

QUÍMICA AMBIENTAL

CON ESTUDIOS DE SUELOS

Remilton Agustín Ramírez Reyes
Ynés Eliza Zambrano Demera
César Alejandro Martínez Aguirre
Alfredo Javier Plua Marcillo
Leonardo Antonio Plua Marcillo
Ana de las Mercedes Grijalva Endara
Ronald Javier Plúas Mora
Lucila Estefanía Quezadan Tobar



Química Ambiental con estudios de suelos

© Autores

Remilton Agustín Ramírez-Reyes
Docente de la Universidad de Guayaquil
Guayaquil, Guayas, Ecuador

Ynés Eliza Zambrano-Demera
Docente de la Universidad de Guayaquil
Guayaquil, Guayas, Ecuador

César Alejandro Martínez-Aguirre
Docente de la Universidad de Guayaquil
Guayaquil, Guayas, Ecuador

Alfredo Javier Plua-Marcillo
Docente de la Universidad de Guayaquil
Guayaquil, Guayas, Ecuador

Leonardo Antonio Plua-Marcillo
Docente de la Universidad de Guayaquil
Guayaquil, Guayas, Ecuador

Ana de las Mercedes Grijalva-Endara
Docente de la Universidad de Guayaquil
Guayaquil, Guayas, Ecuador

Ronald Javier Plúas-Mora
Docente de la Universidad de Guayaquil
Guayaquil, Guayas, Ecuador

Lucila Estefanía Quezada-Tobar
Docente de la Universidad de Guayaquil
Guayaquil, Guayas, Ecuador

Casa Editora del Polo - CASEDELPO CIA. LTDA.
Departamento de Edición

Editado y distribuido por:

Editorial: Casa Editora del Polo
Sello Editorial: 978-9942-816
Manta, Manabí, Ecuador. 2019
Teléfono: (05) 6051775 / 0991871420
Web: www.casedelpo.com
ISBN: 978-9942-816-44-3
DOI: <https://doi.org/10.23857/978-9942-816-44-3>

© Primera edición
© Octubre - 2020
Impreso en Ecuador

Revisión, Ortografía y Redacción:
Lic. Jessica Mero Vélez

Diseño de Portada:
Michael Josué Suárez-Espinar

Diagramación:
Ing. Edwin Alejandro Delgado-Veliz

Director Editorial:
Dra. Tibusay Milene Lamus-García

Todos los libros publicados por la Casa Editora del Polo, son sometidos previamente a un proceso de evaluación realizado por árbitros calificados. Este es un libro digital y físico, destinado únicamente al uso personal y colectivo en trabajos académicos de investigación, docencia y difusión del Conocimiento, donde se debe brindar crédito de manera adecuada a los autores.

© **Reservados todos los derechos.** Queda estrictamente prohibida, sin la autorización expresa de los autores, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción parcial o total de este contenido, por cualquier medio o procedimiento, parcial o total de este contenido, por cualquier medio o procedimiento.

Comité Científico Académico

Dr. Lucio Noriero-Escalante
Universidad Autónoma de Chapingo, México

Dra. Yorkanda Masó-Dominico
Instituto Tecnológico de la Construcción, México

Dr. Juan Pedro Machado-Castillo
Universidad de Granma, Bayamo. M.N. Cuba

Dra. Fanny Miriam Sanabria-Boudri
Universidad Nacional Enrique Guzmán y Valle, Perú

Dra. Jennifer Quintero-Medina
Universidad Privada Dr. Rafael Beloso Chacín, Venezuela

Dr. Félix Colina-Ysea
Universidad SISE. Lima, Perú

Dr. Reinaldo Velasco
Universidad Bolivariana de Venezuela, Venezuela

Dra. Lenys Piña-Ferrer
Universidad Rafael Beloso Chacín, Maracaibo, Venezuela

Constancia de Arbitraje

La Casa Editora del Polo, hace constar que este libro proviene de una investigación realizada por los autores, siendo sometido a un arbitraje bajo el sistema de doble ciego (peer review), de contenido y forma por jurados especialistas. Además, se realizó una revisión del enfoque, paradigma y método investigativo; desde la matriz epistémica asumida por los autores, aplicándose las normas APA, Sexta Edición, proceso de anti plagio en línea Plagiarisma, garantizándose así la científicidad de la obra.

Comité Editorial

Abg. Néstor D. Suárez-Montes
Casa Editora del Polo (CASEDELPO)

Dra. Juana Cecilia-Ojeda
Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela

Dra. Maritza Berenguer-Gouarnaluses
Universidad Santiago de Cuba, Santiago de Cuba, Cuba

Dr. Víctor Reinaldo Jama-Zambrano
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ext. Chone

Contenido

PRÓLOGO.....	15
PREÁMBULO.....	17
INTRODUCCIÓN.....	19
CAPITULO I	
MEDIO AMBIENTE.....	21
Química ambiental.....	23
Química de la atmósfera.....	24
Química de la hidrosfera.....	25
Química edáfica o química del suelo.....	25
Química de la biosfera.....	26
El ambiente.....	26
La salud ambiental.....	29
La Tierra y su estructura	31
Biosfera	32
Los límites de la biosfera.....	34
Estructura de la biosfera.....	36
Principales características de la biosfera.....	37
Mecanismos de sostenibilidad de la biosfera.....	38
Atmósfera	38
Capas de la atmósfera.....	39
Origen de la atmósfera.....	41
Composición de la atmósfera	42
Hidrosfera.....	42
Características de la hidrosfera	44

CAPITULO II
GEOSFERA.....49

Concepto de Geosfera.....51
Corteza terrestre.....52
El Suelo53
Génesis de los suelos o Pedogénesis.....54
Factores que intervienen en la formación del suelo54
Estructura del suelo58
Origen e importancia de la estructura del suelo.....59
Perfil del suelo.....61
Los horizontes y capas maestros del suelo.....62
Propiedades físicas del suelo66
Composición volumétrica del suelo.....68

CAPITULO III
QUÍMICA AMBIENTAL DE LA GEOSFERA.....69

Química de Suelos.....71
Composición química del suelo.....71
Mineralogía de los suelos.....71
Los oxihidróxidos o hidróxidos.....76
Composición de la materia orgánica de los suelos.....77
Transformación de los materiales orgánicos.....79
Características químicas.....88

CAPITULO IV
REMEDIACIÓN QUÍMICA DE LOS SUELOS.....99

Técnicas de remediación.....101
Objetivos de la Remediación de los Suelos.....102
Factores que inciden en la eficiencia de un proceso de remediación.....102

Clasificación de Tecnologías de Remediación de los Suelos.....104
Clasificación de Tecnologías de Remediación según su grado de desarrollo.....106
Fotocatálisis heterogénea108
La solarización.....108

CAPITULO V
INSTRUMENTOS INTERNACIONALES A FAVOR DEL MEDIO AMBIENTE.....109

Antecedentes Históricos.....111
Indagando los orígenes del derecho ambiental.....112
El Derecho Ambiental Internacional: Esquema de su evolución.....113
Declaración de Estocolmo sobre el medio ambiente humano.....115
Época Moderna Contemporánea.....129

Bibliografías.....135

PRÓLOGO

El material que nos ocupa forma parte de una iniciativa impulsada por el interés manifiesto del autor, por considerar los aspectos ambientales relacionados con la química del suelo, lo que supone una forma proactiva de implicarse de manera responsable y con ello contribuir con la ampliación del conocimiento en esta área del saber.

En este sentido, la tierra y con ella el suelo es el soporte de todas las formas de vida y base del desarrollo de las sociedades humanas. En su conjunto, la tierra útil para dichos propósitos es un espacio finito y compartido con otras especies. Con el crecimiento de la población humana y la urbanización, la tierra pasó de ser un bien común de acceso libre a convertirse en un recurso limitado y un bien económico escaso. Hoy, la sociedad no solo está abocada a utilizar y compartir la misma tierra sino a afrontar la degradación de ésta no solo por la actividad humana sino por la propia dinámica de la naturaleza.

En tal sentido, en el libro y por tanto su autor en su preocupación por esta área de la química, específicamente la química ambiental, hace énfasis en su desarrollo sobre las acciones antropogénicas sobre los desiertos, eriales y tierras, las cuales han venido incrementándose en su. Perdurar en un mundo habitable, implica un compromiso y una responsabilidad ética de todos los habitantes del planeta: cuidar la Tierra. Cuidarla no solo por un interés utilitario, productivo y económico, sino porque ésta hace parte de nuestra comunidad moral.

Quizá uno de los temas que actualmente ha llamado la atención de diversos actores sociales, políticos y gubernamentales sea la cuestión ambiental. Tratar sobre el cuidado del ambiente, específicamente el suelo, tiene hoy defensores. Cuestiones como la protección de áreas naturales, el calentamiento global, la contaminación ambiental o el derecho de cualquier individuo a gozar de un ambiente sano, están a la orden del día.

Este recorrido que se lleva a cabo y que se presentan en este material científico además de describir los aspectos químicos del suelo, busca así, construir la visión humanística que debe guiar a la ciencia del suelo en el futuro. Al igual que en la medicina, la conservación de los suelos se ha orientado a la recuperación y restauración de los suelos degradados, o literalmente lisiados. En nuestro concepto, el cuidado del suelo debe ser preventivo, igual que debería ser en la salud humana. No conocemos una teoría del cuidado de la tierra, ni de los suelos cultivados, pero sí avances teóricos y, sobre todo, técnicas para el uso, la conservación y la restauración de suelos.

Esperamos que el lector pueda, al igual que yo disfrutar del contenido que aquí se presenta y con ello ampliar esta área del conocimiento, sobre todo en la actualidad donde el suelo es la principal fuente de abastecimiento de alimentos

Lcda.Esp. MSc. Raquel Lamus
Investigadora

PREÁMBULO

Los suelos constituyen la clave para sostener la vida en la Tierra. Sus funciones son múltiples y de importancia capital. Son esenciales para la producción de alimentos, el desarrollo sostenible de las actividades agrícolas y de la seguridad alimentaria del planeta, así también, son vitales para el funcionamiento de los ecosistemas, ya que albergan una enorme diversidad de organismos de importancia fundamental para los procesos de las biosferas; asimismo, participan en la regulación de la emisión de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero. Por tanto, son muchas las razones a tener en cuenta para reconocer y valorar este recurso natural, como un componente central para el bienestar del ser humano.

Sin embargo, en los últimos años, el suelo en todas las regiones del planeta, se ha visto severamente amenazado por factores tales como, el crecimiento económico, el aumento demográfico y el cambio climático. Dado este contexto y reconociendo el compromiso que tenemos como profesionales del área de las ciencias naturales, se tomó la decisión de preparar este material que tiene como objetivo facilitar, a cada uno de nuestros lectores, información sencilla acerca de la química ambiental enfocada a la protección del suelo.

El texto está dirigido a profesionales, estudiantes y todo aquel interesado en el tema del cuidado del medio ambiente. Proporciona información relevante sobre las funciones cruciales y la salud general del suelo a nivel

mundial y regional y acerca de los protocolos y tratados relacionados con la protección de este valioso recurso.

El mensaje principal de esta obra es que a pesar del deterioro que manifiesta el suelo en algunas regiones del planeta, existe una causa para el optimismo, hay evidencia de que esta pérdida del recurso suelo y sus funciones pueden ser evitadas mediante el manejo sostenible de este recurso, utilizando conocimiento científico, enfoques y tecnologías probada.

INTRODUCCIÓN

Quizá no sea visualmente asombroso como un bosque verde ni aparezca tan vital como el agua dulce, pero el suelo, pese a su aspecto sencillo, es un recurso natural igual de esencial para sostener la vida en la Tierra.

Es importante considerar que el científico de suelos no afirma que este recurso es la única riqueza de las naciones, pero sí una de las más importantes. El edafólogo no pretende ordenar el territorio con un mapa de suelos, pero clama porque en esa materia y en la de planificación regional no se desconozca el mosaico edáfico con sus potencialidades y limitaciones, para no repetir los errores que se han cometido en el pasado.

Para ello se hace necesario el estudio adecuado del suelo, desde la perspectiva de la química ambiental donde los aportes extraordinarios de esta ciencia, puedan ponerse al servicio de las políticas públicas, las normativas nacionales en búsqueda de la conservación, de la implementación de técnicas que impulsen su cuidado y preservación.

En atención a lo planteado se organiza este material partiendo de un primer capítulo donde se describen conceptualizaciones importantes sobre la química ambiental y sus divisiones. Del mismo modo se describe los componentes de la tierra, atmósfera, hidrósfera y la geosfera, aspecto éste que se ampliará durante todo el resto del libro. En el segundo capítulo se describe la

geosfera , estructura, capas que conforman la tierra; características físicas del suelo, entre otros aspectos .

En el capítulo tres se aborda la química del suelo, conceptualización, propiedades químicas del suelo y la contaminación. En el capítulo cuatro se profundiza sobre las tecnologías de remediación, que incluyen las biológicas, térmicas y físico -químicas y en el último capítulo se hace un recorrido histórico en relación de los instrumentos internacionales a favor de la protección del Suelo.

Se ha tratado, en lo posible, de desarrollar el documento, con ilustraciones, tablas, esquemas que faciliten y se motive a conocer el recurso suelo; así mismo, se ha tratado de referenciar los suelos taxonómicamente, para que se familiarice con esta valiosa herramienta de síntesis y divulgación del conocimiento.

Entiéndase que este texto es, como una introducción a las áreas básicas de la Ciencia del Suelo; no se debe pretender, entonces, que sirva para resolver problemas especiales de suelos. En él se encontrará una disertación general que pretende dar al lector una primera plataforma de aproximación al conocimiento de los suelos y que busca, de manera especial, despertar su interés y motivarlo a profundizar en el estudio de esta maravillosa interfase que llamamos SUELO.

CAPITULO I

MEDIO AMBIENTE



Química ambiental

La química ambiental denominada también química medioambiental es la aplicación de la química al estudio de los problemas y la conservación del ambiente. Estudia los procesos químicos que tienen lugar en el medio ambiente global, o en alguna de sus partes: el suelo, los ríos y lagos, los océanos, la atmósfera, así como el impacto de las actividades humanas sobre nuestro entorno y la problemática que eso ocasiona. (Domènech, 1997). La química de la atmósfera, a medida que la comunidad internacional presta más atención a las tesis del ecologismo (con acuerdos internacionales como el protocolo de Kioto para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero), es una disciplina que ha ido cobrando cada vez más importancia.

Dentro de la Química ambiental, podríamos encontrar las siguientes divisiones, aunque es una materia en la que es difícil hacer separaciones rotundas, pues la mayoría de los ciclos biogeoquímicos afectan a algunas, o a todas, las partes:



Ilustración 1. División de la química ambiental
Fuente (Alejandrapia, 2016)

Química de la atmósfera

La Química de la atmósfera es una rama de las ciencias de la atmósfera en la que se estudian los procesos químicos que tienen lugar en la atmósfera de la Tierra y de otros planetas. Se caracteriza por la enorme dilución de las sustancias presentes en ella y por la influencia de las radiaciones presentes sobre dichas sustancias (Caldwell, 1993)

Química de la hidrosfera

Parte de la Química Ambiental que estudia la composición química del agua. La química de la hidrosfera está determinada por las características del agua como disolvente de gases, líquidos y sólidos; este poder disolvente es la causa de que en la naturaleza el agua no se encuentre en estado puro. En el agua se disuelven gases, sólidos cristalinos que se transforman en aniones y sustancias orgánicas con enlaces polares; también hay sustancias orgánicas muy grandes que no llegan a disolverse en el agua y permanecen en estado coloidal. Las aguas (especialmente las de los ríos) también tienen sustancias en suspensión procedentes de la erosión de las rocas y los suelos (Alejandrapia, 2016)

Química edáfica o química del suelo

Es la rama de la Ciencia del Suelo que se ocupa de las propiedades químicas, de los componentes y de las reacciones que ocurren dentro de los suelos. Según muchos autores la Química del Suelo surge de las observaciones en las que se ponía de manifiesto que los suelos modificaban la composición química de las disoluciones que pasaban a su través. (De Paula F., 2016)

Los objetivos de la química del suelo se centran en estudios sobre 1) los efectos de la lluvia ácida en los suelos y las aguas; 2) los efectos de los elementos traza de distinta procedencia (fertilizantes, composts,

biosólidos) que llegan al suelos y sus efectos sobre las aguas subterránea, la plantas, los microorganismos del suelo; 3) la especiación de los contaminantes en el suelo; 4) el transporte de nutrientes y contaminantes en las aguas superficiales y subterráneas; 5) la elucidación de la estructura del material húmico; 6) el secuestro de C; 7) el tiempo de residencia de los contaminantes en los suelo; 8) las transformaciones redox de los contaminantes; 9) aplicación de los distintos modelos de doble capa eléctrica y de adsorción a los contaminantes del suelo; 10) recuperación química, microbiológica y fitorecuperación (De Paula F. , 2016).

El avance en los estudios de Química del suelo, de Química coloidal del suelo y de Química medioambiental del suelo han sido posible gracias al avance de las técnicas y al avance de otras disciplinas: Química Física, Química Ana-lítica, Química Inorgánica, Química Orgánica, Bioquímica, etc. (De Paula F. , 2016).

Química de la biosfera

La Química de la biósfera es la rama de la química que estudia las capas de la Tierra donde existe la vida. En ella se agrupan todos los seres vivos que hay en el planeta y los lugares que en él ocupan. (EcuRed, 2018)

El ambiente

Las palabras “ambiente”, “medio ambiente” y “medio” poseen numerosos sentidos lingüísticos, pero, para estos fines concretos de salud ambiental se considera que son

sinónimos y, para simplificar, se empleará solamente “ambiente”. Antes de la aparición de los humanos, todo lo que existía en la Tierra (la suma de los ecosistemas del planeta) podía ser llamado “ambiente físico”, es decir el conjunto de componentes sólidos, líquidos y gaseosos (litosfera, hidrosfera y atmósfera) con los seres vivos que en ellos se desenvolvían (animales, plantas, hongos, protistos y virus).

Una vez que Homo sapiens pasó a formar parte consciente del ambiente físico, pudo considerarlo como la totalidad del mundo real animado e inanimado que lo rodeaba, incluidos los demás seres humanos. Nótese que, en la práctica actual, cuando se habla de “ambiente” lo usual es que se refiriera a “ambiente físico”, a menos que se especifique otra cosa, y que la expresión “ambiente natural” suela reservarse para el ambiente físico con exclusión de los humanos y sus obras.

Un sumario de lo anterior puede darse a través de la siguiente definición de “ambiente” que propone el autor (Ordóñez, 2000): “Ambiente es, para cada ser o grupo humano, la totalidad del mundo físico que lo rodea, incluidas las entidades vivientes, los demás seres o grupos humanos y sus interrelaciones”. Al estar la gente inmersa en el ambiente surgirán casi inevitablemente una serie de situaciones de interacción que traen consigo la necesidad de manejar y resolver una multitud de “problemas ambientales”.

Según (Marino, 2009) seres desarrollan su vida en un espacio físico rodeado por otros organismos y el medio físico y socioeconómico. Los factores bióticos y abióticos interactúan entre sí generando un lugar propio y dicho espacio se denomina ambiente. La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente en Estocolmo (1972) lo define como: “Medio ambiente es el conjunto de componentes físicos, químicos, biológicos y sociales capaces de causar efectos directos o indirectos, en un plazo corto o largo, sobre los seres vivos y las actividades humanas”, citado en el libro “Agenda 21” de Foy (1998).

En términos macroscópicos se suele considerar al medioambiente como un sector, una región o un todo (escala global). En cada uno de esos niveles o alcances de estudio hay una interacción entre los factores anteriormente mencionados, especialmente del aire, del agua o del suelo como agentes abióticos y de toda una gran variedad de organismos animales y vegetales, con distinto nivel de organización celular, como integrantes del mundo biótico (Marino, 2009)

Las últimas investigaciones han venido haciendo énfasis en la existencia de una clasificación de compartimentos ambientales o esferas ambientales, que interactúan entre sí experimentando intercambios continuos de materia y energía (Thiller, 2007). Tradicionalmente se ha considerado al agua, al aire, a la tierra y a la vida, es decir, a la Hidrósfera, a la Atmósfera, la Geósfera y la Biósfera, donde se tenía a la actividad humana como una

actividad de perturbación permanente en las distintas esferas. Actualmente se ha incluido una quinta esfera denominada Antropósfera (Manahan, 2007), la que involucra a todos los seres humanos y las actividades relacionadas con su desarrollo y supervivencia. Esta visión moderna promueve al hombre como parte del medio ambiente, además de incentivar a que las acciones ejecutadas por él, no sólo minimicen el daño hacia el resto de las esferas, sino también que se puedan ejercer acciones beneficiosas para todo el planeta.

En este contexto han surgido ramas de la ciencia dedicadas a estudiar en forma integral al medio ambiente: Ecología, Ecotoxicología, Físicoquímica Ambiental, Biología Aplicada, que en conjunto con la Química Ambiental y las Ciencias Sociales, evalúan permanentemente el estado poblacional, el nivel de contaminación y las metodologías de diagnóstico y remediación ambiental, tal como lo indica (Manahan, 2007)

La salud ambiental

Existen numerosas denominaciones equivalentes de salud ambiental, como “higiene del medio”, “saneamiento ambiental”, “protección y desarrollo del ambiente”, “salud y ambiente”, “ambiente y salud” y otras. En mi opinión todas ellas significan básicamente lo mismo, si bien su contenido específico puede diferir mucho entre una u otra entidad o país y responder a circunstancias concretas. La expresión “saneamiento ambiental”, que

en varios países todavía se utiliza para significar “salud ambiental”, comienza a caer en desuso por resultar limitada y confusa. Limitada porque implica una acción curativa, similar a “sanar”, cuando una faceta esencial de la salud ambiental es la acción preventiva. Confusa porque, en la práctica presente, la palabra “saneamiento” con frecuencia se reserva solamente para las acciones en el campo del manejo de desechos líquidos y excretas.

La expresión “protección y desarrollo del ambiente” tiene una cabida suficientemente amplia como para incluir a la salud ambiental, pero por su misma amplitud podría englobar también toda la vertiente “verde”. Las expresiones “salud y ambiente” y “ambiente y salud” están sujetas a las connotaciones que se quiera, según la persona o entidad a la que se le pregunte.

Para algunos, “salud y ambiente” representa literalmente, por un lado, salud (humana), y por otro, ambiente, en cada caso con el alcance que arbitrariamente se fije. Lo mismo puede suceder con “ambiente y salud”. Sin embargo, hay opiniones en el sentido de que “salud y ambiente” significa la influencia del ambiente sobre la salud, pero con énfasis en la salud, mientras que “ambiente y salud” indica un énfasis en el ambiente. Se estima que, frente a esas dos expresiones, debe preferirse la de “salud ambiental”, excepto si, en verdad, se quiere aludir por separado al ambiente y a la salud.

La Tierra y su estructura

Las capas sólidas de la Tierra

La Tierra presenta una estructura en capas concéntricas que conocemos gracias, fundamentalmente, al estudio del movimiento de las ondas sísmicas cada vez que se produce un terremoto. Desde el interior al exterior se diferencian tres capas:

- **Núcleo**

También llamado endosfera, es la capa más interna de la Tierra. Está formada por metales como el hierro y el níquel y es bastante peculiar por el hecho de que se encuentra fundida, al menos parcialmente (el núcleo externo), debido a las altas temperaturas que existen en esa zona. Este calor interno es el responsable de los procesos internos que se dan en la Tierra, alguno de los cuáles tiene manifestaciones en la superficie, como son los terremotos, el vulcanismo o el desplazamiento de los continentes.

- **Manto o mesosfera**

Se encuentra por encima del núcleo y está formado por silicatos, más densos en el interior (manto inferior) y menos hacia el exterior (manto superior). Es una capa muy activa ya que se producen fenómenos de convección de materiales, es decir, los materiales calientes tienden a ascender desde el núcleo, pudiendo alcanzar la superficie y cuando los

materiales se enfrían tienden a hundirse de nuevo hacia el interior, como un ciclo de materia llamado Ciclo de Convección. Al moverse estos materiales producen el desplazamiento de los continentes y todo lo que esto lleva asociado: terremotos, vulcanismo, creación de islas y cordilleras, etc.

• Corteza o litosfera

Es la capa más externa, la que está en contacto con la atmósfera y está formada por silicatos ligeros, carbonatos y óxidos. Es más gruesa en la zona de los continentes y más delgada en los océanos. Es una zona geológicamente muy activa ya que aquí se manifiestan los procesos internos debidos al calor terrestre, pero también se dan los procesos externos (erosión, transporte y sedimentación) debidos a la energía solar y la fuerza de gravedad. Se diferencia una corteza continental y una corteza oceánica.

Biosfera

La tierra posee varias capas una de aire, la atmósfera, otra de agua, la hidrosfera y otra con rocas, es decir la litosfera. Pero en todas ellas se encuentran seres vivos, por eso se habla de Biosfera como la zona de la tierra donde se desarrolla la vida. Evidentemente, todo esto es posible gracias a:

La atmósfera es indispensable para la existencia de vida, ya que en esta capa se filtran las radiaciones ultravioleta del sol, gracias a la ozonfera. Además, la

existencia de gases como el dióxido de carbono, presentes en la fotosíntesis de los vegetales hace esencial la vida en la Tierra. Tanto que la capa gaseosa produce un Efecto Invernadero natural que permite tener a la Tierra una temperatura media de unos 15 grados centígrados (Jímenez, 2008).

La biósfera es el sistema que abarca a todos los seres vivos del planeta y a su hábitat; es decir, el lugar donde se desarrolla su ciclo vital: el aire, el agua y el suelo donde desde los organismos más diminutos hasta las imponentes especies de plantas y animales, han encontrado el sustento para sobrevivir. También se invierte la definición y decir que todos los seres vivos de la Tierra están relacionados unos con otros y se agrupan en niveles de organización; el nivel máximo, que comprende el conjunto de todos los organismos vivos y los ambientes en que habitan, se denomina biósfera. Otras definiciones lo describen como un sistema que incluye el espacio donde se desarrolla toda la vida que existe en la Tierra. Está constituido por la vida y su área de influencia, desde el subsuelo hasta la atmósfera.

Sus límites son difíciles de precisar pues se han encontrado bacterias a 2.800 m de profundidad bajo tierra (y no se cree que sea un hecho aislado, probablemente haya a mucha más profundidad) y se han visto volar aves a 9 km de altura y hay una enorme diversidad de especies en la profundidad del océano (adaptadas a la oscuridad total y a la enorme presión del agua). “En

la actualidad con el termino biosfera se suele referir únicamente a todos los seres vivos que pueblan nuestro planeta” (Alejandrapia, 2016).

El término biósfera incluye, entonces, todos los seres vivos que viven en la hidrósfera, atmósfera y geósfera.

Atmósfera: está constituida por una mezcla de gases:

- Nitrógeno (N₂): el más abundante y muy importante para la vida de nuestro planeta.
- Oxígeno (O₂): esencial para la vida de todos los organismos.
- Dióxido de carbono: (CO₂): que se libera como producto de la respiración de plantas, animales y otros seres vivos.

Los límites de la biosfera

Límite superior en la atmósfera: 15 a 20 km. Está determinado por la capa de ozono que atrapa la radiación ultravioleta de onda corta, que es perjudicial para los organismos vivos. El límite inferior de la litosfera: 3,5 a 7,5 km.

Está determinada por la temperatura de transición del agua al vapor y la temperatura de desnaturalización de las proteínas, pero principalmente la distribución de los organismos vivos se limita a unos pocos metros de profundidad. El límite inferior está en la hidrosfera: 10 a 11 km (Fosa de las Marianas). Se define por el fondo de los Océano, incluyendo los sedimentos del mismo. La parte de la biosfera en la que los organismos vivos se

encuentran ahora constantemente se llama eubiosfera, sus fronteras son algo más estrechas. Por lo tanto, la biosfera incluye una parte de la atmósfera, la hidrosfera y la litosfera. biomasa de la biosfera

La biomasa seca total de la biosfera se estima en 2,5 x 10¹² toneladas. La mayor parte de esta biomasa es terrestre, con sólo unas 0,003 x 10¹² toneladas de biomasa oceánica. La mayor parte de la biomasa terrestre es de plantas, su biomasa es unas 500 - 1000 veces mayor que la biomasa animal. De todas las especies de fauna silvestre, el crustáceo marino Euphausia suberba parece tener la mayor biomasa (150 millones de toneladas), pero la biomasa total del ganado domesticado por el hombre (Bos Taurus) es aún mayor, con 520 millones de toneladas, y la de los humanos con 350 millones de toneladas. Las hormigas (3.000 millones de toneladas) y los peces marinos (800 - 2000 millones de toneladas) tienen una gran biomasa, pero son grupos de animales que incluyen muchas especies. La biomasa total de plantas terrestres es de 560 mil millones de toneladas, el fitoplancton marino y las plantas de 5 a 10 mil millones de toneladas y los animales terrestres de 5 mil millones de toneladas.

La mayor concentración de biomasa se encuentra en los límites de los medios naturales:

- La frontera entre la litosfera y la atmósfera.
- El límite de la hidrosfera y la atmósfera (organismos

de plancton).

- El límite de la litosfera y la hidrosfera (organismos bentónicos).

La biomasa primaria está formada por autótrofos (por lo general por plantas), a través de la fotosíntesis utilizando la energía solar. Por lo tanto, se observa una mínima biomasa en los desiertos y el hielo, lo que se debe principalmente al número mínimo de plantas como fuente de crecimiento de la biomasa.

Estructura de la biosfera

✓ La materia viva.

Es el conjunto de cuerpos de organismos vivos que habitan la Tierra. La masa de materia viva es relativamente pequeña y se estima en $2,4 - 3,6 \times 10^{12}$ toneladas (en peso seco) y es menos de una millonésima de toda la biosfera (aproximadamente 3×10^{18} toneladas), lo que, a su vez, representa menos de una milésima parte de la masa de la Tierra. Sin embargo, esta parte de la biosfera es la más importante ya que participa activamente en los ciclos biogeoquímicos y transforma la materia inanimada de la Tierra (López, 2018).

✓ La materia biogénica

Son rocas sedimentarias que son producto de la actividad vital de los organismos vivos o que constituyen los restos degradados de éstos (piedra caliza, rocas de

concha, esquisto bituminoso, carbón fósil, petróleo, etc.).

✓ La materia indirecta

Es una sustancia formada sin la participación de organismos vivos.

✓ La materia biocosal

Es una sustancia creada simultáneamente por organismos vivos y procesos cósmicos. Estos son el suelo, el limo, la corteza de la intemperie, etc.

Las sustancias radiactivas y los productos de su desintegración, así como los átomos que se forman continuamente a partir de la materia terrestre bajo la influencia de los rayos cósmicos. La sustancia de origen cósmico (meteoritos).

Principales características de la biosfera

✓ Organismos vivos

✓ El ciclo biótico de las sustancias: El ciclo biótico está asegurado por la interacción de tres grupos principales de organismos:

- Los productores (plantas verdes que realizan la fotosíntesis y bacterias capaces de quimiosíntesis), crean materia orgánica primaria.
- Los consumidores (animales herbívoros y depredadores), consumen materia orgánica.
- Los reductores (bacterias, hongos y protozoos)

descomponen la materia orgánica muerta en sustancia mineral.

Mecanismos de sostenibilidad de la biosfera

La biosfera es un biosistema abierto que intercambia sustancia y energía con el medio ambiente. Los organismos vivos de la biosfera se dividen en autótrofos y heterótrofos:

- **Autótrofos:** son productores de materia orgánica.
- **Heterótrofos:** consumidores y destructores de materia orgánica.

Se establece un equilibrio relativo entre los procesos de creación de materia orgánica, así como de transformación y destrucción de la misma. Este equilibrio es la base de la sostenibilidad en la biosfera. La sostenibilidad es una propiedad de un ecosistema que se manifiesta en el mantenimiento de su composición, estructura y funciones, así como en su capacidad para regenerarse si se ve alterada.

Atmósfera

La atmósfera está constituida por los gases que rodean a la Tierra y son fundamentales para la vida, ya que alguno de ellos es necesario para los seres vivos, como el oxígeno, y otros filtran radiaciones solares que podrían ser letales para los seres vivos. Además en el seno de la atmósfera se producen los fenómenos climáticos que tan importantes resultan para animales

y plantas (Jímenez, 2008).

Capas de la atmósfera

En la atmósfera se distinguen cinco capas:

• Troposfera:

Es la que se encuentra directamente sobre la superficie sólida de la Tierra. Es importante porque es aquí donde se dan los fenómenos climáticos que constituyen el tiempo meteorológico.

• Estratosfera:

Está por encima de la troposfera y en ella se encuentra la llamada “capa de ozono” que, como ya sabrás, es indispensable para la vida en la Tierra ya que filtra los rayos ultravioletas que son letales para los seres vivos. Sin la capa de ozono no podríamos vivir, y, sin embargo, la estamos destruyendo con las sustancias químicas que enviamos a la atmósfera (es el llamado “agujero de la capa de ozono”).

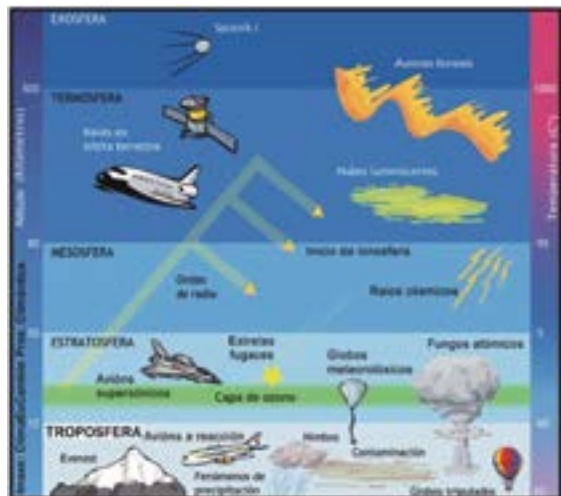


Ilustración 2. Capas de la atmósfera

Fuente: (Sabino, 2020)

• **Mesosfera:**

Es la capa intermedia en la que también hay ozono.

• **Termosfera:**

Se denomina así porque, por efecto de las radiaciones solares, se pueden superar los 1500°C de temperatura. En ella se encuentra una zona denominada ionosfera, en la que muchos átomos pierden electrones y se encuentran en forma de iones, liberando energía que constituye las Auroras boreales o australes.

• **Exosfera:**

Es la última capa, y la de mayor grosor, ya que tiene unos límites superiores muy imprecisos, porque se va

haciendo cada vez más tenue hasta que deja de haber gases. Se ve sometida directamente a las emisiones solares.

Origen de la atmósfera

La tierra, cuando se formó hace 4500 millones de años, no era igual que la que hoy. Estaba formada por un núcleo incandescente fundido rodeado por una espesa nube de gases y polvo. Con el calor del sol, estos gases acabaron por desprenderse en el espacio interestelar. Poco a poco, el planeta fue enfriándose y así se formó una superficie sólida que daría lugar a los continentes y el fondo del mar. Los gases que desprendía se acumulaban sobre la superficie y dio lugar a una atmósfera con mucho vapor de agua, dióxido de carbono, nitrógeno y otros gases (Jímenez, 2008).

Cuando pasaron millones de años y ya se había enfriado la corteza, el vapor de agua de esta atmósfera pasó a estado líquido y así se formaron los océanos y los mares. Pero la actividad volcánica no había terminado. Se seguían desprendiendo gases que emanaban los volcanes. Con la aparición de la vida microscópica se iniciaron procesos bioquímicos interesantísimos para el futuro de nuestra atmósfera y de nuestra vida. La fotosíntesis incorporaba por vez primera dióxido de carbono de la atmósfera y devolvía oxígeno, acumulándose cada vez más. Por último y tras la aparición de los seres vegetales fotosintéticos pudieron aparecer los seres vivos animales que eran capaces de respirar este gas.

Composición de la atmósfera

La atmósfera terrestre es una mezcla de gases según . Los más abundantes son: Nitrógeno: 78% total del aire. Oxígeno: 21 % del total. Dióxido de carbono: 0,033% del total. Además puede contener hasta un 4% de vapor de agua y también una proporción variable de gases nobles (argón 0,93%, criptón 0,000114%, neón 0,00182% y helio 0,000524%), hidrógeno (0,00005%) y ozono (0,00116%), (un compuesto del oxígeno)

La densidad de la atmósfera disminuye conforme ascendemos en altura. Cuando subimos a la cima de una montaña, o a un punto de una ladera muy elevada decimos que el aire está “enrarecido”, es porque la mayor parte de la masa del aire está en las zonas bajas atraído por la gravedad de la tierra y está como “aplastado” por su propio peso y cuanto más ascendemos más liviano, tenue y ligero es el aire. En las capas altas existe menos presión y la densidad menor.

La densidad y la presión del aire disminuyen con la altura (Jímenez, 2008)

Hidrosfera

Es la tercera envoltura de la tierra. Representa un lugar donde habita gran variedad de seres vivos cuando se dan condiciones tales como: temperatura, luminosidad, salinidad. El nivel de salinidad permite distinguir entre zonas de aguas saladas y zonas de aguas dulces. Estas

últimas, que se utilizan para el riego, se encuentran en menor cantidad en el planeta (Alejandrapia, 2016).

Otras definiciones sobre la hidrosfera la describen como “el conjunto de las aguas que cubren parte de la superficie terrestre, la zona externa del planeta en la que existe agua en forma gaseosa, líquida o sólida (superficial o subterránea)”. La mayor parte se encuentra en estado líquido, formando los océanos y, en las zonas continentales, formando ríos, lagos y corrientes de aguas subterráneas. En estado sólido se encuentra en los casquetes polares y en las cumbres de las montañas. En estado gaseoso (vapor de agua) se encuentra en la atmósfera formando las nubes. La hidrosfera terrestre es, también, el sustento de la vida. La vida aparece en los océanos, en el agua, y un porcentaje muy alto de todos los seres vivos es agua (entre el 60% y el 75% del peso de los seres vivos es agua).

El agua circula continuamente de unos lugares a otros, cambiando su estado físico, en una sucesión cíclica de procesos que constituyen el denominado ciclo hidrológico, el cual es la causa fundamental de la constante transformación de la superficie terrestre. La energía necesaria para que se puedan realizar esos cambios de estado del agua y el ciclo hidrológico procede del Sol. En resumen es una cubierta dinámica, con continuos movimientos y cambios de estado, que regula el clima, participa en el modelado del relieve y

hace posible la vida sobre la Tierra. La hidrosfera es también responsable de riesgos geológicos externos como inundaciones, muchos deslizamientos del terreno, algunas subsidencias del terreno.

La hidrosfera se formó por la condensación y solidificación del vapor de agua conteniendo en la atmósfera primitiva. El agua cubre casi las tres cuartas partes de la superficie de la Tierra. La mayoría (97%) es agua salada que forma mares y océanos y, una pequeña parte (3%), se encuentra en la atmósfera y sobre los continentes, generalmente en forma de agua dulce. Esta última parte se encuentra de mayor a menor cantidad de agua: hielo > agua subterránea > lagos, embalses, pantanos, ríos > atmósfera > biosfera (seres vivos) (De Paula F., 2016).

Características de la hidrósfera

Entre las características de la hidrosfera se destaca su composición mineral, salinidad, contenido en oxígeno, variación de la temperatura con la profundidad y densidad:

- Composición del agua del mar y del agua continental. La salinidad media de mares y océanos es de 35 gr/l (3,5%), las sales principales son el Cl⁻ y el Na⁺, y en menor proporción SO₄²⁻, Mg²⁺ y otros iones, mientras que la salinidad de las aguas continentales varía muchísimo dependiendo de las rocas por donde discorra el agua (si son rocas muy solubles el agua se carga de sales

superando la salinidad del mar), también puede variar su composición química dependiendo de la naturaleza de los terrenos que atraviesan, aunque en general, en las aguas continentales predominan los aniones CO₃²⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻ y los cationes Na⁺, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺.

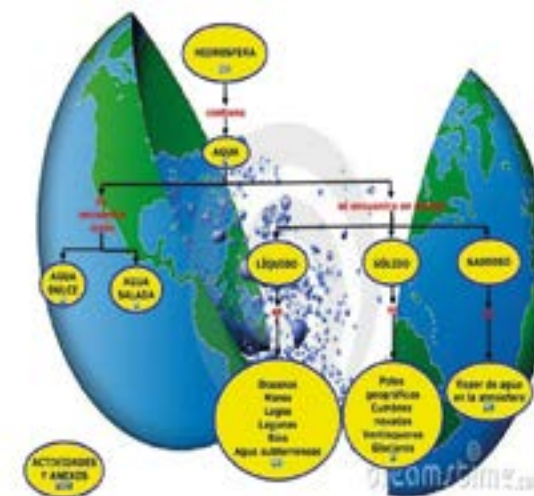


Ilustración 3. Distribución de la hidrósfera

Características del agua oceánica

• Salinidad:

Es la concentración total de los iones disueltos presentes en el agua. La salinidad media de mares y océanos es de 35 gr/l, aunque existen variaciones de unos mares a otros debido a la mayor evaporación que concentra las sales (Mar Mediterráneo 38 g/L, Mar Rojo 40 g/L, Mar Muerto 226 g/L) o al aporte de aguas

dulces como las procedentes de la fusión glacial (Mar Báltico 5 g/L).

Composición de solutos sólidos del agua de mar, cada uno expresado como porcentaje del total

Aniones		Cationes	
Cloruro (Cl ⁻)	55,29	Sodio (Na ⁺)	30,75
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	7,75	Magnesio (Mg ⁺⁺)	3,70
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	0,41	Calcio (Ca ⁺⁺)	1,18
Bromuro (Br)	0,19	Potasio (K ⁺)	1,14
Flúor (F ⁻)	0,0037	Estroncio (Sr ⁺⁺)	0,022
Molécula no disociada		Ácido bórico (H ₃ BO ₃)	0,076

Ilustración 4. Composición del agua de mar

Temperatura: varía en los océanos con la profundidad y la latitud (latitudes bajas presentan aguas cálidas mientras que latitudes altas aguas frías).

En las latitudes medias y bajas es típica la presencia de 3 capas en profundidad con diferentes características térmicas:

✓ Capa superficial o epilimnion: afectada por la temperatura exterior y la radiación solar, tiene una profundidad de unos 200 metros, la temperatura (de 12 a 30 °C según latitud) suele ser bastante uniforme gracias también a la mezcla que produce el oleaje.

✓ Capa de transición o termoclina: situado debajo de la anterior capa cálida, aquí se produce un descenso brusco de la temperatura con la profundidad, el límite es muy variable, según la latitud y estación del año, pudiendo llegar a 1.000 metros de profundidad. Esta agua fría (más densa) situada debajo de la cálida (menos densa) impide la mezcla del agua cálida con las aguas profundas.

✓ Capa profunda o hipolimnion: presenta temperaturas frías (0-5 °C) y constantes (con poca o nula variación térmica, aunque en algunos casos disminuye la temperatura muy lentamente con la profundidad), ya que la termoclina impide la mezcla con las aguas cálidas superficiales, por lo que también disminuye e incluso puede desaparecer el oxígeno disuelto. Esta diferenciación térmica se aprecia durante todo el año en las zonas tropicales, en verano en las zonas templadas (en invierno no hay termoclina) y no existe en las regiones frías (en latitudes árticas y antárticas, la temperatura del agua superficial es cercana a los 0 °C, con lo que varía muy poco con la profundidad y así, no hay diferentes capas).

• **Densidad:**

La densidad del agua oceánica es algo mayor que la del agua pura, variando en proporción directa con la salinidad (más sales más densidad) y en proporción inversa con la temperatura (más temperatura menos densidad). De estos dos factores, tiene una mayor

incidencia la temperatura, por lo que el agua más densa es la de los mares polares. La distinta densidad de las masas de agua provoca su desplazamiento tanto en horizontal como en la vertical, de manera que las más densas se colocan por debajo de las más ligeras.

Así las variaciones de densidad constituyen un factor determinante en la dinámica oceánica (responsable junto con la dinámica atmosférica de suavizar las diferencias de temperatura en la Tierra).

- **Contenido en oxígeno**

Los gases disueltos en el agua son los mismos que componen el aire libre, pero en diferentes proporciones, condicionadas por la aportación atmosférica y diversos factores. La temperatura y la salinidad influyen reduciendo la solubilidad de los gases cuando cualquiera de esos dos parámetros aumenta. Otros factores son la actividad metabólica de los seres vivos.

El oxígeno (O₂) abunda sobre todo en la superficie, donde predomina la fotosíntesis sobre la respiración, y suele presentar su mínimo hacia los 400m de profundidad, donde los efectos de la difusión desde el aire libre y de la fotosíntesis ya no alcanzan, pero donde todavía es alta la densidad de organismos consumidores, que lo agotan. En resumen, las aguas más agitadas, frías y con abundantes organismos fotosintéticos tendrán más oxígeno.

CAPITULO II

GEOSFERA



Concepto de Geosfera

Es una capa sólida y rocosa que está en el interior de la Tierra. Es la parte de la Tierra formada por rocas y metales. Es la capa de mayor tamaño (ocupa casi toda la masa de la Tierra, las otras capas de la Tierra son atmósfera, hidrosfera y biosfera).

La Geosfera es la parte estructural de la Tierra que se caracteriza por ser la de mayores temperaturas, presión, densidad, volumen y espesor. Comprende desde la superficie hasta el centro del planeta (hasta los 6.370 Km. aproximadamente). Está compuesta principalmente de Hierro (Fe) en un 35%, Oxígeno (O) en 25% y Silicio (Si) en 18%. En la Geosfera se produce el aumento continuo de la densidad, presión y temperatura en relación directa con la profundidad.

La Geosfera se divide en tres capas, que son de la más externa a la más interna: Corteza, Manto y Núcleo. Su capa más externa (sólida y rígida), la "litosfera" que comprende la corteza y la parte superior del manto, es el lugar en donde suceden los procesos geológicos, se obtienen los recursos geológicos y suceden los riesgos geológicos.

Tabla 1. Procesos geológicos y riesgos.

Fuente: (BUOL, HOLE, & SOUTHARD., 1997)

Procesos geológicos	Recursos	Riesgos
Meteorización Erosión Transporte Sedimentación Plegamientos, etc..	Carbón Petróleo Minerales etc...	Volcanes Terremotos Desprendimientos Inundaciones,

Corteza terrestre

Es la parte más superficial de la Tierra. Las rocas que la forman están compuestas principalmente de oxígeno, silicio, aluminio y hierro. Se pueden distinguir dos tipos de corteza:

- **La corteza continental**

Tiene un espesor de unos setenta kilómetros aproximadamente y su roca más abundante es el granito.

- **La corteza oceánica**

Tiene un espesor de unos diez kilómetros aproximadamente y su roca más abundante es el basalto.

- **El manto**

Es la capa que está situada debajo de la corteza. Las rocas que la constituyen son ricas en oxígeno, magnesio, silicio y hierro. Se encuentra a temperaturas situadas entre los mil quinientos y los tres mil grados centígrados.

- **Núcleo**

Ocupa el centro de la Tierra. Las rocas que lo constituyen fundamentalmente son de hierro y níquel.

La temperatura puede llegar cerca de unos cinco mil grados centígrados.

El Suelo

La definición del suelo ha tenido varios matices, según quien trate de hacerla y según

la época en que la haga. Como lo recuentan (HILLEL, 1998) (BUOL, HOLE, & SOUTHARD., 1997) entre otros autores, el término suelo ha tenido acepciones verdaderamente simplistas como:

- El suelo es, desde el punto de vista del agricultor, el sitio para ubicar sus semillas y producir sus cosechas.
- Para un geólogo podría ser el recubrimiento terroso que hay sobre un cuerpo rocoso.
- Para un constructor, el suelo es el sitio sobre el cual colocará sus estructuras o el sustrato que le suministrará algunos de los materiales que requiere para hacerlas.
- Para un ecólogo es uno de los componentes del ecosistema que estudia.
- Para un químico, es el laboratorio donde se producen reacciones entre las fases sólida, líquida y gaseosa.
- Un antropólogo o un arqueólogo podrán ver el suelo como un tipo de registro del pasado.

Génesis de los suelos o Pedogénesis

Es aquella rama de la ciencia del suelo que estudia los procesos que le han dado a éste las características y propiedades que posee y los factores que han controlado el accionar de dichos procesos. Trata de establecer el origen del suelo y, en una fase más avanzada, de prever los cambios que sufrirá si varían las condiciones bajo las cuales está evolucionando.

De acuerdo con la definición de suelo que proponen (JARAMILLO, PARRA, & GONZÁLEZ, 1994) para poder establecer y entender la evolución del suelo se requieren ciertas interacciones con otras ciencias como la química, la física, la biología, la geología, la geomorfología, la climatología, la hidrología, la mineralogía, entre las más frecuentes. Éstas proporcionan los conocimientos básicos acerca de los procesos y factores que intervienen en el desarrollo del suelo.

Factores que intervienen en la formación del suelo

En la década del 40, Jenny definió los factores que intervienen en la formación del suelo, mediante el siguiente modelo, sencillo sólo en su presentación:

$$S = f(C, MP, O, R, t)$$

Donde: *S*: Desarrollo del suelo.
C: Clima.
MP: Material parental.
O: Organismos.
R: Relieve.
t: Tiempo.

Ilustración 5. Factores que inciden en la formación del suelo
 Fuente: (De Paula, 2016)

Según el modelo planteado, el desarrollo del suelo es función de la acción de un clima y sus organismos asociados sobre un material parental, bajo el control de un relieve, durante un determinado período de tiempo. Los factores incluidos en la Ecuación anterior son los Factores de Formación del Suelo y son los que controlan el accionar de los procesos pedogenéticos (JARAMILLO, PARRA, & GONZÁLEZ, 1994)

- **El clima:**

Los componentes climáticos básicos que mayor incidencia tienen en la evolución del suelo son: La precipitación (P) y la temperatura (T); el viento, en la medida que condicione procesos de evaporación de agua desde la superficie del suelo, también juega un papel fundamental en la pedogénesis.

- **El material parental**

El material parental del suelo está compuesto por aquellos materiales que le dan origen, ya sean saprolitos (algunos de los productos de la alteración de las rocas) o sedimentos no consolidados, de cualquier procedencia y composición; en esta parte del texto no se tendrán en cuenta los materiales parentales de origen orgánico puesto que los más abundantes son los inorgánicos.

Si se considera que el suelo se desarrolla controlado por varios factores y procesos, a partir de un material parental (roca o sedimentos), existe una relación entre muchas de las propiedades y cualidades de ese suelo y las características del material de partida. Los materiales de partida de los suelos, cuando son expuestos a las condiciones ambientales superficiales, son sometidos a diferentes procesos de alteración (meteorización) como consecuencia del cambio de condiciones con respecto a aquellas bajo las cuales se formaron. Se produce un fraccionamiento y una disgregación de los minerales primarios, así como la transformación de algunos de ellos en minerales secundarios; se origina entonces un material terroso, suelto que conserva muchos rasgos del material original: saprolito (verdadero material parental del suelo). Estos productos de la alteración de los materiales originales quedan expuestos a los procesos de formación del suelo (pedogénesis), los cuales, actuando a través del tiempo con diferentes características e intensidades, llegan a confeccionar la gran variedad de

suelos que se encuentran en la naturaleza.

- **Los organismos**

Un organismo es el conjunto de órganos que componen un ser vivo. Su unidad básica es la célula y en ella se llevan a cabo procesos químicos que configuran su metabolismo, para los que toma elementos nutricionales y energía del ambiente.

En el suelo se presenta gran cantidad y variedad de los organismos conocidos, que constituyen su parte viva; los organismos que mayor influencia tienen sobre el desarrollo del suelo son los vegetales, ya que controlan el aporte de materia orgánica al mismo, tanto en lo relacionado con la cantidad, como con la localización o tipo de materiales adicionados. Este material es uno de los más importantes del suelo por el efecto que tiene en buena parte de sus propiedades.

- **El hombre**

Un organismo que tiene enorme injerencia en el suelo es el hombre, puesto que utiliza este recurso de variadas formas y para muchos fines; los efectos más sobresalientes que tienen algunas de las actividades antrópicas sobre el suelo se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2. Efectos del hombre sobre el suelo

Fuente: (JARAMILLO, PARRA, & GONZÁLEZ, 1994)

ACTIVIDAD	EFEECTO SOBRE EL SUELO
La fertilización	Mejora productividad, aumenta producción de biomasa y población de microorganismos, incrementa el aporte de materia orgánica, en exceso puede producir el efecto contrario al causar toxicidades y/o contaminación.
El abonado orgánico	Produce los mismos efectos que la fertilización. Además, mejora la estructura del suelo con todo lo que esto implica en las condiciones hídricas y mecánicas de él.
El riego	Mejora la nutrición vegetal y el ambiente para los microorganismos aunque es posible que se alteren las relaciones poblacionales entre grupos, puede mejorar la estructura y alterar las características del inter-suelo físico de bases.
El riego	Cambia el comportamiento hídrico, incrementa la velocidad de procesos como solubilización, hidratación e hidrólisis, aumentando la atracción de minerales y de materia orgánica; si se hace bien mejora productividad, mal hecho puede producir salinidad o sodicidad y el consecuente deterioro físico y químico, también puede producir erosión.
El drenaje	Aumenta la aereación y por tanto acelera procesos de mineralización de materia orgánica y atracción de ciertos minerales, favorece la estructuración, en exceso, en ciertos suelos, puede causar dificultades para el humedecimiento posterior.
La mecanización	Mejora la aereación con todos sus beneficios, hecha adecuadamente, aumenta las posibilidades de la planta para explorar el suelo con el consiguiente aporte de materia orgánica y el reciclaje de nutrientes, si se hace inadecuadamente, se deteriora la estructura y se puede llegar a compactar el suelo, además, se pueden generar problemas de erosión.
El uso intencional (Tipo y/o intensidad de uso no adecuados a las posibilidades del suelo)	Genera deterioro severo en sus propiedades, lo que se refleja en una pérdida de productividad y de cobertura vegetal, aumentando la susceptibilidad a la erosión; la aplicación intensiva de insumos a un suelo con baja productividad puede generar problemas de contaminación, tanto del suelo mismo, como de otros recursos como el agua.
Las construcciones	Eliminan el suelo completamente, casi siempre.

Estructura del suelo

Las partículas sólidas del suelo se unen entre sí de diversas formas, generando unidades de mayor tamaño llamadas agregados, unidades estructurales o peds. El arreglo que se produce con estos sólidos se denomina estructura del suelo (JARAMILLO, PARRA, & GONZÁLEZ, 1994).

• Floculación

Es el proceso mediante el cual se unen las partículas sólidas del suelo entre sí, obedeciendo a diferentes mecanismos físico-químicos. Ésta es realizada,

generalmente, por fuerzas electrostáticas entre aquellas partículas y otros elementos del suelo como el agua o los cationes; esta unión no es permanente en el tiempo y puede desaparecer fácilmente, al cambiar las condiciones que la producen. También se puede producir mecánicamente, mediante la acción de raicillas de plantas o de hifas de hongos (BAVER, GARDNER, & GARDNER, 1973); este último tipo se ha llamado, algunas veces, bioestructura.

Origen e importancia de la estructura del suelo

Para que se consolide una unidad estructural o ped, se requiere que haya inicialmente floculación. Para que los flóculos se mantengan unidos y estables frente a las condiciones adversas del medio, se requiere que las partículas que ya están unidas sean cementadas entre sí. Esta acción la realizan los coloides del suelo (arcillas, humus, óxidos de hierro y de aluminio); los mecanismos propuestos por Emerson para explicar la agregación de las partículas del suelo los analiza en la siguiente figura

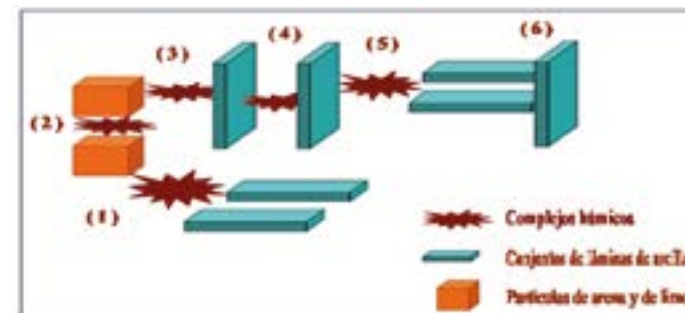


Ilustración 6. Mecanismos de unión entre partículas del suelo para formar agregados

Fuente: (HILLEL, 1998)

Partiendo de la ilustración anterior, las partículas de arena y de limo, mediante la acumulación de complejos húmicos entre las superficies de los granos, pueden unirse entre sí (2) o entre ellas y conjuntos de láminas de arcilla, bien sea por sus bordes (1) o por sus caras (3). A su vez, los conjuntos de láminas de arcilla pueden unirse entre sí, ayudados por los complejos húmicos colocados entre las caras de las láminas (4) o entre las caras de un conjunto y los bordes de otro (5). Finalmente, las arcillas pueden unirse entre sí, sin intervención de los complejos húmicos, obedeciendo a fuerzas de atracción electrostáticas entre los bordes positivos y las caras negativas de los conjuntos de laminillas (6), mecanismo, este último, determinante en la agregación de suelos ácidos, según Emerson y Dettman, citados por (BAVER, GARDNER, & GARDNER, 1973).

En el desarrollo de la estructura del suelo intervienen varios agentes como:

- Los macro y microorganismos, tanto animales como vegetales, los cuales ejercen una agrupación de partículas mecánicamente por medio de sus hifas o de las raicillas. Estos organismos, luego, ayudan a cementar las partículas entre sí, con sus exudados o con los productos de su descomposición. Como se ha mencionado anteriormente, ésta es la bioestructura y es frecuente en los horizontes superficiales de suelos desarrollados bajo praderas de gramíneas cuyas raíces ocupan densa y completamente esa porción del

suelo. También se consideran como bioestructura los pseudoagregados formados por los excrementos de las lombrices; cabe destacar que estas unidades son de corta duración pues su estabilidad es muy baja.

- Los ciclos de **humedecimiento** y **secamiento** son indispensables para que se produzca la deshidratación progresiva de los coloides y la cementación final de los agregados.
- **La compresión, los iones, las sales y los coloides** ejercen efectos mecánicos y químicos sobre las partículas del suelo, uniéndolas y cementándolas.
- **El manejo del suelo.** Es un factor de especial importancia, sobretudo en lo relacionado con la conservación de la estructura del suelo; sus efectos se tratarán más ampliamente en apartes posteriores. (HILLEL, 1998)

Perfil del suelo

Como se definió al inicio de esta parte del texto, el suelo es un cuerpo tridimensional y para poder comprender su evolución debe observarse todo el conjunto. Esto implica

que se debe exponer a la observación el interior del suelo. Para observar el interior del suelo se debe realizar un corte vertical en él, exponiéndolo hasta una profundidad máxima de 2 m, para la mayoría de las aplicaciones prácticas, si antes no se encuentra el material parental fresco; el mínimo espesor del corte que es adecuado, es aquel que permita observar el solum

(horizontes A y B), puesto que él es el que guarda el registro de la pedogénesis; el corte vertical mencionado se denomina perfil del suelo.

Cuando se expone el perfil de un suelo, la mayoría de las veces aparece una serie de porciones aproximadamente paralelas entre sí y a la superficie del terreno; cuando estas porciones se están diferenciando entre sí, debido a que sus características son el resultado de la pedogénesis, reciben el nombre de horizontes genéticos, o simplemente horizontes del suelo; si la diferenciación observada no se debe a la pedogénesis, las porciones observadas se nombran capas.

Los horizontes y capas maestros del suelo

El Soil Survey Division Staff (SSDS, 1993) define 6 horizontes o capas maestros en el suelo, los cuales simboliza con las letras mayúsculas: O, A, E, B, C y R. Recientemente, el Soil Survey Staff (SSS, 1998) adicionó el símbolo W a la lista anterior para indicar la presencia de capas de agua dentro del suelo; este símbolo no se usa para capas de agua, hielo o nieve que estén sobre la superficie del suelo.

Horizontes y capas O

Son porciones del suelo dominadas por materiales orgánicos; no importa si estos materiales han estado o no saturados con agua; tampoco importa el grado de descomposición que tengan dichos materiales orgánicos para merecer el símbolo O.

En los horizontes o capas O, los materiales minerales representan un mínimo porcentaje del volumen de ellos y mucho menos de la mitad de su masa; generalmente, ellos se encuentran en la superficie de suelos minerales, aunque pueden presentarse enterrados por horizontes o capas minerales; también hay suelos donde todos los horizontes y capas son O.

Horizontes A

Son horizontes minerales que se encuentran en la superficie del terreno o por debajo de un horizonte o capa O, si no son enterrados. Además, presentan:

- Acumulación de materia orgánica humificada, íntimamente mezclada con la fracción mineral del suelo y que no está dominado por características de horizontes E o B, y/o
- Propiedades resultantes de actividades de disturbación como laboreo, pastoreo, etc.

Horizonte E

Es un horizonte mineral que se caracteriza por presentar pérdidas de arcillas y/o sesquióxidos de Fe y Al, generando una acumulación de partículas de arena y limo; generalmente está debajo de horizontes o capas O y A y sobre horizontes B; normalmente, presenta colores más claros y texturas más gruesas que los horizontes A y B, que lo confinan.

Horizontes B

Son horizontes minerales que se desarrollan por debajo de alguno de los horizontes descritos anteriormente. En éstos se ha perdido casi todo vestigio de la estructura original del material parental y se observa alguno de los siguientes rasgos pedológicos, solo o combinado con otros:

- Acumulación iluvial de arcillas, hierro, aluminio, humus, carbonatos, yeso y/o sílice
- Remoción de carbonatos.
- Acumulación residual de sesquióxidos.
- Recubrimientos con sesquióxidos.
- Formación de arcilla y/o liberación de óxidos.
- Formación de estructura prismática, blocosa o granular.

Estos horizontes son siempre subsuperficiales, a menos que hayan sido expuestos en la superficie por procesos erosivos que hayan eliminado horizontes superficiales como O, A y/o E, es decir, que se trate de suelos decapitados; no se consideran horizontes B aquellas capas de materiales no consolidados que presentan recubrimientos de arcilla sobre fragmentos de roca o están en sedimentos finamente estratificados; tampoco son horizontes B las capas de acumulación de carbonatos que no están contiguas a otros horizontes genéticos, ni las capas donde el único proceso que ha

actuado ha sido la gleización.

Horizontes y capas C

Son horizontes o capas que han sido muy poco afectados por procesos pedogenéticos; en las capas C se incluyen sedimentos, saprolitos y fragmentos de roca poco consolidados, que exhiben baja a moderada resistencia a la excavación; en los horizontes C se incluyen aquellas porciones del suelo que tienen acumulaciones de sílice, carbonatos, yeso o sales más solubles, aún endurecidas, que no presenten relación genética con los horizontes suprayacentes.

Capas R

Este concepto se reserva para las rocas duras, las cuales dificultan excesivamente su excavación, aunque pueden ser fragmentadas con equipos pesados. En la se presentan algunos perfiles de suelos en los que pueden verse varios de los horizontes maestros más comunes en estos suelos.

Ilustración 8. Estructura física del suelo.

Estructura y perfil del suelo

Fuente (HILLEL, 1998)

Ilustración 7.

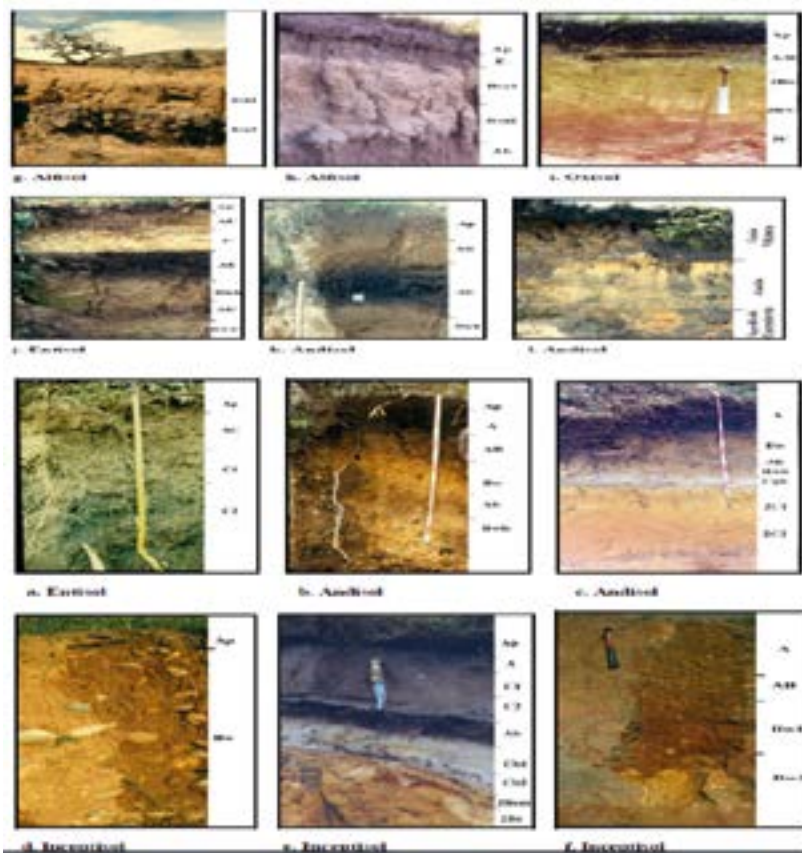


Ilustración 7. Estructura y perfil del suelo
Fuente (HILLEL, 1998)

Propiedades físicas del suelo

El suelo, según Hillel (1998)¹, es un sistema heterogéneo, polifásico, particulado, disperso y poroso en el cual el área interfacial por unidad de volumen

puede ser muy

grande. Las tres fases que componen el sistema suelo son:

- La fase **sólida**, compuesta por el conjunto de las partículas inorgánicas (cristalinas y no cristalinas) y las orgánicas.
- La fase **líquida**, que la componen el agua y los solutos que están disueltos en ella, es decir, la fase líquida es, en realidad, una solución: la solución del suelo.
- La fase **gaseosa**: o atmósfera del suelo, formada por todos aquellos compuestos que se presentan en forma gaseosa y cuyos representantes más abundantes, en condiciones de aireación adecuada del suelo son el CO₂, O₂ y vapor de agua.

La manera como interactúan las fases mencionadas define el campo de actividad de la Física de suelos: al definir la composición y la organización de la fase sólida, queda definido, también, el espacio que van a ocupar las otras dos fases.

Al entender las relaciones planteadas se puede, entonces, hacer un uso y un manejo racionales del agua, de la aireación y del espacio para las raíces, evitándose problemas de compactación y de erosión, es decir, de degradación física del suelo.

Composición volumétrica del suelo

Físicamente, el suelo es un **medio poroso** compuesto por tres **fases**: sólida, líquida y gaseosa. La proporción idealizada en que deben estar las tres fases del suelo, para ofrecer un medio adecuado al crecimiento de las plantas, se esquematiza:

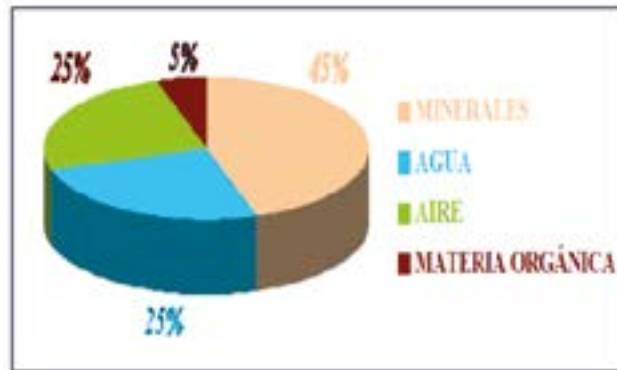


Ilustración 8. Estructura física del suelo.

Fuente: (HILLEL, 1998)

CAPITULO III

QUÍMICA AMBIENTAL DE LA GEOSFERA

Química de Suelos

La Química de Suelos se define como aquella parte de la Ciencia del Suelo que estudia la composición, las propiedades y las reacciones químicas de los suelos. (Fassbender , 1982).

Es la rama de la Ciencia del Suelo que se ocupa de las propiedades químicas, de los componentes y de las reacciones que ocurren dentro de los suelos. (De Paula, 2016)

Composición química del suelo

Según el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria del Uruguay (INIA, 2015), el suelo tiene cuatro grupos de componentes:

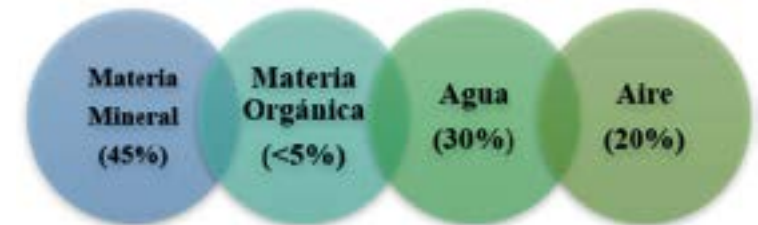


Ilustración 9. Composición del Suelo.

Fuente: INEA Tacuarembó (2015). Elaboración propia

Mineralogía de los suelos

La materia mineral es el componente más abundante del suelo. Está formada por partículas que varían de tamaño desde pequeñas piedras hasta partículas de arcilla que no se pueden ver siquiera con un microscopio

común. La materia mineral que forma el suelo se agrupa según su tamaño en tres fracciones: Arena: de 2 a 0.05 mm; Limo: de 0.05 a 0.002 mm y Arcilla: menor a 0.002 mm. (INIA, 2015).

En la disertación de (De Paula, 2016), indica que Hendricks y Fry (1930) y Kelley (1931) identificaron que la mayor parte de los componentes inorgánicos de los suelos, eran minerales de la arcilla (aluminosilicatos) cristalinos: caolinita, en los suelos más alterados, y montmorillonita en los menos alterados (praderas). Pero quizás lo más importante fue el descubrimiento de la estructura de la mica por Linus Pauling (1930), y la posterior elucidación de las estructuras de otros aluminosilicatos: minerales 1:1 (caolinita), 2:1 (expandibles como la montmorillonita y no-expandibles, como la illita).

Los silicatos

Los principales grupos de minerales primarios del suelo corresponden a silicatos. Los minerales primarios, son aquellos minerales que se cristalizaron bajo las condiciones de formación de las rocas y que, por lo tanto, son parte de ellas; estos minerales pueden estar presentes en el suelo, si éste no ha evolucionado lo suficiente o si han sido muy resistentes a la acción de los procesos de alteración de la roca y el suelo; cuando se presentan en el suelo constituyen la mayor parte de las partículas del tamaño de arena y limo (entre 0.002 y 2 mm) de él. (Jaramillo, 2002).

Los silicatos, son minerales cuya composición química se deriva del ácido silícico H_4SiO_4 y cuya unidad estructural básica es un tetraedro de sílice $(SiO_4)^{4-}$ que posee en el centro un átomo de silicio y en los vértices cuatro átomos de oxígeno (Jaramillo, 2002). Según (Besoain, 1985), de la manera como se van disponiendo estos tetraedros en la estructura cristalina del mineral, se producen varios subgrupos de silicatos, así:

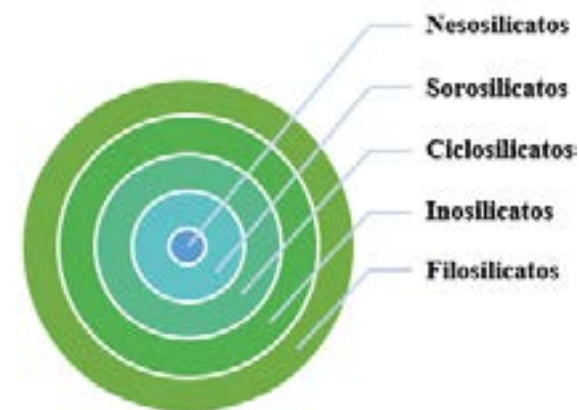


Ilustración 10. Subgrupos de Silicatos.

Fuente: (Besoain, 1985). Elaboración propia

- **Nesosilicatos.** Los tetraedros se presentan en forma independiente sin compartir oxígenos con otros tetraedros; la unión entre ellos se hace a través de cationes divalentes. Ejemplo: Olivino, $(Mg, Fe)_2 SiO_4$.
- **Sorosilicatos.** Los tetraedros se unen por pares compartiendo un átomo de oxígeno. Ejemplo: Epidota, $Ca_2(Al, Fe)_3 OH SiO_4 Si_2 O_7$.

- **Ciclosilicatos.** Agrupación de tetraedros formando anillos. Dos oxígenos de cada tetraedro están compartidos. Ejemplo: Berilo, $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$.
- **Inosilicatos.** Los tetraedros se unen formando cadenas, las cuales pueden ser:
 - Sencillas: Ejemplo: Piroxenos como el Diópsido, $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$.
 - Dobles: Ejemplo: Anfíboles como la Hornblenda, $(\text{OH})_2\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_5\text{A}_{12}\text{Si}_6\text{O}_{22}$.
- **Filosilicatos:** Son silicatos laminares que presentan una estructura especial organizada con base en hojas de tetraedros de sílice y de octaedros de alúmina. Los tetraedros se unen entre sí por los vértices compartiendo 3 de sus 4 oxígenos. Los octaedros son unidades en las cuales un catión central como Al, Mg o Fe está rodeado por 6 oxígenos o por 6 OH, los que se unen entre sí compartiendo aristas. A su vez, compartiendo sus oxígenos apicales, los tetraedros se acoplan a los octaedros para formar las capas que definen los filosilicatos. Ejemplo: Micas como la Moscovita (también Muscovita), $\text{K}(\text{Al}_2)\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$.
- **Tectosilicatos:** Los tetraedros se unen en estructuras que crecen en las tres dimensiones, compartiendo con otros tetraedros sus 4 vértices. Este grupo de minerales es el más abundante en la corteza terrestre. Ejemplo: Feldespato como la Ortosa u Ortoclasa, KAlSi_3O_8 . A este

grupo pertenece también el cuarzo, SiO_2 .

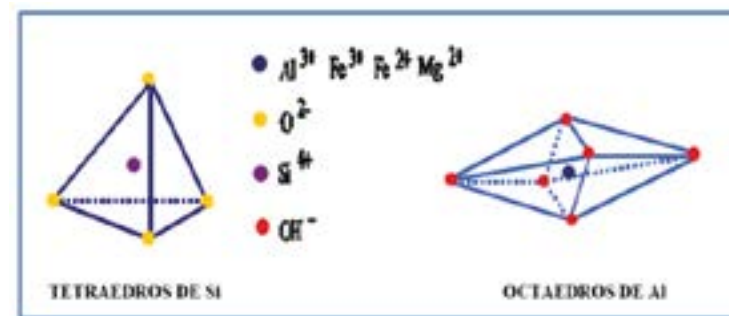


Ilustración 11. Unidades estructurales básicas de los filosilicatos.

Fuente: (Jaramillo, 2002)

El conocimiento de la composición y la estructura de los aluminosilicatos permitió conocer que estos minerales poseen cargas eléctricas permanentes, generalmente negativas, debido a las sustituciones isomorfas en los principales componentes de sus estructuras, que se manifiestan en sus superficies planas. Los aluminosilicatos tienen además cargas negativas o positivas dependientes del pH, debidas a la protonación y desprotonación de los grupos OH^- y O^{2-} , existentes en sus bordes y zonas de fractura. (De Paula, 2016).

Los óxidos

Son minerales muy abundantes en rocas ígneas y metamórficas; muy frecuentes son: Magnetita, Fe_3O_4 ; Corindón, Al_2O_3 ; Ilmenita, FeTiO_3 y Pirolusita, MnO_2 . (Jaramillo, 2002)

Los oxihidróxidos o hidróxidos

Son minerales que provienen de óxidos en los cuales parte o todo el oxígeno ha sido reemplazado por OH; son comunes: Diáspora, $\text{AlO}(\text{OH})$ y Brucita, $\text{Mg}(\text{OH})_2$. (Jaramillo, 2002).

También señala (De Paula, 2016), que en los suelos existen además óxidos e hidróxidos de Fe y Al (los denominados sesquióxidos) que en su superficie externa tienen iones cuya carga no está compensada y que como en el caso de los minerales de la arcilla, dan lugar a cargas positivas en medio ácido y negativas en medio alcalino. Estos óxidos por tanto, también contribuyen a la carga total del suelo. (De Paula, 2016).

Los carbonatos

Son minerales cuya composición química corresponde a sales derivadas del ácido carbónico, H_2CO_3 . Son comunes la Calcita: CaCO_3 y la Dolomita: $(\text{Ca}, \text{Mg})(\text{CO}_3)_2$. La calcita presenta efervescencia con ácido clorhídrico (HCl) diluido y frío. (Jaramillo, 2002).

Los sulfatos

Son sales que incluyen el radical SO_4^{2-} en su estructura como la Anhidrita: CaSO_4 y el Yeso: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. (Jaramillo, 2002)

Los sulfuros

Son sales derivadas del ácido sulfhídrico, H_2S , como

la Calcopirita: CuFeS_2 , la Pirita: FeS_2 y la Galena: PbS . (Jaramillo, 2002)

Los fosfatos

Son sales derivadas del ácido fosfórico, H_3PO_4 ; un representante importante de los fosfatos es el grupo de los apatitos: $\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})(\text{PO}_4)_3$. (Jaramillo, 2002)

Composición de la materia orgánica de los suelos

Todos los residuos de origen vegetal y animal que llegan al suelo conforman la materia orgánica del mismo; la principal fuente de ella son los residuos vegetales, los cuales aportan energía y alimento a los organismos del suelo, al tiempo que son la materia prima para la formación de los coloides orgánicos (humus) que se acumulan en el suelo. (Jaramillo, 2002).

Del mismo modo, (INIA, 2015), plantea que la materia orgánica (humus) se forma con la incorporación de restos animales y vegetales. Es muy importante para la fertilidad ya que desde ella, los microorganismos que viven en el suelo, liberan nutrientes para las plantas. La materia orgánica le da al suelo su color oscuro característico.

A pesar de que la Materia Orgánica del suelo representa sólo un 5% de la composición volumétrica de mismo, frente al 45% de los compuestos minerales, en muchos suelos, rara vez supera el 2% en peso del suelo, juega un papel primordial en las propiedades químicas,

físicas y biológicas de los suelos. (De Paula, 2016)

En general, el estudio de la materia orgánica del suelo (sustancias húmicas) es mucho más complejo que la de los otros componentes del mismo, ya que se trata de un material extremadamente complejo con peso molecular de hasta 2×10^6 . La estructura de las sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos y huminas), que aún no es bien conocida, está constituida por multitud de compuestos alifáticos y aromáticos, con una gran cantidad de grupos funcionales: carboxílicos, carbonilos, fenil hidroxilos, amino, imidasol, sulfhídricos, sulfónicos, etc., susceptibles de protonarse o desprotonarse generando a cargas eléctricas dependientes del pH. En el suelo, por tanto, coexisten materiales con cargas positivas y negativas, pero en la mayoría de los suelos la carga neta es negativa, se compensa con los cationes de intercambio y que se mide mediante la denominada Capacidad de Intercambio Catiónico, que se expresa en cmolc kg^{-1} . Su valor depende de la composición del suelo. (De Paula, 2016).

Tipos de materia orgánica del suelo

Los materiales orgánicos que se encuentran en el suelo se agrupan de acuerdo con su grado de transformación. (Jaramillo, 2002). Así, los principales grupos de materiales orgánicos del suelo son según (Burbano, 1989):

Tabla 3. Tipos de materia orgánica del suelo. Fuente: (Burbano, 1989). Elaboración propia

Materia orgánica fresca (MF) (Órganos)	Materia orgánica no húmica (MNH) (Compuestos químicos simples)	Materia orgánica húmica (MH) (Coloides orgánicos)
Hojas	Celulosa (15-60 %)	Ácido fúlvico
Tallos	Hemicelulosa (10-30 %)	Ácido himatomelánico
Raíces	Lignina (5-30 %)	Ácido húmico
Flores	Azúcares, aminoácidos y ácidos alifáticos (5-30 %)	Humina
Frutos	Grasas, aceites, ceras, resinas y otros pigmentos (1-8 %), Proteínas (1-15 %)	

Según (Motta, 1990), los compuestos húmicos, generalmente, representan entre 50 y 85% de la materia orgánica total del suelo. De acuerdo con (Jaramillo, 2002), la materia orgánica fresca (MF) es un componente importante para suministrarle alimentación y energía a la meso y macrofauna del suelo. La materia orgánica no húmica (MNH) es la principal fuente de energía y de carbono para los microorganismos del suelo. Sin embargo, desde el punto de vista físico-químico, es la materia orgánica húmica o humus (MH) la fracción orgánica más importante del suelo pues, al adquirir ésta propiedades coloidales le trasmite al suelo propiedades únicas, razón por la cual a continuación se tratará este componente con más detalle.

Transformación de los materiales orgánicos

Según (Jaramillo, 2002), durante las reacciones de

descomposición de los restos orgánicos se produce una oxidación rápida y violenta (entendida exotérmicamente) de éstos con una consecuente liberación de elementos nutritivos para la planta, principalmente NH_3 , NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , además de agua y CO_2 .

Después de que pasa esta primera etapa de alteración y, dependiendo de las condiciones ambientales y de la calidad de la materia orgánica aportada, el proceso de transformación tiene dos posibles vías. Estas dos etapas, a decir de (Jaramillo, 2002) son:



Ilustración 12. Etapas de transformación de la materia orgánica del suelo.

Fuente: (Jaramillo, 2002). Elaboración propia

• La mineralización

El proceso de mineralización consiste en la transformación de compuestos orgánicos a compuestos inorgánicos y es eminentemente microbiológico. Son de gran importancia para la nutrición de la planta las transformaciones del N y del S que llevan estos nutrientes a formas fácilmente aprovechables por ella. (Jaramillo, 2002). Por su parte, (Orosco, 1999), define

la mineralización del N como “la transformación del N contenido en compuestos orgánicos, hasta su liberación al suelo como NH_3 ”.

• La humificación

La humificación consiste, según (Kumada, 1987), en un conjunto de procesos que transforman la materia orgánica en compuestos que tienen una alta capacidad de absorción de la luz visible y unos altos contenidos de grupos orgánicos carbonilo y carboxilo. De acuerdo con (Jaramillo, 2002), la humificación con un aporte pobre de nutrientes, pero con un alto suministro de materiales disponibles posibilita la polimerización y acumulación en el suelo como humus.

▪ El humus

Es el conjunto de compuestos orgánicos amorfos, poliméricos, de alto peso molecular y de color amarillo hasta gris oscuro o casi negro, que se acumulan en el suelo como consecuencia de su resistencia a la transformación. Se diferencian y agrupan de acuerdo con su solubilidad, peso molecular y grado de polimerización. (Jaramillo, 2002). Según diversos autores citados por (Burbano, 1989), hay varios tipos de humus, a saber:



Ilustración 13. Tipos de humus.
Fuente: (Burbano, 1989). Elaboración propia

Propiedades del humus

Desde el punto de vista químico, es un material ácido con: Alta Capacidad de intercambio catiónico (CIC), en su mayor parte variable; alta capacidad buffer y alta acción quelatante, que le permite formar complejos bastante estables con los elementos metálicos presentes en el suelo. El humus le trasmite al suelo colores oscuros, alta capacidad de almacenar agua, estabilidad estructural, alta CIC, bajo pH y, en algunos casos, hidrofobicidad. (Jaramillo, 2002)

El agua

El agua es esencial para el funcionamiento adecuado de los procesos del suelo, la vegetación y la vida sobre el planeta. (Peña, 2010). Según la (FAO, 2015), el contenido de humedad del suelo es la cantidad de agua que hay en el suelo (por peso). Los suelos sanos con alto contenido de materia orgánica pueden almacenar grandes cantidades de agua. La materia orgánica del suelo puede retener unas 20 veces su peso en agua. La máxima cantidad de agua que un suelo puede retener depende de:



Ilustración 14. Factores asociados a la retención del agua en los suelos.
Fuente: (FAO, 2015). Elaboración propia

De acuerdo con el documento emanado de la Universidad de la República del Uruguay (Udelar, 2015), la cantidad de agua se expresa como porcentaje en base al peso seco del suelo, en base al volumen del suelo o como lámina en milímetros cada 10 cm en profundidad, según las siguientes relaciones:

$$H \% ps = \frac{\text{Peso agua} \times 100}{\text{Peso suelo seco}} = \frac{\text{Vol. de agua} \times \text{densidad agua} \times 100}{\text{Vol. suelo}_{(impert.)} \times D_a}$$

$$H \% vol = \frac{\text{Vol. de agua}}{\text{Vol. suelo}_{(impert.)}} \times 100$$

Entonces: $H \% ps \times D_a = H \% vol$

Clasificación Física del Agua

Las curvas de humedad-tensión indican que a medida que la humedad del suelo aumenta o disminuye, existe un cambio gradual en la tensión, según el cual el

agua esta retenida. (Peña , 2010). De este modo, se tiene:



Ilustración 15. Clasificación física del agua.

Fuente: (Peña , 2010). Elaboración propia

• Agua Gravitacional o Libre

El agua gravitacional se mantiene en los macroporos del suelo, después de los periodos de lluvia. No está retenida en el suelo. Está sometida a tensiones inferiores de 0,1 a 0,5 atm. Puede ser agua gravitacional de flujo lento y agua gravitacional de flujo rápido en función de su velocidad de circulación.

▪ Agua gravitacional de flujo rápido

Es aquella que circula por poros mayores de 30 micras. Es un agua que no queda retenida en el suelo y es eliminada al subsuelo, pudiendo alcanzar el nivel freático. Es un agua inútil, ya que cuando está presente en el suelo los poros se encuentran totalmente saturados de agua, el medio es asfixiante y las raíces de las plantas no la pueden tomar. Es un agua no aprovechable por las plantas. Causa erosión.

▪ Agua gravitacional de flujo lento

Es el agua que circula por poros comprendidos entre 8 y 30 micras de diámetro. Se admite que está retenida levemente por la matriz del suelo. Tarda de 10 a 30 días

en atravesar el suelo y en esos días es utilizable por las plantas.

• Agua Capilar

Es el agua que llena los espacios capilares más finos e intermedios del suelo. Queda en este después que el agua gravitacional o libre percola. El movimiento de esta agua puede tener cualquier sentido según la fuerza de tensión que exista y ser descendente, lateral y ascendente. Es así que, el agua capilar:

- Llena los espacios capilares más finos e intermedios. (10 – 0.2 μ).
- Permanece en el suelo por efecto capilar.
- Se encuentra adherida por la capacidad de campo hasta el coeficiente higroscópico. Las tensiones varían desde 0,1 hasta 31 atm.

Importancia

- Funciona como disolución del suelo.
- Es la forma de agua que las plantas utilizan en mayor proporción.
- Permanece mucho más tiempo en el suelo que la gravitacional.
- No produce arrastre de elementos nutricionales.
- Se encuentra en mayor proporción en suelos arcillosos

que en suelos arenosos.

- **Agua Higroscópica**

Es el agua absorbida por los suelos que depende de la humedad atmosférica, forma una fina película que recubre a las partículas del suelo. por poros comprendidos entre 8 y 30 micras de diámetro. No está sometida a movimiento, no es asimilable por las plantas porque está en forma de vapor. Tensiones a que esta retenida: se encuentra adherida por el coeficiente higroscópico. La tensión varía entre 31 y 10000 atm.

- **Almacenamiento o retención del agua**

EL almacenamiento o retención del agua por el suelo es el resultado de las fuerzas de atracción entre la fase sólida y la fase líquida

Mecanismos:

- Adhesión directa de las moléculas de agua a las superficies sólidas por fuerzas de London Van Der Waals.
- Por capilaridad.
- Por enlaces osmóticos del agua en la doble capa:
 - Adhesión: atracción entre moléculas de diferentes substancias.
 - Cohesión: Atracción entre moléculas de una misma substancia.

El aire en los suelos

La atmósfera edáfica se puede definir como la mezcla de gases que ocupan los macroporos del suelo. Su composición es muy semejante a la del aire atmosférico, pero variable en sus distintos porcentajes. Igualmente, (Ibañez, 2008), afirma que; los gases que allí acaecen son básicamente los mismos que los de la atmósfera aérea, aunque no puede decirse lo mismo de sus proporciones. (Van Konijnenburg, 2006) ha manifestado que, el aire del suelo contiene los mismos componentes gaseosos que la atmósfera, pero en proporciones distintas, hay principalmente nitrógeno, oxígeno, anhídrido carbónico y vapor de agua. La presencia del aire es fundamental para la respiración de las raíces y de todos los seres vivos presentes en él.

En tal sentido, (Ibañez, 2008), plantea que; ya que la vida del suelo consume abundante oxígeno, emitiendo a su vez CO₂, no debe extrañar que el aire del suelo sea mucho más rico en este gas de invernadero que la atmósfera aérea. Así también el mismo autor indica que; la atmósfera del suelo, atesora una gran cantidad de vapor de agua. Suele admitirse que, si el volumen de suelo ocupado por el aire es menor del 10% comienzan a producirse problemas de oxigenación. (Ibañez, 2008)

La aireación está ligada a la porosidad, estando la microporosidad ocupada por agua y la macroporosidad por aire. De acuerdo con (Ruiz, 2014), la porosidad es

porcentaje de huecos que existen en el suelo en relación al volumen total.

El flujo de agua y aire en el suelo se realiza a través del espacio poroso condicionado por el tamaño, abundancia y distribución de poros (Bonneau & Levy, 1979). La porosidad debe ser considerada un indicador de la calidad del suelo por su capacidad para almacenar agua y permitir el intercambio fisicoquímico y biológico entre las diferentes fases presentes en el suelo. (Karlen & Otros, 1997)

Los suelos arenosos tienen una débil capacidad de retención de agua y elevada permeabilidad y drenan con facilidad. Los suelos dominados por limos y arcillas tienden a ser cohesivos y tienen una elevada capacidad de retención de agua y baja permeabilidad, conduciendo a bajas velocidades de infiltración. (Fiuza, 2009)

Características químicas

Dentro de todos los procesos que se dan en el suelo uno de los más importantes es el intercambio iónico.

Intercambio Iónico en los suelos

Según (De Paula, 2016), gran parte de los componentes del suelo, que tienen naturaleza coloidal, alta superficie específica y carga eléctrica, son los responsables de las principales propiedades químicas y físicas de los suelos, la más importante de todas es la Capacidad de Intercambio Catiónico. Los componentes del suelo gracias a esas

propiedades son capaces de retener nutrientes que de otra forma estarían libres en la disolución del suelo y se perderían por lixiviación. Asimismo, la interrelación entre ellos hace que se formen estructuras que permiten el paso de las raíces y el transporte de nutrientes en la disolución del suelo.

La existencia del Complejo de intercambio es la responsable de la Capacidad Buffer del suelo o Resiliencia: Capacidad inherente para restaurar los procesos que sustentan la vida en el suelo, a condición de que la perturbación creada, especialmente por las actividades humanas, no sea demasiado drástica, y se deje tiempo suficiente para que estos procesos se restauren por sí mismos. Propiedad que tiene gran importancia desde el punto de la contaminación y recuperación de los suelos. (De Paula, 2016)

La Capacidad de Intercambio Catiónico, es el conjunto de cationes de intercambio, que es una señal de identidad de los suelos, así, los suelos neutros están dominados por el ión Ca^{2+} , existiendo Mg^{2+} , Na^+ y K^+ en menor proporción; los suelos ácidos están dominados por iones Al y los neutros por los sódicos Na^+ . (De Paula, 2016).

Los coloides del suelo

Los coloides del suelo, se refieren a las partículas más finas de arcilla y materia orgánica (MOS). Los coloides son fracciones del suelo muy importantes, debido a

que en ellos suceden importantes actividades físicas y químicas. Una de sus propiedades es que poseen un área superficial muy larga. Las partículas más finas poseen más área superficial por masa o volumen dado de partículas que las partículas más largas, así hay un aumento en el contacto con otras partículas coloidales y con la parte soluble del suelo y eso explica por qué las arcillas se mantienen juntos mucho mejor que el suelo arenoso cuando están mojados. (McCauley, Jones, & Jacobsen, 2005)

Química del suelo. Degradación del Suelo

De acuerdo con (De Paula, 2016), debido a la preocupación por los problemas ambientales, los objetivos de los estudios de Química del suelo, centrados en el conocimiento de los componentes del suelo y en la dinámica de los nutrientes, se desplazan hacia la dinámica de los contaminantes. (De Paula, 2016)

El suelo no es un recurso renovable a escala humana. Se requieren cientos o miles de años para regenerarse. (Ibáñez, 2007). Se considera como degradación del suelo a toda modificación que conduzca al deterioro del suelo. Según la (FAO, 2015), se define como el cambio del estado de la salud del suelo resultando en una capacidad disminuida del ecosistema para proporcionar bienes y servicios para sus beneficiarios.

En general, según (Ibáñez, 2007), los procesos de degradación del suelo son producto del mal uso que

el ser humano realiza de los recursos edáficos. Estos procesos son numerosos y a continuación se describen los más relevantes:



Ilustración 16. Amenazas para las funciones del suelo. Fuente: (FAO, 2016). Elaboración propia

La erosión del suelo

Es la remoción del suelo de la superficie de la tierra por el agua, viento o labranza. La erosión hídrica ocurre principalmente cuando el flujo superficial transporta partículas del suelo desprendidas por el impacto de las gotas de lluvia o la escorrentía superficial, a menudo dando lugar a canales claramente definidos, tales como surcos o cárcavas. La erosión eólica ocurre cuando el suelo seco, suelto, sin cobertura es sometido a fuertes

vientos y las partículas de suelo se desprenden de la superficie del suelo y son transportadas a otro lugar. La erosión por labranza es el movimiento directo del suelo pendiente abajo por los implementos de labranza y resulta en la redistribución del suelo dentro de un campo. La erosión es un proceso natural pero la tasa de erosión es típicamente incrementada (o acelerada) por la actividad humana. (FAO, 2016)

La pérdida de carbono orgánico del suelo (COS)

Es la pérdida de carbono orgánico almacenado en el suelo; ocurre principalmente debido a a) la conversión del carbono del suelo en dióxido de carbono (CO₂) o metano (CH₄), siendo ambos gases de efecto invernadero, y b) a la pérdida física de carbono del suelo por la erosión. (FAO, 2016)

El desequilibrio de nutrientes

Ocurre cuando el suministro de nutrientes (a través de adiciones de químicos y fertilizantes orgánicos u otras fuentes) es: a) insuficiente para permitir que los cultivos alcancen su desarrollo y rendimiento o b) excesivo durante la cosecha de los cultivos. La insuficiencia de nutrientes contribuye a la inseguridad alimentaria. El exceso de nutrientes es un mayor contribuyente al deterioro de la calidad del agua y a las emisiones de gases de efecto invernadero (especialmente el óxido nitroso (N₂O) a la atmósfera procedentes de fuentes agrícolas. (FAO, 2016)

La acidificación del suelo

Es la disminución del pH del suelo debido a la acumulación de iones de hidrógeno y aluminio en el suelo, y la pérdida asociada de cationes básicos tales como el calcio, magnesio, potasio y sodio del suelo debido a la lixiviación o remoción del producto. (FAO, 2016)

La contaminación del suelo

Es la adición de productos químicos o materiales al suelo que tienen un efecto adverso significativo sobre cualquier organismo o en las funciones del suelo. Un contaminante puede ser definido como cualquier químico o material fuera de lugar, o presente en concentraciones más altas que las normales. (FAO, 2016)

El anegamiento del suelo

Ocurre cuando el suelo está muy húmedo y es insuficiente el oxígeno en el espacio de los poros para que las raíces de las plantas puedan respirar adecuadamente. Otros gases perjudiciales para el crecimiento de raíces, tales como dióxido de carbono y etileno, también se acumulan en la zona de las raíces y afectan a las plantas. Muchos suelos son anegados naturalmente, y esto sólo es considerado como una amenaza cuando los suelos que fueron previamente aeróbicos (por ejemplo, con oxígeno adecuado en el espacio poroso) pasan a ser anegados. (FAO, 2016)

La compactación del suelo

Es el incremento en la densidad y disminución de macroporosidad en el suelo, que resulta de la aplicación de presión a la superficie del mismo. La compactación impide las funciones de ambos, el suelo superficial y subsuelo, e impide la penetración de las raíces y el intercambio de agua y gases. (FAO, 2016)

El sellamiento del suelo

Es la cobertura permanente de un área de la tierra y su suelo por material artificial impermeable (como asfalto y concreto): por ejemplo, a través de edificios y caminos. (FAO, 2016)

La salinización del suelo

Es la acumulación de sales en el suelo. Las sales acumuladas incluyen sodio, potasio, magnesio y calcio, cloruro, sulfato, carbonato y bicarbonato. (FAO, 2016).

- **La salinización primaria o natural**

Involucra la acumulación de sales a través de procesos naturales debido al alto contenido de sal en el material de origen, aguas subterráneas, o la acumulación a largo plazo de las sales contenidas en las aguas de lluvia. (FAO, 2016)

- **La salinización secundaria o salinización inducida por el hombre**

Es causada por las intervenciones humanas tales

como las prácticas de riego inapropiadas, por ejemplo, el riego con agua rica en sal y/o drenaje insuficiente. Sólo la salinización inducida por el hombre es considerada como una amenaza para las funciones del suelo en este informe. (FAO, 2016)

- **La sodificación**

Puede ser asociada con la salinización, y es la acumulación de sodio y/o sales de sodio en las fases sólidas y/o líquidas del suelo. El resultado del proceso de sodificación es la alta proporción de sodio intercambiable dentro del total de las bases intercambiables. (FAO, 2016)

La pérdida de la biodiversidad del suelo

Es una declinación en la diversidad de micro y macro-organismos presentes en el suelo. (FAO, 2016)

Impulsores del cambio global del suelo

Los principales impulsores globales del cambio del suelo son el crecimiento poblacional y el crecimiento económico. (FAO, 2016)

Crecimiento poblacional

Entre 1961 y 2000, la población mundial creció un 98 por ciento pero la producción alimentaria aumentó en un 146 por ciento y la producción per cápita de alimentos se incrementó en un 24 por ciento. Los rendimientos de los cultivos se han más que duplicado y notablemente, el área de tierra cultivable en uso sólo se incrementó en un ocho por ciento. La tierra cultivable per cápita se

redujo sustancialmente (de 0,45 a 0,25 ha). La clave de este período fue el incremento dramático de los insumos agrícolas y los avances en la mejora de cultivos. El uso de fertilizantes con nitrógeno se incrementó por un factor de siete, fertilizantes con fósforo por un factor de tres y el agua de riego por un factor de dos.

La población mundial también es cada vez más urbanizada. Una de las consecuencias es la expansión urbana invadiendo tierras agrícolas de buena calidad. La tasa de sellamiento del suelo (por ejemplo, la cobertura permanente de la superficie del suelo con materiales impermeables artificiales como el asfalto y concreto, típicamente relacionados al desarrollo urbano y la construcción de infraestructura) es ahora un serio problema mundial. Según las Naciones Unidas, el 54 por ciento de la población mundial residía en áreas urbanas en el 2014. Más aún, se espera que todas las regiones se urbanicen más y para el 2050, se estima que el 66 por ciento de la población mundial será urbana. (FAO, 2016)

El crecimiento económico

El crecimiento económico puede eventualmente ser desacoplado de incrementos en el consumo de recursos, la generación de residuos continuará siendo un fuerte impulsor del cambio del suelo al menos durante las siguientes décadas. (FAO, 2016).

El cambio climático

Es un fuerte impulsor adicional del cambio de suelo a través de sus efectos actuales y anticipados sobre el uso y la gestión de la tierra. El impacto del cambio climático sobre el funcionamiento del suelo es la mayor fuente de incertidumbre en cualquier proyección de las tendencias en los servicios de los ecosistemas claves proporcionados por el suelo. El cambio climático tendrá impactos significativos en el recurso suelo. (FAO, 2016):

- El cambio en la disponibilidad de agua debido a cambios en la cantidad y el patrón de precipitación, y temperaturas más altas que implican una mayor demanda de evaporación, influirán en la tasa de evaporación real, recarga de aguas subterráneas, y la generación de escorrentía de acuerdo a condiciones locales.
- Los cambios inducidos por el calentamiento en la temperatura del suelo y regímenes de humedad pueden incrementar la tasa de descomposición del COS y la aceleración de los riesgos de erosión y desertificación que pueden tener una retroalimentación reforzada sobre el cambio climático.
- Un aumento del nivel del mar asociado con el cambio climático incrementará la erosión costera y el retroceso de la costa. En las tierras bajas costeras que están insuficientemente defendidas por el suministro de sedimentos o diques, inundaciones por mareas por agua

salina tenderá n a penetrar más hacia el interior que en el presente, extendiendo el área de suelos perennemente o estacionalmente salinos.

Es así que, diversas instituciones internacionales y nacionales, año tras año advierten sobre el deterioro continuado de este recurso natural y sus consecuencias en el mantenimiento de la biodiversidad, la mitigación de la pobreza y la seguridad alimentaria.

CAPITULO IV

REMEDIACIÓN QUÍMICA DE LOS SUELOS



Introducción

En todos los ecosistemas, los suelos cumplen con importantes funciones de las cuales se derivan bienes ambientales indispensables para el mantenimiento tanto del ecosistema como de la vida humana. Es así que, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2015), sostiene que la degradación del suelo es una amenaza real y creciente causada por usos insostenibles de la tierra y prácticas de gestión y extremos climáticos resultantes de diversos factores sociales, económicos y de gobernanza. Por tanto, los estudios actuales sobre los factores ambientales son fundamentales para minimizar el impacto de estos elementos y lograr el aprovechamiento eficaz del suelo y de todos los recursos naturales de manera responsable.

Técnicas de remediación

De acuerdo con la Environmental Protection Agency of United States (EPA, 2001), las llamadas técnicas de remediación (limpieza del medio ambiente), engloban una serie de operaciones que modifican la estructura de los contaminantes a través de acciones químicas, físicas o biológicas de manera que reduzcan la toxicidad, movilidad o volumen del material contaminado.

Asimismo, (FCH, s/f), sostiene que, las tecnologías de remediación de suelos y/o aguas subterráneas abarcan todas aquellas operaciones que tienen por objetivo reducir la toxicidad, movilidad o concentración

del contaminante presente en el medio, mediante la alteración de la composición de la sustancia peligrosa o del medio, a través de acciones químicas, físicas o biológicas.

Objetivos de la Remediación de los Suelos

Según el documento de la Fundación Chile (FCH, s/f), la remediación se puede llevar a cabo para cumplir con

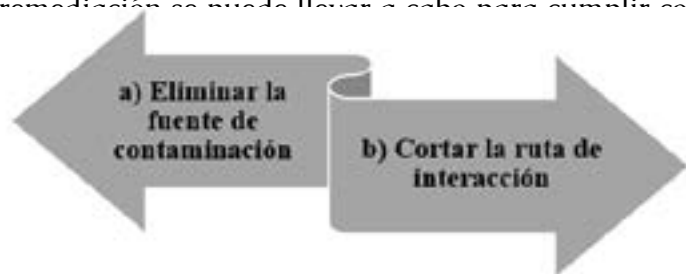


Ilustración 17. Objetivos de la Remediación de los Suelos. Fuente: (FCH, s/f). Elaboración propia

a) Eliminar la fuente de contaminación: Consiste en eliminar o reducir la concentración (biodisponibilidad) de las sustancias peligrosas existentes en un medio hasta niveles que permitan concluir que no constituirán riesgo.

b) Cortar la ruta de interacción: Consiste en impedir la interacción entre los receptores con la fuente a través de la confinación de los contaminantes a una matriz, para impedir que éstos se movilicen y lleguen a los receptores.

Factores que inciden en la eficiencia de un proceso

de remediación

Los principales factores que inciden en la eficiencia de un proceso de remediación de contaminantes son: el tipo de contaminante, las características del medio (condiciones geológicas y químicas) y tipo de interacciones existentes en el medio. (FCH, s/f)

• Características del contaminante

- Estructura química
- Concentración
- Solubilidad
- Coeficiente de participación
- Polaridad y carga iónica
- Volatilidad
- Densidad

• Características del medio

- Heterogeneidad del Medio
- Densidad Aparente
- Permeabilidad
- pH
- Humedad
- Composición

- Condiciones REDOX y contenido de oxígeno
- Disponibilidad de nutrientes
- Microflora presente
- **Interacciones entre Contaminantes y Medio**
 - Difusión
 - Sorción
 - Biodisponibilidad
 - Toxicidad
 - Biodegradación
 - Formación de Residuos no Extraíbles
 - Reacciones Abióticas y Bióticas

Clasificación de Tecnologías de Remedación de los Suelos

En la clasificación de las tecnologías según el tipo de tratamiento aplicado, a decir de (FCH, s/f), se pueden



Ilustración 18. Clasificación de las tecnologías de remedación de suelos.

Fuente: (FCH, s/f). Elaboración propia

- **Tratamientos biológicos:** Están enfocados en la degradación, transformación y/o remoción de contaminantes mediante la actividad metabólica natural de ciertos organismos

- **Tratamientos físico químicos:** Logran la destrucción, separación y/o contención de contaminantes aprovechando las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes o del medio.
- **Tratamientos térmicos:** Utilizan altas temperaturas para volatilizar, descomponer o fundir los contaminantes.

Principales tecnologías de remedación de suelos y aguas subterráneas contaminadas agrupadas según el tipo de tratamiento aplicado

Tabla 4. Principales Tecnologías de Remedación de Suelos.

Fuente: (FCH, s/f). Elaboración propia

Tratamientos Biológicos	Tratamientos Térmicos	Tratamientos Físicoquímicos
*Bioaumentación *Biodegradación Asistida *Biotransformación de metales *Bioventing *Compostaje *Fitorremediación *Landfarming *Lodos Biológicos *Pilas Biológicas	*Calentamiento por Conducción térmica. *Calentamiento por Radiofrecuencia * Calentamiento por Resistencia Eléctrica. *Desorción térmica *Incineración *Inyección de Agua caliente * Inyección de Aire caliente * Inyección de vapor *Pirólisis *Vitrificación	*Adición de Enmiendas *Barreras de Suelo Seco *Barreras físicas (verticales/horizontales) *Barreras Hidráulicas *Barreras permeables activas *Electrocinética *Estabilización Físico Química *Extracción de Agua * Extracción de Aire *Flushing * Inyección de Aire Comprimido * Inyección de Solidificantes *Lavado de suelos *Oxidación UV *Pozos de Recirculación *Sellado de Suelos
Tratamientos Mixtos		
*Extracción Multifase * Atenuación Natural		

Principales ventajas y desventajas de las tecnologías de remediación, clasificadas según el tipo de tratamiento. (FCH, s/f)

Tabla 5. Ventajas y Desventajas de las Tecnologías de Remediación.
Fuente: (FCH, s/f). Elaboración propia

	Ventajas	Desventajas
Tratamientos Biológicos	*Permite tiempos rápidos de limpieza	*Es el grupo de tratamiento más costoso. *Los costos aumentan en función del empleo de energía y equipo *Intensivos en mano de obra y capital
Tratamientos Térmicos	*Son efectivos en cuanto a costos *Pueden realizarse en periodos cortos *El equipo es accesible y no se necesita de mucha energía ni ingeniería	*Los residuos generados por técnicas de separación deben tratarse o disponerse, aumento en costos y necesidad de permiso *Los fluidos de extracción pueden aumentar la movilidad de los contaminantes, necesidad de sistemas de recuperación.
Tratamientos Físicoquímicos	*Son efectivos en cuanto a costos *Son tecnologías más benéficas para el ambiente *Los contaminantes generalmente son destruidos *Se requiere un mínimo o ningún tratamiento posterior	*Requieren mayores tiempos de tratamientos *Es necesario verificar la toxicidad de intermediarios y/o productos *No pueden emplearse si el tipo de suelo no favorece el crecimiento microbiano.

Clasificación de Tecnologías de Remediación según su grado de desarrollo

Actualmente, de acuerdo con (FCH, s/f) se dispone de un amplio abanico de tecnologías de remediación de sitios contaminados, algunas de aplicación habitual y otras aún en fase experimental, diseñadas para aislar

o destruir las sustancias contaminantes. Su elección depende de las características intrínsecas del medio y del contaminante, de la eficacia esperada para cada tratamiento, de su factibilidad técnico-económica y del tiempo estimado para su ejecución.

Así, las tecnologías de remediación según su grado de desarrollo, son clasificadas en:



Ilustración 19. Tecnologías de remediación según su grado de desarrollo.

Fuente: (FCH, s/f). Elaboración propia

- **Tecnologías Tradicionales:** Aquellas utilizadas comúnmente a gran escala, de probada efectividad y cuya información acerca de costos y eficiencia es de fácil acceso.
- **Tecnologías Innovadoras:** Son aquellas tecnologías propuestas más recientemente y que se encuentran en etapas de investigación y/o desarrollo son clasificadas como Tecnologías Innovadoras y la información en cuanto a su aplicación, costos y efectividad es aún limitada.

En las últimas décadas se ha impulsado el desarrollo de

nuevas tecnologías cuyo objetivo es la descontaminación y reutilización de los recursos contaminados por la acción antropogénica. Algunas técnicas de remediación químicas, se mencionan a continuación

Fotocatálisis heterogénea

Es un proceso avanzado de oxidación basado en procedimientos catalíticos y fotoquímicos capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes. (Garrido, 2016), plantea esta técnica como un método para minimizar la presencia de residuos de insecticidas en agua y suelo

En este proceso, los sólidos semiconductores, que actúan como fotocatalizadores, absorben directa o indirectamente la radiación UV y generan radicales hidroxilo (OH^\cdot) en contacto con el agua. Este radical es un potente oxidante, capaz de degradar rápidamente a muchos compuestos orgánicos hasta dióxido de carbono, agua y sales minerales. (Garrido, 2016)

La solarización

Es una técnica de desinfección en la que se expone un suelo, humedecido previamente y cubierto con un plástico transparente, a la luz solar durante los meses de más altas radiaciones. Durante este proceso la temperatura del suelo alcanza niveles letales para muchos hongos, bacterias, nematodos y semillas de malezas; además de provocar complejas modificaciones en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. (Garrido, 2016)

CAPITULO V

INSTRUMENTOS INTERNACIONALES A FAVOR DEL MEDIO AMBIENTE



Antecedentes Históricos

El interés del hombre por el ambiente y la problemática que lo circunda no es reciente, sino que se remonta muchos siglos atrás. Ya que la humanidad es parte de la naturaleza y que sin ésta no sería posible la vida en el planeta.

Se suele pensar que el Derecho Ambiental es de creación reciente. Esta es una evaluación apresurada, ya que éste surge desde el Génesis con la creación del mundo, donde fueron creados todos los animales del campo, según su especie, toda clase de plantas y semillas, árboles frutales y todos los seres vivientes que se mueven sobre la tierra y todo esto le fue entregado al hombre para que los cultivara, cuidara y no los corrompiera.

En el Derecho Romano los recursos naturales: la tierra, el agua, los yacimientos minerales, la flora, la fauna, los recursos panorámicos y el ambiente en sí, son en términos generales, cosas de la comunidad que pueden ser empleados por todos, salvo en cuanto se hubieren determinado derechos particulares sobre pequeñas porciones individuales (caso de los propietarios de parcelas particulares, o derechos de aprovechamiento de aguas minerales. etc.) Mientras los usos particulares de los recursos no afectaron en general la naturaleza (por ser relativamente idóneos para provocar verdaderos desastres ecológicos), ningún obstáculo legal o económico impidió el uso y el abuso de tales bienes.

La conciencia ambiental en la relación entre los Estados comenzó a gestarse a finales del año 1800. La idea de conservar algunos recursos naturales de valor Internacional nace junto con el surgimiento de la ecología como ciencia.

Indagando los orígenes del derecho ambiental

Con demanda presentada en 1868, al Ministerio de Relaciones Exteriores del Imperio Austro-Húngaro, por un grupo de agricultores preocupados por la depredación de las aves insectívoras llevada a cabo por la industria del plumaje, muy desarrollada a raíz de la Moda Victoriana que imponía plumas de aves a doquier, solicitaban al emperador Francisco José la suscripción de un

Tratado Internacional para proteger a las aves beneficiosas de la agricultura. Pocos años después, en 1872, el Consejo Federal Suizo, planteó la creación de una Comisión Internacional para la redacción de un acuerdo de protección de aves. Todas estas inquietudes tuvieron favorable acogida en 1884 cuando se reúne la Comunidad Ornitológica Internacional en un congreso que se convoca en Viena.

Con estos antecedentes se prepararon las bases para que en 1902 se pudiera firmar en París, uno de los primeros instrumentos internacionales referido a la conservación: el Acuerdo Internacional para la Protección de las Aves Útiles para la Agricultura que

establece normas de conservación de fauna, prohibición de captura de determinadas especies, y obligaciones tendientes al cuidado de nido y huevos. Los móviles que llevaron a la firma de este convenio fueron económicos. Ya que era una combinación entre participación ciudadana, sombreros, plumas y mujeres, para proteger recursos naturales renovables que ya estaban en peligro de extinción.

En años posteriores, en los albores del siglo XX, se firman los primeros instrumentos bilaterales y regionales. Los temas iniciales estaban relacionados con la salud humana, la utilización de sustancias contaminantes en las guerras; las condiciones ambientales de los trabajadores, la navegación y explotación de algunos ríos, y la creación de parques y áreas de reserva de flora y fauna. El desarrollo de esta materia durante el siglo XX impulsó la firma de más de 4000 Acuerdos bilaterales, numerosos y variados acuerdos así como Tratados de alcance universal. El análisis de estos documentos nos muestra un proceso caracterizado por permanentes cambios.

El Derecho Ambiental Internacional: Esquema de su evolución.

En Francia, en 1948 se dio el Congreso Constitutivo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, convocado por Francia y la UNESCO, con la consigna de salvar el mundo vivo y el medio ambiente natural del hombre. En 1968, la Asamblea General de las

Naciones Unidas convoca a una conferencia mundial, y como antecedentes se programó una reunión de expertos, la mayoría del Tercer mundo, en Suiza, que concluyó que en el Tercer Mundo, se estaba deteriorando la calidad de vida y la vida misma.

La Conferencia de las Naciones Unidas de Ambiente y Desarrollo se reunió en 1972, en Estocolmo, donde se emitió el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, en donde se afirmaba la posibilidad de planificar el desarrollo de tal manera, que no provocara daños irreversibles en el medio ambiente. En esta reunión nace un vocablo: Ecodesarrollo. "Entendido como aquel estilo que posibilita disponer de los recursos para la satisfacción de las necesidades de la población en función de elevar su calidad de vida mediante la utilización integral de los ecosistemas a largo plazo". La Conferencia preparó un plan de acción para el medio humano, Designó el 5 de junio "Día Mundial del Medio Ambiente", e instó para que en ese día se emprendan actividades que reafirmen su preocupación por la protección y el mejoramiento del medio ambiente con miras a hacer más profunda la conciencia de los pueblos hacia el entorno humano. La Declaración de Estocolmo no es vinculante, pero ha tenido el mérito de haber comprometido éticamente a los países que la firmaron.

Fundamentalmente está dirigida a los responsables políticos del mundo y ha unido calidad ambiental con desarrollo económico.

Declaración de Estocolmo sobre el medio ambiente humano

Adopción: Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente

Humano, 16 de junio de 1972

I PROCLAMA QUE

1. El hombre es a la vez obra y artífice del medio ambiente que lo rodea, el cual le da el sustento material y le brinda la oportunidad de desarrollarse intelectual, moral social y espiritualmente. En la larga y tortuosa evolución de la raza humana en este planeta se ha llegado a una etapa en que, gracias a la rápida aceleración de la ciencia y la tecnología, el hombre ha adquirido el poder de transformar, de innumerables maneras y en una escala sin precedentes, cuanto lo rodea. Los dos aspectos del medio ambiente humano, el natural y el artificial, son esenciales para el bienestar del hombre y para el goce de los

derechos humanos fundamentales, incluso el derecho a la vida misma.

2. La protección y mejoramiento del medio ambiente humano es una cuestión fundamental que afecta al bienestar de los pueblos y al desarrollo económico del mundo entero, un deseo urgente de los pueblos de todo el mundo y un deber de todos los gobiernos.

3. El hombre debe hacer constante recapitulación de

su experiencia y continuar descubriendo, inventando, creando y progresando. Hoy en día, la capacidad del hombre de transformar lo que le rodea, utilizada con discernimiento, puede llevar a todos los pueblos los beneficios del desarrollo y ofrecerles la oportunidad de ennoblecer su existencia. Aplicado errónea o imprudentemente, el mismo poder puede causar daños incalculables al ser humano y a su medio ambiente. A nuestro alrededor vemos multiplicarse las pruebas del daño causado por el hombre en muchas regiones de la tierra, niveles peligrosos de contaminación del agua, del aire, de la tierra y de los seres vivos; grandes trastornos del equilibrio ecológico de la biosfera; destrucción y agotamiento de recursos insustituibles y graves deficiencias, nocivas para la salud física, mental y social del hombre, en el medio ambiente por él creado. Especialmente en aquel en que vive y trabaja.

4. En los países en desarrollo, la mayoría de los problemas ambientales están motivados por el subdesarrollo. Millones de personas siguen viviendo muy por debajo de los niveles mínimos necesarios para una existencia humana decorosa, privadas de alimentación y vestido, de vivienda y educación, de sanidad e higiene adecuadas. Por ello, los países en desarrollo deben dirigir sus esfuerzos hacia el desarrollo, teniendo presente sus prioridades y la necesidad de salvaguardar y mejorar el medio ambiente. Con el mismo fin, los países industrializados deben esforzarse por reducir la distancia que los separa de los países en desarrollo. En los países industrializados, los

problemas ambientales están generalmente relacionados con la industrialización y el desarrollo tecnológico.

5. El crecimiento natural de la población plantea continuamente problemas relativos a la preservación del medio ambiente, y se deben adoptar las normas y medidas apropiadas, según proceda, para hacer frente a esos problemas. De todas las cosas del mundo, los seres humanos son lo más valioso. Ellos son quienes promueven el progreso social, crean riqueza social, desarrollan la ciencia y la tecnología y, con su duro trabajo transforman continuamente el medio ambiente humano. Con el progreso social y los adelantos de la producción, la ciencia y la tecnología, la capacidad del hombre para mejorar el medio ambiente se acrece a cada día que pasa.

6. Hemos llegado a un momento de la historia en que debemos orientar nuestros actos en todo el mundo atendiendo con mayor solicitud a las consecuencias que puedan tener para el medio ambiente. Por ignorancia o indiferencia, podemos causar daños inmensos e irreparables al medio ambiente terráqueo del que dependen nuestra vida y nuestro bienestar.

Por el contrario, con un conocimiento más profundo y una acción más prudente, podemos conseguir para nosotros y para nuestra posteridad unas condiciones de vida mejores en un medio ambiente más en consonancia con las necesidades y aspiraciones del hombre. Las

perspectivas de elevar la calidad del medio ambiente y de crear una vida satisfactoria son grandes. Lo que se necesita es entusiasmo, pero, a la vez, serenidad de ánimo, trabajo afanoso, pero sistemático.

Para llegar a la plenitud de su libertad dentro de la naturaleza, el hombre debe aplicar sus conocimientos a forjar, en armonía con ella, un medio ambiente mejor. La defensa y el mejoramiento del medio ambiente humano para las generaciones presentes y futuras se ha convertido en meta imperiosa de la humanidad, que ha de perseguirse al mismo tiempo que las metas fundamentales ya establecidas de la paz y el desarrollo económico y social en todo el mundo, y de conformidad con ellas.

7. Para llegar a esta meta será menester que ciudadanos y comunidades, empresas e instituciones, en todos los planos, acepten las responsabilidades que les incumben y que todos ellos participen equitativamente en la labor común. Hombres de toda condición y organizaciones de diferente índole plasmarán, con la aportación de sus propios valores y la suma de sus actividades, el medio ambiente del futuro. Corresponderá a las administraciones locales y nacionales, dentro de sus respectivas jurisdicciones, la mayor parte de la carga en cuanto al establecimiento de normas y la aplicación de medidas de gran escala sobre el medio ambiente, también se requiere la cooperación internacional con objeto de allegar recursos que ayuden a los países en

desarrollo a cumplir su cometido en esta esfera.

Y hay un número cada vez mayor de problemas relativos al medio ambiente que, por ser de alcance regional o mundial o por repercutir en el ámbito internacional común, requerirán una amplia colaboración entre las naciones y la adopción de medidas para las organizaciones internacionales en interés de todos. La Conferencia encarece a los gobiernos y a los pueblos que unen esfuerzos para preservar y mejorar el medio ambiente humano en beneficio del hombre y de su posteridad.

II PRINCIPIOS

Expresa la convicción común de que:

PRINCIPIO 1

El hombre tiene derecho fundamental a la libertad, la igualdad y el disfrute de condiciones de vida adecuadas en un medio ambiente de calidad tal que le permita llevar una vida digna y gozar de bienestar, y tiene la solemne obligación de proteger y mejorar el medio ambiente para las generaciones presentes y futuras. A este respecto, las políticas que promueven o perpetúan el apartheid, la segregación racial, la discriminación, la opresión colonial y otras formas de opresión y de dominación extranjera quedan condenadas y deben eliminarse.

PRINCIPIO 2.

Los recursos naturales de la tierra incluidos el aire, el agua, la tierra, la flora y la fauna y especialmente muestras representativas de los ecosistemas naturales, deben preservarse en beneficio de las generaciones presentes y futuras, mediante una cuidadosa planificación u ordenación, según convenga.

PRINCIPIO 3.

Debe mantenerse y, siempre que sea posible, restaurarse o mejorarse la capacidad de la tierra para producir recursos vitales renovables.

PRINCIPIO 4.

El hombre tiene la responsabilidad especial de preservar y administrar juiciosamente el patrimonio de la flora y la fauna silvestres y su hábitat, que se encuentran actualmente en grave peligro por una combinación de factores adversos. En consecuencia, al planificar el desarrollo económico debe atribuirse importancia a la conservación de la naturaleza, incluidas la flora y la fauna silvestres.

PRINCIPIO 5.

Los recursos no renovables de la tierra deben emplearse de forma que se evite el peligro de su futuro agotamiento y se asegure que toda la humanidad comparte los beneficios de tal empleo.

PRINCIPIO 6.

Debe ponerse fin a la descarga de sustancias tóxicas o de otras materias a la liberación de calor, en cantidades o concentraciones tales que el medio ambiente no puede neutralizarlas, para que no se causen daños graves o irreparables a los ecosistemas. Debe apoyarse la justa lucha de los pueblos de todos los países contra la contaminación.

PRINCIPIO 7.

Los Estados deberán tomar todas las medidas posibles para impedir la contaminación de los mares por sustancias que puedan poner en peligro la salud del hombre, dañar los recursos vivos y la vida marina, menoscabar las posibilidades de esparcimiento o entorpecer otras utilidades legítimas del mar.

PRINCIPIO 8.

El desarrollo económico y social es indispensable para asegurar al hombre un ambiente de vida y de trabajo favorable y para crear en la tierra las condiciones necesarias de mejora de la calidad de vida.

PRINCIPIO 9.

Las deficiencias del medio ambiente originadas por las condiciones del subdesarrollo y los desastres naturales plantean graves problemas, y la mejor manera de subsanarlas es el desarrollo acelerado mediante la

transferencia de cantidades considerables de asistencia financiera y tecnológica que completamente los esfuerzos internos de los países en desarrollo y la ayuda oportuna que pueda requerirse.

PRINCIPIO 10

Para los países en desarrollo, la estabilidad de los precios y la obtención de ingresos adecuados de los productos básicos y las materias primas son elementos esenciales para la ordenación del medio ambiente, ya que han de tenerse en cuenta tanto los factores económicos como los procesos ecológicos.

PRINCIPIO 11.

Las políticas ambientales de todos los Estados deberían estar encaminadas a aumentar el potencial de crecimiento actual o futuro de los países en desarrollo y no deberían coartar ese potencial ni obstaculizar el logro de mejores condiciones de vida para todos, y los Estados y las organizaciones internacionales deberían tomar las disposiciones pertinentes con miras a llegar a un acuerdo para hacer frente a las consecuencias económicas que pudieran resultar, en los planos nacional e internacional, de la aplicación de medidas ambientales.

PRINCIPIO 12.

Deberían destinarse recursos a la conservación y mejoramiento del medio ambiente teniendo en cuenta las circunstancias y las necesidades especiales de los países

en desarrollo y cualesquiera gastos que pudieran originar a estos países la inclusión de medidas de conservación del medio ambiente en sus planes de desarrollo, así como la necesidad de prestarles, cuando lo soliciten, más asistencia técnica y financiera internacional con ese fin.

PRINCIPIO 13.

A fin de lograr una más racional ordenación de los recursos y mejorar así las condiciones ambientales, los Estados deberían adoptar un enfoque integrado y coordinado de la planificación de su desarrollo, de modo que quede asegurada la compatibilidad del desarrollo con la necesidad de proteger y mejorar el medio ambiente humano en beneficio de su población.

PRINCIPIO 14.

La planificación racional constituye un instrumento indispensable para conciliar las diferencias que puedan surgir entre las exigencias del desarrollo y la necesidad de proteger y mejorar el medio ambiente.

PRINCIPIO 15.

Debe aplicarse la planificación a los asentamientos humanos y a la urbanización con miras a evitar repercusiones perjudiciales sobre el medio ambiente y a obtener los máximos beneficios sociales, económicos y ambientales para todos. A este respecto deben abandonarse los proyectos destinados a la dominación colonialista y racista.

PRINCIPIO 16

En las regiones en que exista el riesgo de que la tasa de crecimiento demográfico o las concentraciones excesivas de población perjudiquen al medio ambiente o desarrollo, o en que la baja densidad de población pueda impedir el mejoramiento del medio ambiente humano y obstaculizar el desarrollo, deberían aplicarse políticas demográficas que respetasen los derechos humanos fundamentales y contasen con la aprobación de los gobiernos interesados.

PRINCIPIO 17.

Debe confiarse a las instituciones nacionales competentes la tarea de planificar, administrar o controlar la utilización de los recursos ambientales de los Estados con el fin de mejorar la calidad del medio ambiente.

PRINCIPIO 18.

Como parte de su contribución al desarrollo económico y social se debe utilizar la ciencia y la tecnología para descubrir, evitar y combatir los riesgos que amenazan al medio ambiente, para solucionar los problemas ambientales y para el bien común de la humanidad.

PRINCIPIO 19.

Es indispensable una labor de educación en cuestiones ambientales, dirigida tanto a las generaciones jóvenes

como a los adultos y que preste la debida atención al sector de población menos privilegiado, para ensanchar las bases de una opinión pública bien informada, y de una conducta de los individuos, de las empresas y de las colectividades inspirada en el sentido de su responsabilidad en cuanto a la protección y mejoramiento del medio ambiente en toda su dimensión humana. Es también esencial que los medios de comunicación de masas eviten contribuir al deterioro del medio ambiente humano y difundan, por el contrario, información de carácter educativo sobre la necesidad de protegerlo y mejorarlo, a fin de que el hombre pueda desarrollarse en todos los aspectos.

PRINCIPIO 20.

Se deben fomentar en todos los países, especialmente en los países en desarrollo, la investigación y el desarrollo científicos referentes a los problemas ambientales, tanto nacionales como multinacionales. A este respecto, el libre intercambio de información científica actualizada y de experiencia sobre la transferencia debe ser objeto de apoyo y asistencia, a fin de facilitar la solución de los problemas ambientales; las tecnologías ambientales deben ponerse a disposición de los países en desarrollo en unas condiciones que favorezcan su amplia difusión sin que constituyan una carga económica para esos países.

PRINCIPIO 21.

De conformidad con la carta de las Naciones Unidas y con los principios del derecho internacional, los Estados tienen el derecho soberano de explotar sus propios recursos en aplicación de su propia política ambiental, y la obligación de asegurarse de que las actividades que se lleven a cabo dentro de su jurisdicción o bajo su control no perjudiquen al medio ambiente de otros Estados o de zonas situadas fuera de toda jurisdicción nacional.

PRINCIPIO 22.

Los Estados deben cooperar para continuar desarrollando el derecho internacional en lo que se refiere a la responsabilidad y a la indemnización a las víctimas de la contaminación y otros daños ambientales que las actividades realizadas dentro de la jurisdicción o bajo el control de tales Estados causen a zonas situadas fuera de su jurisdicción.

PRINCIPIO 23.

Sin perjuicio de los criterios que puedan acordarse por la comunidad internacional y de las normas que deberán ser definidas a nivel nacional, en todos los casos será indispensable considerar los sistemas de valores prevalecientes en cada país y la aplicabilidad de unas normas que, si bien son válidas para los países más avanzados, pueden ser inadecuadas y de alto costo social para los países en desarrollo.

PRINCIPIO 24.

Todos los países, grandes o pequeños, deben ocuparse con espíritu de cooperación y en pie de igualdad de las cuestiones internacionales relativas a la protección y mejoramiento del medio ambiente. Es indispensable cooperar, mediante acuerdos multilaterales o bilaterales o por otros medios apropiados, para controlar, evitar, reducir y eliminar eficazmente los efectos perjudiciales que las actividades que se realicen en cualquier esfera puedan tener para el medio ambiente, teniendo en cuenta debidamente la soberanía y los intereses de todos los Estados.

PRINCIPIO 25.

Los Estados se asegurarán que las organizaciones internacionales realicen una labor coordinada, eficaz y dinámica en la conservación y mejoramiento del medio ambiente.

PRINCIPIO 26.

Es preciso librar al hombre y a su medio ambiente de los efectos de las armas nucleares y todos los demás medios de destrucción en masa. Los Estados deben esforzarse por llegar pronto a un acuerdo, en los órganos internacionales pertinentes, sobre la eliminación y destrucción completa de tales armas.

Después de Estocolmo

Después de Estocolmo, comenzaron a verse cambios en los gobiernos nacionales: se formaron los primeros partidos políticos verdes, se crearon algunos Ministerios de Medio Ambiente y comenzó a desarrollarse una importante cantidad de legislación ambiental. Se crean organizaciones gubernamentales y no gubernamentales (ONG's) destinadas a tratar la cuestión.

Comienza a modificarse el derecho interno de los Estados y a principios vinculados con las políticas ambientales. Se consolidan las Organizaciones no Gubernamentales Internacionales: Como la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales (1948 - Fontainebleau), el Fondo Mundial para la Naturaleza y Greenpeace. Estas instituciones, en principio, se mantienen independientes de los gobiernos de los Estados y de los partidos políticos, pero han tenido una importante influencia en la construcción del Derecho Ambiental Internacional.

En 1987, el informe de la Comisión Mundial del Medio Ambiente, denominada "Nuestro Futuro Común", arroja consideraciones sobre las estrategias ambientales a largo plazo, para lograr un desarrollo sostenible.

En ese documento se acuñó el concepto de desarrollo sostenible —definido como "la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer

sus propias necesidades"

En esta época, comenzaron a manifestarse algunos de los problemas ambientales globales que hasta hoy nos aquejan como el agotamiento de la capa de ozono, los riesgos para la diversidad biológica y la amenaza del cambio climático. La cooperación internacional era absolutamente necesaria y los países desarrollados tendrían que ayudar a los países más pobres para que la humanidad fuera capaz de afrontar tales desafíos.

En 1987, se firmó el Protocolo de Montreal para combatir el agotamiento de la capa de ozono. Este acuerdo internacional ha sido un ejemplo de cooperación internacional exitosa, y se cree que gracias a él la capa de ozono podría recuperarse para el 2050.

Época Moderna Contemporánea

Dentro del proceso de paz regional, se generó la decisión tomada en Costa del Sol, El Salvador, en febrero de 1989, por los presidentes de Costa Rica, Nicaragua, El Salvador, Honduras y Guatemala, de establecer un convenio regional que creó la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), como organismo especializado en el medio ambiente y el desarrollo, ligando estos dos conceptos a su mandato. Posteriormente se acordó establecer una estructura organizacional para la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo.

Entre sus objetivos se contempla el valorizar y proteger

el Patrimonio Natural de la Región; la búsqueda y adopción de estilos de desarrollo sostenible; determinar áreas prioritarias de acción, tales como protección de cuencas hidrográficas y ecosistemas compartidos; manejo de bosques tropicales, control de la contaminación en centros urbanos y regulación de sustancias y residuos tóxicos y peligrosos.

La Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro

En 1992, durante esta Conferencia, dos convenciones fueron presentadas para firma de los países: el Convenio sobre la Diversidad Biológica y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). También se estableció la Declaración de Río, que reafirmó la Declaración de Estocolmo y el programa de acción Agenda 21, el cual aún guía a gobiernos y actores no estatales en las actividades de protección del ambiente. En Río, ante la evidencia cada vez más contundente de que las actividades humanas en busca del crecimiento económico eran las responsables de las principales amenazas ambientales, el concepto central continuó siendo el desarrollo sostenible.

Dos principios de la Declaración de Río merecen especial consideración: el Principio de Precaución, la forma más avanzada de prevención e importante en la conformación del DIA moderno; y el Principio 10, que reconoce el derecho a la información, a la participación y a la justicia en asuntos ambientales. El Principio 10 dio lugar en 1998 al Convenio de Aarhus, vinculante para

Europa y Asia Central; y es el antecesor del Acuerdo de Escazú, que busca el reconocimiento de esos derechos para Latinoamérica. Ese reconocimiento es considerado también un hito importante en la construcción del DIA pues explica y muestra el surgimiento de la sociedad civil como actor cada vez más importante y activo en la protección ambiental global.

Después de Río, todos los tratados económicos importantes comenzaron a incluir la protección ambiental. Un caso ejemplar es el Acuerdo de Marrakech, por el cual se creó la Organización Mundial del Comercio en 1994 y que fue el primer tratado económico en reconocer las metas de desarrollo sostenible y protección del ambiente

La Convención sobre el Cambio Climático merece mención especial ya que, desde 1995, sus firmantes se han reunido cada año en la llamada Conferencia de las Partes (COP). En ese marco, en 1997, se presentó el Protocolo de Kioto que, a pesar de no haber sido exitoso en mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, fue el primer acuerdo internacional en establecer obligaciones jurídicamente vinculantes para los países desarrollados.

En el 2000, 189 países adoptaron en Nueva York la Declaración del Milenio, que fortaleció la importancia del desarrollo sostenible al reconocer la necesidad de un crecimiento económico sostenible con un enfoque en los pobres y en el respeto a los derechos humanos.

Dos años más tarde, en 2002, representantes de 190 países acudieron a la Cumbre Mundial de la ONU sobre el Desarrollo Sostenible, en Johannesburgo, para dar seguimiento a los compromisos de la Cumbre de Río. En esa ocasión, adoptaron la Declaración sobre el Desarrollo Sostenible, centrada en el desarrollo y la erradicación de la pobreza con un enfoque jurídico-económico sobre las “asociaciones público-privadas”. Y en 2012, la ONU organizó la tercera Conferencia sobre el Desarrollo Sostenible, conocida como Río + 20, la cual convocó a 192 Estados miembros, empresas del sector privado, ONG y otras organizaciones. El resultado fue un documento no vinculante llamado El Futuro que Queremos. En el documento, los Estados renuevan su compromiso con el desarrollo sostenible y la promoción de un futuro sostenible.

El Protocolo de Kioto para enfrentar el cambio climático dio paso al Acuerdo de París (2016), donde los países firmantes se comprometieron a hacer todo lo posible por evitar que la temperatura promedio del planeta supere los 2°C, respecto de los niveles preindustriales, y ojalá se mantenga debajo de los 1.5°C. La relación entre derechos humanos y cambio climático fue reconocida en su preámbulo. Al haber sido ratificado por casi todos los países del mundo, tiene un potencial inmenso como instrumento de derecho internacional. De hecho, recientemente en Inglaterra se dictó la primera sentencia que impidió una obra (la ampliación de un aeropuerto), bajo el argumento de que el país incumpliría

el Acuerdo de París.

Un hito contemporáneo de gran relevancia, sobre todo para Latinoamérica, es la Opinión Consultiva 23 (2017) sobre medioambiente y derechos humanos de la Corte Interamericana de Derechos Humanos. En ella la Corte reconoció por primera vez el derecho a un ambiente sano como fundamental para la existencia humana, así como los impactos de la degradación ambiental y del cambio climático en los derechos humanos.

Finalmente, vale la pena mencionar la construcción actual de un instrumento internacional jurídicamente vinculante para la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica marina en áreas fuera de la jurisdicción nacional. En reconocimiento del papel crucial que juega el océano en la salud del planeta y sobre todo en la estabilidad del clima, salvaguardar las inmensas y misteriosas áreas en alta mar parece del todo necesario.

Bibliografías

Alejandrapia. (18 de noviembre de 2016). Química Ambiental. Obtenido de Química de la hidrosfera: <https://monterreyabstracto.wordpress.com/2016/11/13/quimica-de-la-hidrosfera/>

BAVER, L., GARDNER, W., & GARDNER, W. (1973). Física de suelo. México.: U.T.E.H.A. .

Besoain , E. (1985). Mineralogía de arcillas de suelos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica, pp.1205 .

Bonneau, M., & Levy, G. (1979). Assemblage et organisation physique des particules. In: M. Bonneau et B. Souchier (ed.). Pédologie 2: Constituants et propriétés du sol. Elsevier. Masson. Paris, France , pp. 234-250.

BUOL, S., HOLE, F., & SOUTHARD., M. R. (1997). Soil Genesis and Classification. . Iowa U. S. A. : Ed. Iowa State University Press.

Burbano, H. (1989). El Suelo: Una visión sobre sus componentes biorgánicos. Universidad de Nariño. Pasto, pp. 447.

Caldwell, L. (1993). Ecología, Ciencia y política medioambiental. Madrid:: McGraw-Hill,.

CANIPEC. (16 de Noviembre de 2018). CANIPEC. Obtenido de ¿Qué es la química verde?: <http://canipec.org>.

mx/la-quimica-verde/#_ftn1

De Paula, F. (2016). HiTos de la química del suelo. Químicos del sur , (pág. 13).

De Paula, F. (2016). Hitos de la Química del Suelo. Conferencias. Químicos del Sur, pp. 13-16.

Domènech, X. (1997). Química Ambiental. El impacto ambiental de los residuos. Madrid: Miraguano ediciones,.

EcuRed. (2018). EcuRed . Obtenido de Química de la biósfera: https://www.ecured.cu/Qu%C3%ADmica_de_la_bi%C3%B3sfera

EPA. (2001). Guía del ciudadano: Técnicas de tratamiento innovadoras para suelos contaminados, fango residual, sedimentos y detritos. Environmental Protection Agency of United States (EPA), pp. 1-4.

FAO. (2015). Los suelos almacenan y filtran el agua. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Alimentación (FAO). Año Internacional de los Suelos 2015, pp. 1.

FAO. (2015). Objetivos del Desarrollo Sostenible. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-post-2015/land-and-soils/es/>.

FAO. (2016). Estado Mundial del Recurso Suelo. Resu-

men Técnico . Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma, pp.92.

Fassbender , H. (1982). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA. San José. Costa Rica, pp.398.

FCH. (s/f). Manual de Tecnologías de Remediación de Suelos Contaminados. Fundación Chile (FCH), pp.116.

Fiuzza, A. (2009). Reabilitação de solos e aquíferos contaminados. 9 ed, pp.299.

Garrido, I. (2016). Aplicación de técnicas de remediación (fotocatálisis heterogénea y solarización) para minimizar la presencia de residuos de insecticidas en agua y suelo. Universidad de Murcia, España, pp.207.

HILLEL, D. (1998). Environmental soil physics. San Diego. U.S.A.: Academic Press. .

Ibáñez, J. (2007). El suelo y su degradación. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, pp. 1- 4.

Ibañez, J. (2008). El Aire del Suelo: La Atmósfera del Sistema Edáfico. Consejo Superior de Investigaciones científicas (CSIC).

INIA. (2015). Semana de la Ciencia y Tecnología Jornada de Puertas Abiertas. INIA Tacuarembó. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Uruguay, pp. 1-19.

Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia, pp.619.

JARAMILLO, D., PARRA, L., & GONZÁLEZ, L. (1994). *El recurso suelo en Colombia: Distribución y Evaluación*. Universidad Nacional de Colombia. . Medellín.: Instituto de Ciencias Naturales y Ecología – ICNE - .

Jímenez, J. (2008). *Ecología, factores ambientales y relaciones en los ecosistemas*.

Karlen, D., & Otros. (1997). *Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, pp. 4-10.

Kumada, K. (1987). *Chemistry of soil organic matter*. Japan Scientific Societies Press. Elsevier. Tokyo, pp. 241.

López, V. (2018). CEUPE . Obtenido de *Qué es la Biósfera ?*: <https://www.ceupe.com/blog/que-es-la-biosfera.html>

Manahan, S. (2007). *Introducción a la química ambiental*. Manahan. España : Reverté.

Marino, D. (2009). *Medio Ambiente . Colombia .*

McCauley, A., Jones, C., & Jacobsen, J. (2005). *Basic soil properties*. *Soil & Water Management Module 1*, pp. 12.

Motta, B. (1990). *Métodos analíticos del Laboratorio de Suelos*. 5ª. Ed. IGAC. Bogotá, pp.502.

OPS. (1991). *Organización Panamericana de la Salud. Orientaciones estratégicas y prioridades programáticas 1991–1994*. Washington, DC: OPS.

Ordóñez, G. (2000). *Salud ambiental: conceptos y actividades*. *Rev Panam Salud Publica/Pan Am J Public Health*, 7(3).

Orosco, F. (1999). *Biología del nitrógeno. Conceptos básicos sobre sus transformaciones biológicas*. Tomo I. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín, Colombia, pp.231.

Peña , C. (2010). *El Agua en el Suelo*. Universidad de Los Andes (ULA). Mérida. Venezuela, pp.79.

Ruiz, B. (2014). *Sistemas edáficos y sistemas de producción de alimentos terrestres y sociedades*. *Sistemas Ambientales y Sociedades*. Tema 5, pp. 54.

Sabino, J. (2020). *Trasero del espacio . Obtenido de https://eltrasterodepalacio.wordpress.com/*

Thiller, M. (2007). *Ciencia Ambiental: Desarrollo Sostenible. un Enfoque Integra*. Cengage Learning Latin America.

Trelles, M. (2015). *Aplicación de Técnicas Biológicas en la Remediación de Suelos Contaminados con Benceno y Biodiésel*. Universidad Do Porto. Trabajo de Grado., pp.92.

Udelar. (2015). *Agua en el Suelo*. Universidad de la

República del Uruguay (Udelar). Facultad de Agronomía. <http://www.fagro.edu.uy/hidrologia/paisajismo/AGUA%20EN%20EL%20SUELO.pdf>, pp. 1-12.

Van Konijnenburg, A. (2006). Agricultura Orgánica. El Suelo: Componentes físicos. Estación Experimental Agropecuaria. INTA, pp.1-17.