra de las diluciones -5,-7 y -9; se homogeneizaron usando perlas de vidrio. Se incubaron a 25°C para mantener las condiciones ambientales del muestreo. Este procedimiento se realizó con el objetivo de obtener colonias bacterianas puras.

3. Selección de morfotipos y tinciones de Gram:

Una vez obtenidas las colonias puras se procedió a hacer la descripción macroscópica y microscópica de las colonias (Valencia, 2004)

Para la tinción de Gram se utilizó el protocolo estandarizado en el laboratorio de Ecología Microbiana de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, el cual consistió en tomar las colonias bacterianas y realizar un frotis con asa redonda y fijarlo en una lámina portaobjeto. Una vez se fijaron las láminas con las bacterias se procedió a realizar la tinción (Valencia, 2004), como se muestra a continuación:

Tabla 1. Compuestos que se utilizaron para la tinción del Gram y sus tiempos correspondientes

Compuestos Tinción de Gram	Tiempo
Cristal Violeta	1' 30"
Lugol	1' 30"
Alcohol-Acetona	30"
Fucsina	1'30"

Medición de pH: Con el fin de establecer si el pH actúa como inhibidor en el crecimiento de las bacterias, se tomó un gramo de roca de cada una de las tres litologías que posteriormente fue diluido en 50 mL de agua destilada. La mezcla se puso en agitación durante 24 horas para diluir al máximo la concentración de iones OH^- .

Elaboración y análisis de secciones delgadas:

Detalles de pulido y preparación: Para realizar las secciones delgadas cada una de las rocas pasó por el mismo proceso que consistió en: Efectuar cortes hasta dejar una pieza de unos 5 cm de largo, 2 cm de ancho y otros 2 de grosor, se pulió hasta dejar plana, se removieron los rayones de la pulidora con carburo de 600 y luego carburo de 1000, posteriormente se les colocó una resina de ámbar, y un vidrio petrográfico, se partieron por la mitad del grosor para dejar un testigo y se procedió a dejarlas del tamaño de 30 μm para dejar pasar la luz a través de la placa con el microscopio petrográfico. La limolita y la caliza fueron difíciles de finalizar debido a que en el momento bajarlos al tamaño de micras con el carburo de 1000 eran muy débiles y se corría el riesgo de perder la placa, por lo tanto requirieron de más tiempo y asesoría de un profesional.

Fluorescencia de rayos X para elementos mayores: Para realizar fluorescencia de rayos X, se seleccionaron partes de las muestras JY-1, JY-2 y JY-3 de 10 cm de largo, se lavaron con agua y con jabón y posteriormente fueron secadas al sol para eliminar la presencia de agua, debido a que esto puede alterar los resultados obtenidos.

Las tres muestras de roca fueron trituradas para convertirlas en polvo. La muestra de polvo fue secada a 105°C por un período de 12 horas. Posteriormente mezclada con cera espectrométrica de la casa Merck en relación Muestra: Cera de 10:1; homogenizada por agitación, llevada a una prensa hidráulica a 120 kN por un minuto generando una pastilla prensada de 37mm de diámetro que medida en la aplicación **SEMIQ-2007**.

El análisis semicuantitativo se realizó con el software IQ, haciendo 11 barridos, con el fin de detectar todos los elementos presentes en la muestra, excluyendo H, C, Li, Be, B, N, O y los elementos transuránicos.

Se utilizó un espectrómetro de fluorescencia de rayos X, MAgixPro PW-2440 Philips equipado con un tubo de Rodio, con una potencia máxima de 4KW. Este equipo tiene una sensibilidad de 200ppm (0.02%) en la detección de elementos pesados metálicos.

La estabilidad del equipo es controlada diariamente mediante la medición de una muestra patrón.

7. Resultados

Resultados geológicos

1. PETROGRAFÍA:

Para clasificar las secciones delgadas se utilizó la clasificación de Dunham (*C. G. St. C Kendall, 2005 (After Dunham, 1962, AAPG Memoir 1)*) y la clasificación textural de sedimentos carbonatados de Folk (*C. G. St. C Kendall, 2005 (After Folk, 1959)*) para la muestra JY-1. Detalles de conteo en el Anexo 2.

La muestra JY-1 según la clasificación de Dunham, tiene componentes originales no unidos orgánicamente durante el depósito, contiene lodo calcáreo tamaño limo fino, soportado por la matriz micrítica (54,27%) (ver anexo 2) y con más de 10% de aloquímicos (30,48%). De manera que en esta clasificación es una Wackstone.

De acuerdo con la clasificación de Folk JY-1 tiene más de 2/3 de matriz micrita (54,27%) del total de conteos. El porcentaje de alquímicos es (30,48%) así que está entre 10% y 50%, la roca se clasifica como una biomicrita dispersa.

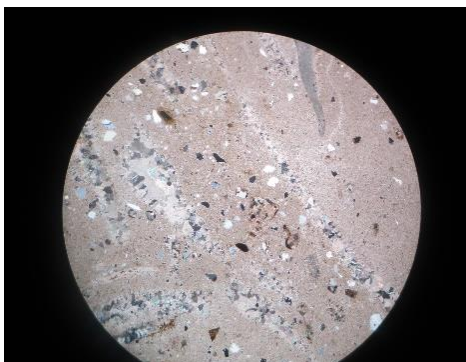


Figura 3. Foto de la sección delgada JY-1 en XPL, se ve la proporción de fósiles con respecto a al lodo calcáreo.

Figura 4. Foto de la sección delgada JY-1 en PPL, se pueden apreciar los fragmentos fosfatizados.

Para clasificar la sección delgada JY-2 se utilizó la clasificación de areniscas de Folk (1980), al normalizar se tiene más de un 95% de cuarzo (ver anexo 2), ya que no hay fragmentos líticos ni feldespatos, la roca se clasifica como una cuarzo arenita de grano muy fino. La roca tiene un 7,78% de matriz, por lo cual si se utiliza la clasificación de Pettijohn, la roca sigue siendo una cuarzo arenita.

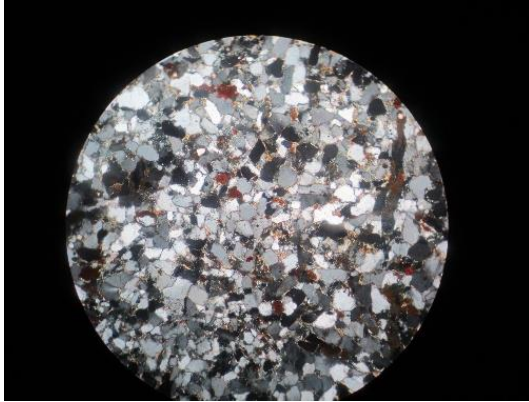


Figura 5. Foto de la sección delgada JY-2 en XPL, tomadas con aumento 20X en el microscopio Nikon.



Figura 6. Foto de la sección delgada JY-2 en PPL, la mayoría de granos son de cuarzo.

Para clasificar la sección delgada JY-3 se utilizó la clasificación textural de lodolitas, de acuerdo a esta clasificación la sección delgada JY-3 es una limolita fisil de grano grueso ya que la mayoría de sus partículas son de tamaño limo entre 0,011548 mm y 0,057738 mm. (Ver Anexo 2) Además tiene la característica de ser físil, de forma que se puede clasificar como un shale.

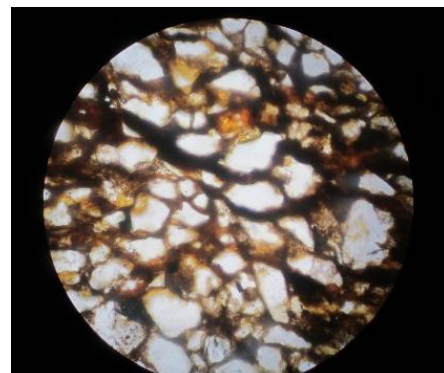
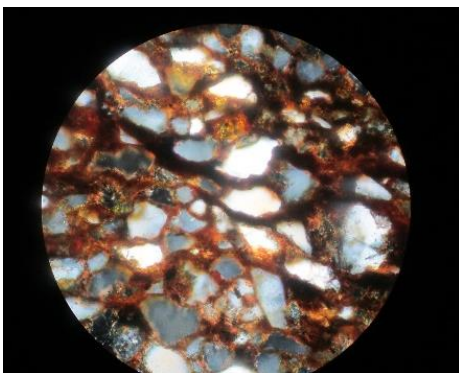


Figura 7. Foto de la sección delgada JY-3 en XPL, Figura 8. Foto de la sección delgada JY-3 en PPL, se tomadas con aumento 40X en el microscopio Nikon. aprecia muy bien la matriz

Granulometría (de forma visual)

El tamaño de grano de la sección delgada JY-2 varía entre 0,01504 mm y 0,16545 mm, con un promedio de 0,07629 mm, de acuerdo con la clasificación de tamaños de grano de (Nichols, 2009) este tamaño de grano corresponde a una arenita de grano muy fino.

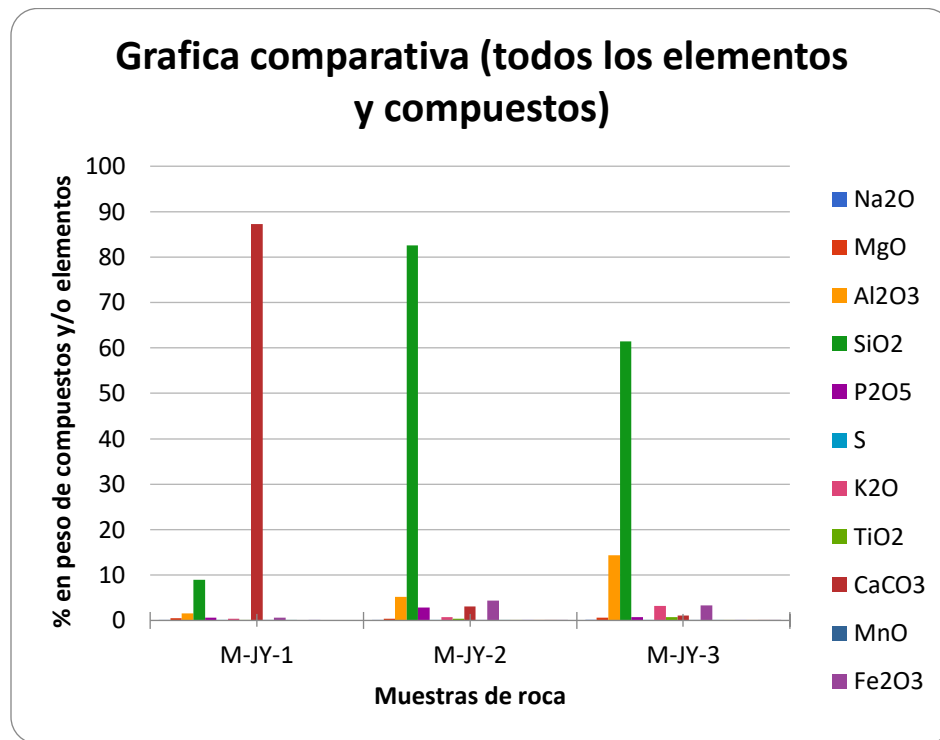
El tamaño de grano de la sección delgada JY-3 varía entre 0,011548 mm y 0,057738 mm con un promedio de 0,04522 mm lo cual corresponde de acuerdo a la clasificación de (Nichols, 2009) a una limolita de grano grueso. Ver Anexo 2, fotografías de secciones delgadas, gráficas y conteo de granos)

2. FLUORESCENCIA DE RAYOS X PARA ELEMENTOS MAYORES:

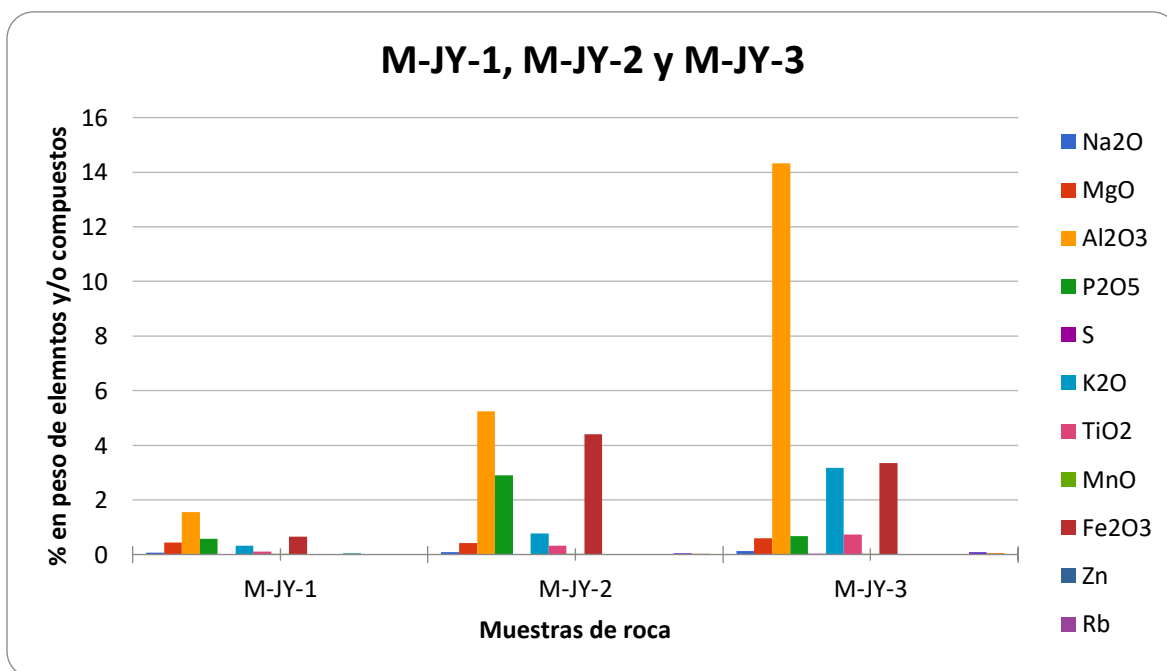
Anexo 3: Tabla con los elementos químicos de cada roca

Elementos mayores encontrados en el sustrato rocoso: El anexo 3 resume los elementos encontrados en las muestras de roca, sin embargo cabe resaltar que la biomicrita (JY-1) tiene un 87,288% en peso de CaCO_3 , asociado a la calcita como era de esperarse, la arenita de grano muy fino (JY-2) tiene un 82,612% en peso de SiO_2 , asociado al cuarzo, su mineral más abundante, y la limolita (JY-3) tiene 61,392% en peso de SiO_2 , asociado al cuarzo que es el mineral más abundante.

Es importante destacar que las 3 rocas comparten los siguientes elementos en diferentes proporciones (ver anexo 3): Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , S, K_2O , CaCO_3 , TiO_2 , MnO , Fe_2O_3 , Zn y Sr. Lo cual puede ser muy útil para hacer una comparación composicional con la cantidad obtenida de colonias bacterianas.



Gráfica 2. Muestra el porcentaje en peso comparativo entre las 3 litologías de compuestos y elementos.



Gráfica 3. Muestra el porcentaje en peso comparativo de todos los elementos, menos el CaCO3 y el SiO2

Resultados biológicos

1. Registro de colonias de microorganismos obtenidas

A partir de las 3 litologías se obtuvo un total de 27 réplicas obtenidas de cada una de las 3 litologías, para lo cual se estableció la siguiente nomenclatura, 001-009 son bacterias que crecieron del raspado de JY-1 (biomicrita), desde 010-018 corresponden a bacterias que crecieron del raspado de JY-2 (arenita de grano muy fino), y desde 019-027 corresponden a bacterias que crecieron del raspado de JY-3 (limolita físil).

Conteo de colonias bacterianas (Descripción detallada en Anexo 4, y fotos anexo 5)

Tabla 2. De las 27 muestras en total crecieron 144 morfotipos de colonias bacterianas de las cuales 43 corresponden a JY-1 (biomicrita), 49 corresponden a JY-2 (arenita de grano fino) y 52 corresponden a JY-3 (limolita)

	JY-1	JY-2	JY-3	Total
Conteo de Colonias	43	49	52	144

2. Resultados de tinción de Gram

A cada una de las colonias bacterianas se les realizó un frotis y una tinción de Gram con el fin de saber si son cocos o bacilos y si son Gram³ (+) o Gram (-). Para tener más detalle de fotografías de Gram ver anexo 6 y para descripción ver Anexo 4.

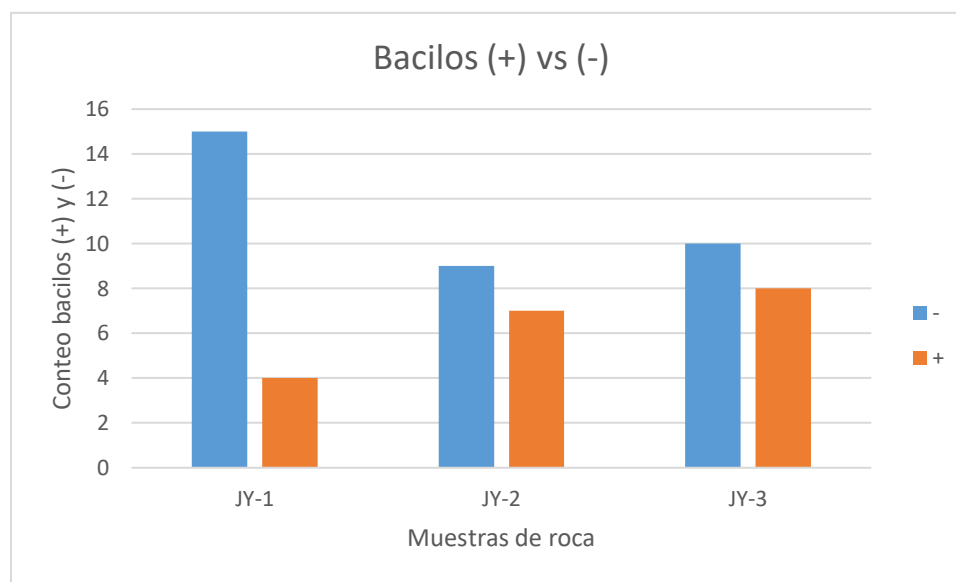
Tabla 3. Recuento de bacilos (+) y (-) de las tres litologías

Bacilos/Cocos		(Varios elementos)	
Bacilos			
Recuento de Bacilos/Cocos		Etiquetas de columna	
Etiquetas de fila		-	+
			Total general
JY-1	15	4	19

³ Gram (+): Se denominan bacterias Gram positivas a aquellas bacterias que se tiñen de azul oscuro o violeta por la tinción de Gram, tienen una membrana gruesa de peptidoglicano (responsable de la tinción) y solo una membrana lipídica.

Gram (-): Se denominan bacterias Gram negativas aquellas que no se tiñen de azul oscuro o de violeta por la tinción de Gram, y lo hacen de un color rosado tenue, tienen una membrana delgada de peptidoglicano y dos membranas lipídicas.

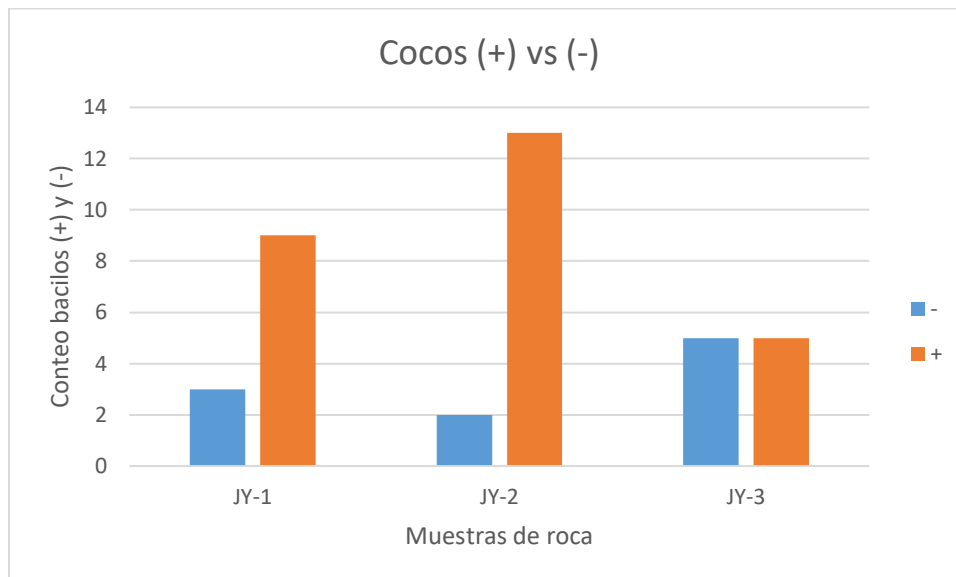
JY-2	9	7	16
JY-3	10	8	18
Total general	34	19	53



Gráfica 4. Comparación de proporción de bacilos Gram (+) y Gram (-).

Tabla 4. Recuento de cocos (+) y (-) de las tres litologías

Bacilos/Cocos	Cocos		
	Cocos		
Recuento de Bacilos/Cocos	Etiquetas de columna		Total general
Etiquetas de fila	-	+	
JY-1	3	9	12
JY-2	2	13	15
JY-3	5	5	10
Total general	10	27	37



Grafica 5. Comparación de cocos Gram (+) y Gram (-).

Bacilos/Cocos	Actino	
Cuenta de Bacilos/Cocos	Etiquetas de columna	
Etiquetas de fila	(en blanco)	Total general
JY-2	1	1
Total general	1	1

Tabla 5. Recuento de Actinos de las tres litologías.

En total crecieron 53 bacilos de los cuales 34 fueron Gram negativos y solo 19 fueron Gram positivos, crecieron 37 cocos de los cuales 27 fueron Gram positivos y 10 fueron Gram negativos. Solo un actino creció en la muestra JY-2. Es importante resaltar que no se pudo hacer Gram a todas las colonias bacterianas debido a que algunas crecieron dentro del agar y fue imposible realizar el frotis, otras era muy pequeñas y los múltiples intentos por realizar las réplicas no crecieron, debido a esto solo se le hizo Gram a 91 colonias bacterianas. De acuerdo a los resultados obtenidos también fue realizada una prueba de pH con el fin de establecer si este parámetro actuaba como inhibidor en el crecimiento de las bacterias. Los resultados mostraron que las tres litologías tenían pH entre 5.3 y 5.5.

8. Discusión de resultados

Los resultados generales de las tres muestras indican que no existe una gran diferencia en el tipo y cantidad de desarrollo de poblaciones de bacterias sobre los tres tipos litológicos; es decir que no existe una clara tendencia de preferencialidad para el crecimiento de bacterias de acuerdo al sustrato de roca. Las poblaciones bacterianas que se lograron desarrollar en el laboratorio sobre las muestras tomadas sobre la Formación Churuvita no presentan una correlación directa con las características mineralógicas o químicas de estos tres tipos litológicos (caliza biomicrítica, cuarzoarenita y limolita físil).

De acuerdo a lo expuesto en (Noffke, 2010) las biopelículas y microbial mats crecen preferentemente y con mayor espesor en zonas de baja actividad de olas, alta exposición subaérea y en arenas de grano fino compuesta de granos de cuarzo translucidos. La roca donde crecieron más cantidad de bacterias fue en la limolita (JY-3), situación que puede deberse a tiene disponibilidad tanto de silicio (SiO_2) como de alúmina (Al_2O_3). La roca en la que menos crecieron colonias bacterianas aunque con muy poca diferencia fue la biomicrita, lo cual podría asociarse a que esta es la roca con menos cuarzo 11,28%, (petrográficamente) y con un porcentaje en peso de SiO_2 de 8,9% (FRX), en comparación con la arenita de grano muy fino que tiene 80,69% de cuarzo (petrográficamente) y un porcentaje en peso de SiO_2 de 82,6% (FRX), y con la limolita que tiene 58,06% de cuarzo (petrográficamente) y 61,4% en peso de SiO_2 (FRX).

Es probable que la disponibilidad de sílice y alúmina pudiera tener alguna influencia en el desarrollo y crecimiento de estas bacterias, idea planteada originalmente por (Glesson, 2005) sugiriendo que la presencia y disponibilidad de los elementos mayores (Al, Si y Ca) tienen un impacto significativo en la estructura de algunas comunidades bacterianas. En este mismo documento (Glesson, 2005) indica a modo de ejemplo la presencia del “ribotipo número 960, encontrado solo en plagioclasas, lo cual lo correlaciona significativamente con aluminio y fósforo.” El hecho de que no haya una diferencia importante entre las tres litologías pudiera deberse a que mientras las poblaciones bacterianas asociadas a la biomicrita obtuvieron sus requerimientos básicos a partir del carbonato de calcio (87,3%) las desarrolladas sobre la arenita y la limolita (JY-2 y JY-3 respectivamente) lo obtuvieron principalmente a partir de la sílice (82% y 58% de cuarzo, respectivamente).

Ya que la biomicrita es la roca con más CaCO_3 , se esperaba que fuera allí donde crecieran más colonias bacterianas debido a que las bacterias pueden extraer su fuente de carbono del sustrato, contrario a lo esperado, se observó que fue la roca que tuvo menos crecimiento de bacterias. La prueba de pH se realizó para comprobar si las pocas colonias bacterianas que crecieron en la biomicrita crecieron en un pH alcalino, de acuerdo a Campos (2010) el CaCO_3 actúa como un inhibidor del crecimiento de organismos patógenos y aporta calcio a los cultivos. Con base en esto la hipótesis consistía en que si las bacterias crecieron en un medio alcalino, se

habría encontrado microorganismos alcalófilos. Pero los resultados arrojados mostraron que las tres litologías tienen un pH que varía entre 5.3 y 5.5, un pH ácido y por lo tanto no es un factor inhibidor para el crecimiento.

Parece existir una predominancia de bacilos a crecer en sustratos rocosos ya que de las 91 tinciones de Gram 53 tuvieron dicha morfología, solo fueron 37 cocos y 1 fue actinomiceto. (Ver tablas 3 y 4). La mayoría de los bacilos que crecieron en las tres litologías son Gram (-) es decir que tienen una membrana delgada de peptidoglicano, en contraste la mayoría de cocos que crecieron en el sustrato son Gram (+) es decir que tienen una membrana gruesa de peptidoglicano (ver gráficas 4 y 5). Sin embargo los datos son muy escasos para definir con claridad una tendencia.

Como el alcance de la presente investigación no fue establecer a nivel genérico o específico el tipo de bacterias no fue posible determinar de manera preliminar si hay algún género o especie bacteriana que tenga preferencia por una u otra litología o por algún tipo de mineral. Para tener certeza de cuáles son los géneros y especies relacionadas con las litologías se recomienda hacia futuro llevar a cabo un estudio molecular donde se identifique el gen 16 S y se lleve a cabo una secuenciación para comparar con cadenas de ADN conocidas y establecer las poblaciones a nivel de especie

9. Conclusiones

Con base en los resultados del experimento desarrollado en el laboratorio no se pudo correlacionar en forma clara un mineral o elemento químico con el crecimiento de colonias bacterianas en cada una de las muestras de roca tomadas en la secuencia de la Formación Churuvita. La codependencia del crecimiento de bacterias no sólo pudiera deberse a los minerales como fuente de alimento sino a la manera bioquímica como se disponen ellos en el ambiente o a contaminantes ambientales.

Por otro lado, con los escasos datos obtenidos de Gram no se puede decir con certeza si hay una litología en la que crezcan más cocos o bacilos en mayor proporción debido a que no se tienen los datos de las 144 colonias bacterianas. Si se puede decir en cambio que es muy posible que los bacilos Gram (-) tengan una preferencia en crecer en sustratos rocosos, también que los pocos cocos que crecieron en las tres litologías tienen una clara tendencia a ser Gram (+).

Los resultados de pH mostraron que las tres litologías tienen un pH ácido que varía entre 5.3 y 5.5, por lo tanto parece no ser un factor inhibidor para su crecimiento.

Para tener resultados que puedan apoyar alguna hipótesis y/o tendencia será necesario realizar nuevos trabajos en los que se recojan muestras estadísticamente representativas de la misma litología y de diferentes litologías y someterlos simultáneamente a los ensayos de laboratorio para que de esta manera obtener datos comparativos

y poder establecer si la litología influye de forma significativa en la cantidad de colonias bacterianas que allí pueden desarrollarse.

Otra alternativa para solucionar el problema de acuerdo con (Glesson, 2005)) es tomar muestras de un granito pegmatítico, aislar físicamente los minerales y de allí extraer los cultivos de las bacterias, de ese modo las colonias bacterianas que allí crezcan corresponderán a un solo tipo de bacterias que tendrán preferencia por ese único tipo de mineral (cuarzo, feldespado o plagioclasa).

Desde el punto de vista microbiológico es necesario terminar el proceso de caracterización bioquímica por medio del cual se puede determinar de manera preliminar si hay algún género o especie bacteriana que tenga preferencia por una u otra litología o por algún tipo de mineral. Para tener certeza de cuáles son los géneros y especies relacionadas con las litologías se recomienda efectuar finalmente la identificación molecular donde se identifique el gen 16 S y llevar a cabo una secuenciación para comparar con cadenas de ADN conocidas y establecer las poblaciones a nivel de especie.

Cabe anotar que este trabajo es un estudio preliminar de geobiología comparativa aplicada a la astrobiología en Colombia, y da lugar a nuevos trabajos en los que litologías de Colombia puedan considerarse como análogos planetarios en la búsqueda de vida en otros planetas o satélites del Sistema Solar.

10. Agradecimientos

Agradezco de manera especial a mi directora la profesora Nadejda Tchegliakova por su apoyo, interés, paciencia, sugerencias en el desarrollo de este trabajo y por ayudar a elegir la zona de muestreo, a la profesora Jimena Sánchez y a María Angélica Leal (directora y coordinadora de los grupos de Ecología Microbiana y Astrobiología de la Universidad Nacional de Colombia) por apoyar la idea, por sus acertadas sugerencias en microbiología y por brindar el espacio de trabajo necesario para desarrollar este proyecto, al profesor Carlos Sánchez por sus consejos y sugerencias en el momento de realizar la petrografía. Al Geólogo Vladimir Pérez por ayudar a seleccionar la zona de muestreo y por sus sugerencias. A los geólogos Fabián Saavedra y David Tovar por su interés y apoyo incondicional en mi trabajo, por dar la idea original y por sus excelentes aportes a lo largo del desarrollo del trabajo. A la microbióloga Yael Natalia Méndez por sus infinitos aportes como profesional en el procesamiento de muestras biológicas, además de increíbles sugerencias a la hora de escribir el documento, revisar bibliografía, discusión de resultados y conclusiones, sin su ayuda este proyecto no habría podido llevarse a cabo. A los estudiantes de biología David Ballesteros y Luisa Mejía por su dedicación y apoyo en el procesamiento de las muestras biológicas. A Armando Sánchez por enseñarme y asesorarme en la

realización de las secciones delgadas, a Elkin Ruiz por dar muy buenos aportes y enseñarme técnicas básicas de microbiología. Por último pero no menos importante agradezco a TODOS los integrantes del grupo de Ciencias Planetarias TITAN.

11. Bibliografía

1. CAMPOS, R (2010), Uso de Carbonato de Calcio para Incrementar la efectividad Biológica de Antibióticos Comerciales en el Control de la Mancha Bacteriana (*Xanthomonas versicatoria*) en jitomate bajo condiciones de invernadero. Tecno Agro No. 54 (revista en línea), Naucalpan de Juárez, Méx., México
2. ETAYO, F. (1968) El sistema cretáceo en la región de Villa de Leyva y zonas próximas, separada de la revista Geología Colombiana-No 5, páginas 5 a 74, Bogotá.
3. GLESSON, D, B. *et al.* (2005), Characterization of Bacterial Community Structure on a Weathered Pegmatitic Granite. *Microbial Ecology*, p. 526-534, Springer Science+Business Media, Inc. 2006, University College Dublin, Belfield, Dublin 4, Ireland
4. KONHAUSER, K. O. *et al.* (1994) Mineral Precipitation by Epilithic Biofilms in the Speed River, Ontario, Canada, p. 549-553 London, Ontario, Department of Earth Sciences, University of Western Ontario
5. Limestone: The Alamo Primer s.f. Peritidal Limestone: Limestone Deposition in Peritidal Environments [Imagen]. Recuperado el 22 de Agosto de 2015 de: <http://geology.isu.edu/Alamo/rocks/limestone.php>
6. MÉNDEZ, Y. & VIVES, M. (2013). Identificación de bacterias nativas del desierto de Candelaria y Tatocoa (Colombia), sometidas a una simulación de la radiación UV de Marte. Bogotá p. 1-38. Presentada en la Universidad de los Andes para obtener el título de Microbióloga Bogotá.
7. NASA Astrobiology Institute, 2006, Project 5. Life in Extreme Environments. Recuperado el 22 de Agosto de 2015 de: <https://astrobiology.nasa.gov/nai/reports/annual-reports/2006/ciw/project-5-life-in-extreme-environments/>
8. NICHOLS, G. (2009), *Sedimentology and stratigraphy*, Cap. 2 “Terrigenous clastic sediments: gravel, sand and mud”, p. 419, Wiley-Blackwell, United Kingdom
9. NOFFKE, N. (2010), *Geobiology: Microbial Mats in Sandy Deposits from the Archean Era to Today*, p. 194, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Alemania

10. ORI, G, G. *et al.* (2000), Martial Paleolacustrine Environments and Their Geological Constrains on Drilling Operations for Exobiological Research. R. Schulz. *Planetary and Space Science* 48, p.1027-1034.- PERGAMON- Universita' d' Annunzio, Pescara, Italy
11. Universidad de Granada, (Miercoles 18 de enero de 2012) Tema 4. Petrología: rocas sedimentarias. Recuperado el 18 de Octubre de 2015 de:
http://www.ugr.es/~agcasco/msecgeol/secciones/petro/pet_sed.htm