ORIGEN, FORMACIÓN y MINERALOGÍA de LOS SUELOS

Gabriel J. Montúfar Ch.

Maestría en Ingeniería Geotécnica – Campus Central – Universidad Tecnológica de Panamá

Resumen- Factores como el material parental y formadores biológicos además de agentes físicos y químicos como la exfoliación y el intercambio catiónico dan origen a los suelos y minerales. Identificar la estructura de los suelos sobre todo su composición mineralógica es fundamental ya que controla la forma, tamaño propiedades y comportamiento de los suelos. En la formación de minerales arcillosos intervienen mecanismos de herencia, neoformación y transformación asimismo su estructura y enlaces atómicos nos brindan información sobre el grupo de mineral arcilloso y sus propiedades. Dentro de la interacción química entre el suelo y el agua la teoría de la Doble Capa Difusa nos explica los mecanismos por los cuales las moléculas de agua se atraen a la superficie de la partícula de arcilla. Para conocer cómo se forma el suelo es necesario entender la influencia del transporte, erosión y deposición de sedimentos, así como sus cambios post deposicionales por ende se ahondará en estos conceptos y en los cambios físicos y químicos que ocurren durante la conversión del sedimento en roca sedimentaria.

Palabras claves- átomo, ciclo, diagénesis, dipolo, enlace, estructura, mineral, roca, sedimento y suelo.

Abstract– Factors such as parental material and biological formers as well as physical and chemical agents such as exfoliation and cation exchange give rise to soils and minerals. Identifying the structure of soils over all their mineralogical composition is fundamental as it controls the shape, size, properties and behavior of soils. In the formation of clay minerals, mechanisms of inheritance, neoformation and transformation also take place. Their structure and atomic bonds provide information on the clay mineral group and properties. Within the chemical interaction between soil and water, the Diffuse Double Layer theory explains the mechanisms by which water molecules are attracted to the surface of the clay particle. To know how the soil is formed it is necessary to understand the influence of transport, erosion and deposition of sediments, as well as post-depositional changes, therefore it will delve into these concepts and in the physical and chemical changes that occur during the sediment conversion into sedimentary rock.

Keywords– atom, cycle, diagenesis, dipole, bond, structure, mineral, rock, sediment and soil.

1. Introducción

Lo que motivó este artículo es profundizar sobre cómo se originó y formó el suelo y sus minerales ya que esto nos ayuda para el desarrollo de aplicaciones ingenieriles en beneficio de la humanidad, entendiéndose como suelo a la aglomeración de agregados minerales que se pueden dividir por procesos mecánicos o agua [1]. Para los ingenieros geotécnicos es imprescindible comprender el suelo, es decir conocer cuáles son sus propiedades ya que es fundamental para el diseño y construcción de una obra civil y sin este entendimiento estaríamos llenos de inseguridad e incertidumbre sobre los riesgos y circunstancias que afectan a las estructuras, por ende, una buena inspección visual, recolección de información climatológica, sísmica y geológica además de ensayos de laboratorio nos conducen a la elaboración de un estudio de suelo que nos de seguridad sobre nuestro trabajo y se traduzca en un diseño eficiente y económico.

Los objetivos son conocer los agentes y factores que dan origen a los suelos y minerales, comprender cómo la estructura atómica de los minerales que forman el suelo afecta sus propiedades y profundizar en la teoría de la doble capa difusa sobre la interacción suelo-agua.

De manera general el artículo trata sobre cuáles son los agentes que afectan tanto física como químicamente en la

* Autor correspondiente:
gabrielmontufar@hotmail.com

evolución del suelo, se analizan sus propiedades de manera individual y colectiva además de sus características geológicas. Es importante entender los mecanismos de formación de los minerales y cómo su estructura atómica altera sus propiedades. Se abordará la teoría de la doble capa difusa, que explica cómo se da la interacción química entre el agua y el suelo. Para conocer cómo se formó el suelo y sus propiedades es necesario tomar en cuenta los procesos de erosión, transporte y deposición. Por último, se analizará cómo se da la transformación de mineral arcilloso en roca y suelo a través de un conjunto de procesos conocido como diagénesis.

Estructura:

- Comportamiento, Geología y Formación de los Suelos
- Evolución de los Minerales Arcillosos
- Estructura y Tipos de Enlaces Atómicos de los Minerales
- Interacción Química Agua-Suelo Teoría de la Doble Capa Difusa
- Erosión, Transporte y Deposición
- Cambios Post Deposicionales en Sedimentos: Diagénesis

2. Cuerpo Principal

2.1. Comportamiento, Geología y Formación de Los Suelos

2.1.1 Comportamiento

Para analizar cómo actúa el suelo es necesario analizarlo individual y colectivamente, características primordiales de manera individual son la forma y el tamaño, y si nos referimos específicamente a las arcillas sería la composición mineralógica. De manera colectiva el conjunto de partículas presenta características principales como la densidad relativa si se trata de un suelo no cohesivo y la consistencia si es cohesivo.

El origen de los suelos debido a meteorización físico-química de las rocas puede ser residual o transportado, un suelo residual es aquel material proveniente de la roca que no ha sido transportado desde su ubicación inicial y conserva los planos de debilidad de la roca dentro de delimitadas profundidades [5], un suelo se considera transportado si es producto de la acción de factores de transporte que operan sobre la roca o el suelo original entre estos tenemos volcanes, ríos, viento y los glaciares, produciendo depósitos eólicos, aluviales y glaciares. Los suelos también pueden originarse mediante la descomposición de materia orgánica, estos son creados en sitio debido a la agrupación de esqueletos sólidos o trozos de animales.

2.1.2 Geología

Geológicamente la tierra se divide en corteza, manto (superior e inferior), núcleo (interno y externo) y su radio aproximado medido en el ecuador es de 6400 km. Una propiedad geológica importante es el gradiente geotérmico, que se define como el incremento de la temperatura con la profundidad [6]. Entre más grande sea el gradiente geotérmico el magma incrementará su velocidad de solidificación y producirá diminutas estructuras cristalinas debido a la falta de tiempo para que reaccionen los átomos. La tierra está compuesta por distintos elementos entre ellos los más abundantes son el oxígeno, silicio, aluminio y hierro “Figura 1”.

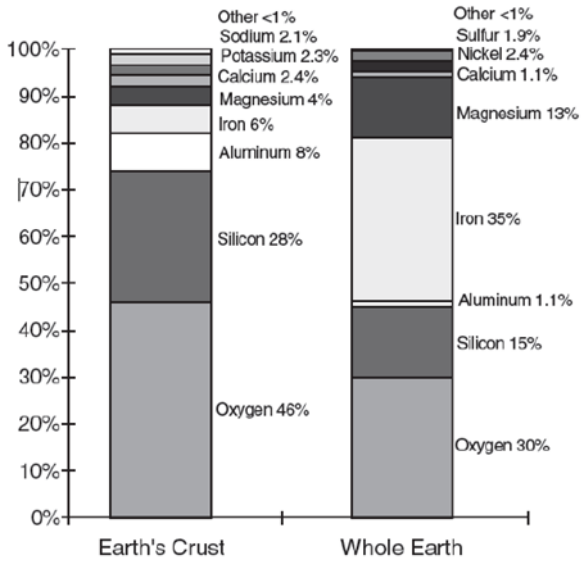

Figura 1. Composición de la tierra
Fuente: Mitchell and Soga (2005)

El ciclo geológico es un proceso continuo de transformación que comenzó hace miles de millones de años y consiste en cuatro fases que son remoción, deposición, formación de sedimentos y movimientos de la corteza “Figura 2” [1]

Figura 2. **Ciclo geológico simplificado**
Fuente: Mitchell and Soga (2005)

2.1.3 Formación

Es importante mencionar que las rocas al igual que los suelos están formados por unidades cristalinas pequeñas conocidas como minerales. Un mineral con estructura com-

plicada de romper forma un suelo de grano grueso (estable) pero otro mineral con estructura fácil de romper forma suelos de grano fino (más inestables).

Entre los principales factores que influyen en la formación de los suelos están:

-La materia que dio origen al suelo ya sea roca ígnea, sedimentaria o metamórfica.

-El agua que produce reacciones físico-químicas e induce el proceso de hidrólisis y carbonatación.

-El relieve ya que el agua también actúa sobre la topografía de la región

-El clima porque determina el color del suelo.

-La temperatura debido a que la relación entre la cantidad de arcilla en un suelo y la temperatura es directamente proporcional.

-El ser humano ya que construye y altera las condiciones naturales.

Los principales agentes que actúan sobre la formación de los suelos están divididos en dos grupos:

-Alteraciones físicas que producen la descomposición de las partículas sin cambiar su composición original, por ejemplo: erosión, exfoliación y alivio de cargas.

-Alteraciones químicas que producen la disminución de tamaño de las partículas y el cambio químico de la roca paterna, por ejemplo: oxidación e intercambio catiónico.

2.2. Evolución de los Minerales Arcillosos

Entre los procesos de formación de los minerales arcillosos por medio de meteorización tenemos a la herencia, en esta el mineral se creó por reacciones en alguna etapa del ciclo geológico y fue lo bastante estable como para conservar sus características iniciales. Otro proceso es la Neo -formación, en esta el mineral se formó gracias a reacciones entre otros minerales mediante solución o meteorización química y el último mecanismo de formación es la transformación, en esta el mineral se originó por medio de reacciones, pero conserva algunas propiedades iniciales.

La composición mineralógica del suelo es fundamental ya que establece la forma, tamaño y propiedades de las partículas. Los minerales se pueden clasificar en primarios y secundarios, se consideran primarios si conservan su estructura cristalina auténtica y son secundarios si se originan por medio de cambios entre minerales paternos [1].

2.3. Estructura y Tipos de Enlaces Atómicos de los Minerales

Es importante mencionar que la estructura elemental de gran parte de minerales son Tetraedro de Oxigeno-Sílica y Octaedro de Alumina-Hidroxilos “Figura 3”.

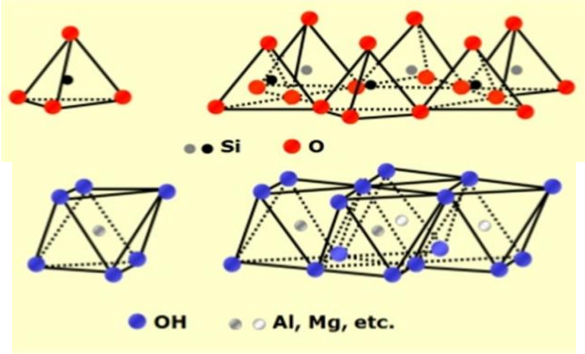

Figura 3. Estructura básica de la mayoría de los minerales.
Fuente: Facultad de Agronomía -UBA Lic. Silvana Torri (2015)

Los silicatos están formados por dos elementos silicio Si y oxígeno O, junto con otros elementos como aluminio Al, hierro Fe y magnesio Mg. Los silicatos son la base de varios minerales formados por un átomo de silicio tetraédricamente dispuesto a cuatro átomos de oxígeno produciendo el anión SiO44-.

Las arcillas se forman a partir de meteorización de feldepastos, micas y piroxenos, además se construyen a partir de láminas de tetraedro de sílice integrando una red hexagonal [7].

La estructura atómica de los minerales se forma a partir de enlaces primarios y secundarios, los enlaces primarios son los covalentes, iónicos y metálicos. Los enlaces covalentes se dan cuando dos o más átomos intercambian electrones de su último nivel orbital para lograr la estabilidad, los enlaces iónicos se originan por la atracción electrostática generada por iones con cargas eléctricamente opuestas y los enlaces metálicos son aquellos que se producen por atracción electrostática entre electrones y cationes localizados en metales y que son libres de desplazarse. Entre los enlaces secundarios tenemos a los enlaces de hidrógeno producto de la atracción del extremo positivo de un dipolo con el extremo negativo de una molécula cercana, los enlaces de potasio son de tipo químico y se dan por la unión de láminas tetraédricas continuas de minerales arcillosos ya que el potasio K encaja en el hexágono disponible. Un tipo de enlace secundario débil es la Fuerza de Van Der Walls, este se forma por atracción y repulsión de dipolos inducidos o moléculas.

Estructura de algunos minerales arcillosos:

- Caolinita: forma laminar de mayor espesor, consiste en capas continuas de láminas elementales de Sílice Gibbsita. Configuración 1:1 y separación basal de 7.2 Å (Å es la unidad de medida equivalente a la millonésima parte de un milímetro) “Figura 4”.

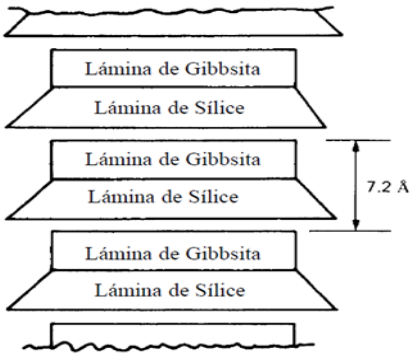

Figura 4. Formación de minerales – Caolinita

Fuente: Barrios, Deeyvid Oscar Sáez. 2017. Origen y Formación de los Suelos.

• Illita: forma laminar, constituida por una lámina de Gibbsita enlazada con dos láminas de Sílice. Configuración 2:1 y separación basal de 10 Å "Figura 5".

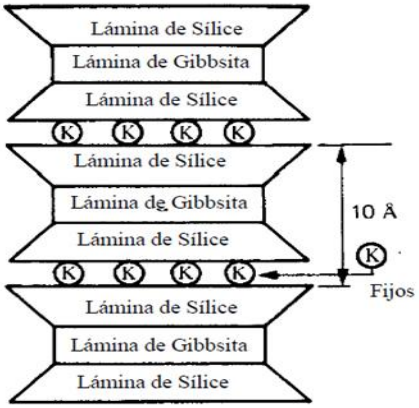

Figura 5. Formación de minerales – Illita

Fuente: Barrios, Deeyvid Oscar Sáez. 2017. Origen y Formación de los Suelos.

• Montmorillonita (smectita): forma laminar, tubular, alargadas, constituida de una lámina de Gibbsita enlazadas con dos láminas de Sílice. Configuración 2:1 y separación basal de 9.6 Å "Figura 6".

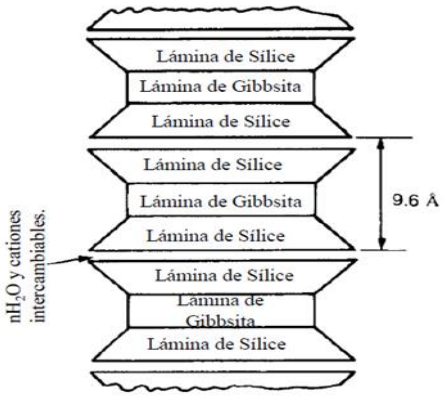

Figura 6. Formación de minerales – Montmorillonita

Fuente: Barrios, Deeyvid Oscar Sáez. 2017. Origen y Formación de los Suelos.

2.4. Interacción Química Agua-Suelo Teoría de la Doble Capa Difusa

Para la ingeniería el agua se clasifica en intersticial (agua de poros) y agua absorbida, el agua intersticial es aquella que no se afecta por las interacciones inter-particulares, mientras que el agua absorbida es la que sí es afectada por este tipo de interacciones.

La teoría de la doble capa difusa (iónica) se refiera a la interfase sólido-líquido y menciona una primera capa donde se encuentra la carga en la superficie de la arcilla y una segunda capa que corresponde a la capa difusa de iones adyacentes a la superficie de arcilla que neutraliza sus cargas negativas.

Entre las fuerzas que actúan sobre la doble campa difusa tenemos la fuerza de atracción electrostática que es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre la arcilla y los cationes, la fuerza de repulsión electrostática y la fuerza de difusión que es la que iguala la concentración en todos los puntos.

Existen varios modelos de la capa difusa entre estos el modelo de Helmholtz (1879), el de Gouy-Chapman (1910-1913 y el de Stern (1924).

-Modelo de Helmholtz: una capa de cargas en una superficie sólida y una capa rígida de iones de carga opuesta en la solución.

-Modelo de Gouy-Chapman: una capa de cargas en una superficie sólida y una capa difusa de iones con distribución estadística en la solución.

-Modelo de Stern: una capa de cargas en la superficie sólida y otra capa de contraiones formada por una subcapa de contraiones absorbida en forma rígida y una subcapa difusa de iones en solución [8].

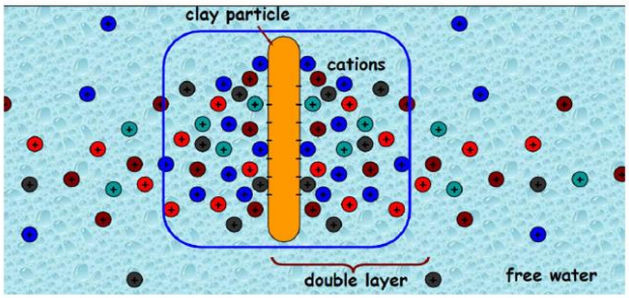

Figura 7. Doble Capa Difusa

Fuente: Barrios, Deeyvid Oscar Sáez. 2017. Origen y Formación de los Suelos.

2.5. Erosión, Transporte y Deposición

La erosión es el desgaste que ocasionado en la superficie de un cuerpo objeto de agentes externos (como el viento o el agua) o por la fricción continua de otros cuerpos. El transporte es el desplazamiento de los materiales erosionados en lugar específico para su posterior sedimentación en otro material diferente. La sedimentación es el último proceso de la morfogénesis y se basa en la acumulación de materiales luego de haber sido erosionados y transportados.

La erosión consiste en la eliminación física o química de suelos, aluviones, coluviones, sedimentos o materiales no consolidados. Se diferencia de la meteorización porque esta es estática, es decir la erosión implica un transporte.

La erosión del suelo la provocan principalmente factores como las corrientes de agua y de aire, en particular en terrenos secos y sin vegetación, además el hielo entre otros. La erosión del suelo reduce su fertilidad porque provoca la

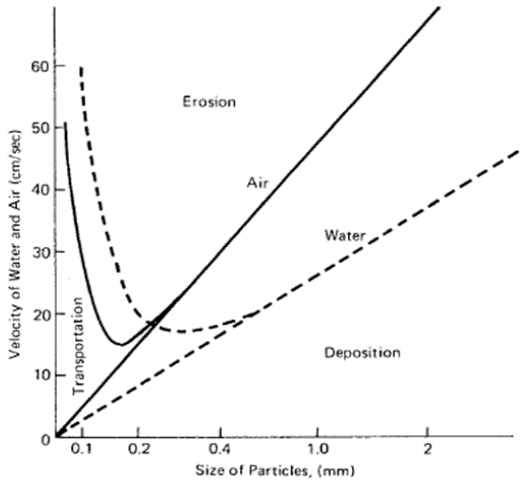

Figura 8. Comparación de las curvas de erosión y transporte para aire y flujo de agua. El aire es un agente erosivo un poco más efectivo que las corrientes de agua para las partículas muy pequeñas, pero es inefectivo para las partículas más grandes que las arenas.

Fuente: Mitchell and Soga (2005)

Si el transporte de sedimentos se da por agua puede afectar el tamaño de los sedimentos reduciéndolo por solución, por abrasión en carga suspendida y por alguna abrasión e impacto en carga de tracción. Otro efecto del agua es sobre la forma y redondez ya que ocasiona el redondeo de las arenas y gravas, y sobre la textura de la superficie el agua suaviza y pule las arenas y no tiene mucho efecto sobre el limo. El transporte de sedimentos por aire también causa una reducción considerable de tamaño de partículas, gran grado de redondez y una superficie escarchada. El transporte por medio de hielo (glaciares) genera un impacto y pulverización considerable, formas angulares y superficies dañadas. Si el transporte se da por gravedad entonces el efecto sobre el tamaño es considerable, la forma que le da a las partículas de sedimentos es angular y no esférica, además produce una superficie dañada. [4]

La sedimentación consiste en el agrupar materiales erosionados y transportados. Las propiedades de los depósitos dependen del origen del agente de transporte. Por ejemplo, si es a través de los ríos, mares o viento el material se deposita cuando el desplazamiento en el medio disminuye por debajo de la velocidad de deposición de la carga. En el caso del hielo la deposición se origina cuando encuentra un obstáculo o cuando la masa de hielo alcanza su máxima extensión [9].

2.6. Cambios Post deposicionales de Sedimentos: Diagénesis

La diagénesis es una variedad de procesos que llevan a los sedimentos a formar roca sedimentaria. De acuerdo con el tipo de sedimento pueden formarse rocas detríticas, es decir aquellas originadas de acumulación de fragmentos de rocas meteorizadas y erosionadas o pueden formarse rocas no detríticas es decir a partir de sustancias disueltas en agua y constituidas por restos de organismos [10].

Posiblemente hay 3 requisitos que se deben cumplir para que la diagénesis en un mineral arcilloso se dé, el primer requisito es que haya suficientes elementos como potasio, magnesio, aluminio y silicio. Esto se puede comprobar en Arizona específicamente en Blue Mesa donde la Illita azul "Figura 9" solamente se formó en los lugares done el potasio estaba disponible.

Figura 9. Mineral arcilloso conocido como Illita azul.

Fuente: Athinarom.gr, 2017

El segundo requisito es que el ion que se combine debe estar acompañado de energía de suficiente intensidad para activar la reacción. La energía podría ser química (enlace atómico fuerte), mecánica (alta presión) o térmica (alta temperatura). El tercer requisito sería el tiempo geológico, el paso de un largo periodo de tiempo puede que no sea necesario siempre, pero hay ocasiones en que es una característica de ciertos sistemas geológicos y podría ser un requerimiento especial en ciertos casos [3].

Las arcillas depositadas en un ambiente sedimentario como lo sería una cuenca son enterradas, calentadas y gradualmente ingresan en el ambiente diagenético. Una reacción importante que ocurre en las lutitas formadas a partir de lodos que originalmente contenían Montmorillonita es la conversión gradual de Montmorillonita en capas mixtas de Illita- Montmorillonita con incremento en profundidad de entierro y temperatura. Según Perry y Hower (1970) un ejemplo sería en la costa del golfo en Estados Unidos cuando la temperatura alcanza los 60ºC [2]. Según Hower generalmente la reacción es

K-Feldepastos + Montmorillonita → I-S + Cloro + Cuarzo (1)

3. Conclusiones

El origen de los suelos son las rocas y su formación es producto de procesos en los que el material que los conforma se transforma, es decir la meteorización. En la meteorización

la roca sufre desintegración y descomposición producto de factores como el agua, el clima, el aire o el tiempo. Los minerales son sustancias naturales, sólidos e inorgánicos que poseen una estructura cristalina y que se forman como resultado de procesos geológicos. Los minerales arcillosos son muy abundantes y forman la matriz general del suelo, estos minerales pueden ser muy variados, por ejemplo: la Illita, Caolinita y Montmorillonita, cada uno se forma en condiciones climáticas específicas y por sus características le dan al suelo propiedades mecánicas distintas.

Para explicar la interacción agua-suelo surgió la teoría de la doble capa difusa, el termino doble capa difusa describe la superficie de la partícula cargada negativamente y la capa dispersa de cationes, las características de esta capa son que es una capa delgada de agua fuertemente enlazada y viscosa, además la cantidad de cationes es inversamente proporcional a la distancia entre los cationes y la partícula de arcilla.

Los procesos sedimentarios son aquellos que producen, mueven, depositan y acumulan sedimentos y que intervienen en la formación de las rocas sedimentarias. Forman parte del ciclo sedimentario y ocurren sobre la superficie terrestre o a poca profundidad bajo la superficie terrestre.

La diagénesis son procesos que alteran a un sedimento cuando está sobre o cerca de la superficie terrestre. Las alteraciones como resultado de los movimientos de la Tierra y del aumento de la presión, son de carácter metamórfico; sin embargo, los cambios diagenéticos pasan paulatinamente a ser metamórficos.

REFERENCIAS

[1] Barrios, Deeyvid Oscar Sáez. 2017. Origen y Formación De Los Suelos. Mineralogía De Los Suelos. Panamá, 2017.

[2] Clay Mineral Formation and Transformation in Rocks and Soils Eberl, D.D. 1984. Denver Colorado: Phil. Trans. R. Soc. Lond, 1984. 80225.

[3] Diagenesis in Clay Minerals --- a Review. Keller, W. D. Missoury, Columbia

[4] Soga, Mitchell and. 2005. Soil Formation. [aut. libro] John Wiley & Sons. 2005.

[5] Beatriz, Cabrera Rivera y Tamara. Características geotécnicas de los suelos residuales del batolito de la Cordillera de la Costa. Tesis Pregrado. 2007.

[6] Diccionario de Ciencias de la Tierra. España: Complutense, 2000.

[7] Torri, Silvana. slideshare.net. [En línea] 10 de marzo de 2015. [Citado el: 11 de septiembre de 2017.] https://es.slideshare.net/Shvana/unidad-1a-45676959.

[8] Jorge, Nelly Lidia. slideplayer.es. [En línea] 2016. [Citado el: 9 de septiembre de 2017.] http://slideplayer.es/slide/10258333/.

[9] Erosión, Transporte y Sedimentación. María, Blog de. 2011.

[10] Hernández, Alberto. slideshare.net. [En línea] 24 de julio de 2010. [Citado el: 12 de septiembre de 2017.] https://es.slideshare.net/Alberkar/los-procesos-geolgicos-externos-y-el-reliieve-2008-9.