

Convirtiendo el negro a verde en los suelos venezolanos

Turning the black into green in the venezuelan's soils

Esp. Arq. Silvia Mercader Ferri

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3632-6058>

Correo-e: silvia33m@gmail.com

Recibido: Mayo 15/2024 / Aceptado: Agosto 5/2024

Resumen

El presente trabajo de investigación pretende generar una estrategia que permita la recuperación de los terrenos contaminados por la empresa petrolera estatal venezolana-PDVSA en el sector de Catia la Mar del estado La Guaira, una vez que sea removida la planta distribuidora ahí ubicada para que posteriormente, estos suelos públicos puedan ser aprovechados de manera más activa por los habitantes que se encuentren en las cercanías. Para ello, por medio de tecnologías fitorremediadoras, se elaborarán criterios de descontaminación de esos suelos degradados con el fin de recuperar un paisaje totalmente devastado por la industria petrolera. Esta recuperación se llevará a cabo partiendo de un estudio previo del lugar utilizando el método de superposición de capas dictadas por Ian McHarg, donde se podrán identificar las variables físicas, bióticas y socioculturales de este terreno, para abordar el problema no solo desde el punto de vista ecológico, sino también tomando en cuenta la interacción con su contexto inmediato. Como producto final, estas estrategias buscarán generar una propuesta basándose en los criterios de un parque urbano que sirva al sector de Catia la Mar, donde sus habitantes puedan desarrollar sus actividades recreativas, económicas y culturales en un espacio con mayor contacto con la naturaleza.

Descriptores

Hidrocarburos; degradación de suelos; fitorremediación; parque urbano.

Abstract

This work aims to generate a strategy that allows the recovery of contaminated lands owned by PDVSA, in the región of Catia la Mar, La Guaira state, once the distribution plant is removed. Subsequently, these soils can be put on public use, where residents of Catia la Mar can take advantage of them more actively. Through phytoremediation technologies, criteria for decontamination of these degraded soils will be developed in order to recover a totally devastated landscape by the oil industry. This recovery will be implemented through a prior study of the site using the layer superposition described by Ian McHarg, where physical, biotic and sociocultural variables of this land can be identified, to address the problem not only from an ecological point of view, but also into its interaction with its immediate context. As a final product, their strategies will seek to generate a project based on the criteria of an urban park, that serves the Catia la Mar sector, where its inhabitants can carry out their recreational, economic and cultural activities in a space with greater contact with nature.

Descriptors

Hydrocarbons; soil degradation; phytoremediation; urban park.

“La arquitectura usa las ciencias matemáticas, físicas e ingeniería en sus esfuerzos por alcanzar un resultado de valor estético y social. De manera análoga, los restauradores deben usar la ecología y muchas veces la geología, edafología y más para lograr resultados de valor social. A menudo, sus resultados poseen además gran belleza. Tal vez, “arquitectura ecológica” podría ser una caracterización más acertada del trabajo de restauración ecológica, pues el término reconoce los roles centrales que juegan los valores y la ciencia”.

Davis y Slodokin, 2004, p.1

La supervivencia de nuestra sociedad está ligada a la salud de nuestros suelos. Por desgracia, en las últimas décadas, este recurso se ha degradado rápidamente como consecuencia de una serie de amenazas derivadas de la actividad humana: la erosión, la pérdida de materia orgánica, la contaminación, la impermeabilización o sellado (por la construcción de viviendas, carreteras y otras infraestructuras), la compactación (derivada de la utilización de maquinaria pesada, la intensidad del pastoreo, etc.), la disminución de la biodiversidad, la salinización, las inundaciones y, finalmente, los deslizamientos de tierra (Garbisu, Becerril et al., 2007). Todos estos efectos secundarios de la sobreactividad del hombre traen consigo muchos problemas tanto a nivel ambiental como a nivel del bienestar de los seres vivos que lo rodean.

El problema: la presencia del “Negro” en los suelos

Este trabajo se centra principalmente en la recuperación de suelos degradados por hidrocarburos, entendiendo que la “degradación de suelos” se caracteriza por su pérdida de vegetación y suelo útil (Gálvez, 2002).

Una de las actividades que más degradación de suelos genera en Venezuela, es la práctica de extracción y almacenamiento de hidrocarburos, la cual es también una de las actividades económicas más importantes del país.

Cuando se produce un contacto directo entre el suelo y el hidrocarburo almacenado, este último impide el intercambio gaseoso de la

tierra con la atmósfera, iniciando una serie de procesos físico-químicos, tales como evaporación y penetración, que aletargan los procesos naturales del suelo y así aumentan su toxicidad (Benavides, 2006).

Actualmente, en Venezuela existen más de 300 plantas almacenadoras y distribuidoras de derivados del petróleo. Generalmente, estas zonas industriales fueron ubicadas en sus inicios en las afueras de cascos urbanos, pero debido al constante crecimiento poblacional esas industrias quedaron rodeadas por zonas de viviendas y comercios que hicieron más cercano el contacto de los habitantes con la actividad petrolera.

Eventualmente, estos terrenos, al momento de encontrarse en desuso por cualquier situación externa, terminarán siendo un vacío en la trama urbana en la que se verán envueltos, debido a su incapacidad de producir en el área petrolera, pero tampoco podrán ser suelos que se puedan utilizar para algún tipo de actividad por sus altos niveles de toxicidad.

Caso de estudio: planta distribuidora de productos derivados del petróleo en Catia la Mar, Venezuela

La Planta de Distribución de Combustibles de Petróleos de Venezuela-PDVSA es una instalación que data de los años 1952-1953. Esta planta contaba con diversos patios de almacenamiento, con alrededor de 26 tanques destinados a reservar los productos derivados de hidrocarburos. Su funcionamiento perduró hasta el año 2007, cuando instancias gubernamenta-

les procedieron al cierre de esta distribuidora y propusieron dismantelar y convertir estos espacios en un desarrollo urbanístico. Para el año 2012 ya se había cumplido con la etapa de dismantelamiento de los tanques, pero en el año 2015, a raíz de una fuerte explosión que se produjo en los alrededores de estas instalaciones durante la excavación previa a la colocación de pilotes del proyecto, la construcción fue totalmente paralizada, abandonando todas las actividades de remediación de suelos pertinentes y catalogando estos terrenos como “peligrosos” para su utilización.

Realizando un trabajo de análisis de factores físicos, bióticos y socioculturales en la zona conocida como Catia la Mar durante la experiencia de taller en la especialización de arquitectura paisajista en la FAU-UCV, se pudo observar que esta es una zona con alta densidad poblacional que, sin embargo, no posee suficientes espacios de disfrute, más allá de los que derivan del hecho de estar en contacto con la franja costera.

Adicionalmente, relacionando los espacios verdes abiertos disponibles en la zona y el porcentaje de habitantes por edades, pudimos constatar un fuerte déficit de lugares para el desahogo para una población que en su mayoría no superaba los 30 años de edad.

Actualmente, Catia la Mar cuenta con una población de 85.366 habitantes. Atendiendo a recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud-OMS que considera se debe disponer de al menos 10 m² de área verde por habitante, eso nos da –para esta zona– un total de 853.660 m², de ahí que se podría disponer con al menos 311.615 m² destinados a estos fines si pensamos en considerar los antiguos terrenos de la industria de PDVSA en este sector como un futuro espacio abierto a la ciudad.

Gracias a la información obtenida durante los trabajos previos al proyecto de Desarrollo Urbano de Catia la Mar, se pudo conocer las concentraciones de hidrocarburos almacenados en los suelos de esta propiedad (imagen 1).

Este esquema se tomará como punto de partida para la definición de las estrategias de recuperación de estos espacios degradados.

Todos estos estudios dieron luces a la intención de generar un proyecto que evite cualquier otra catástrofe en el futuro, un proyecto que no requiera demasiada manipulación de los suelos y que se pueda remediar sin permitir la extensión de la zona contaminada. Adicionalmente, se busca un espacio que brinde a los habitantes de Catia la Mar, un espacio de desahogo que promueva el bienestar tanto de la comunidad, como también del ecosistema que la rodea.

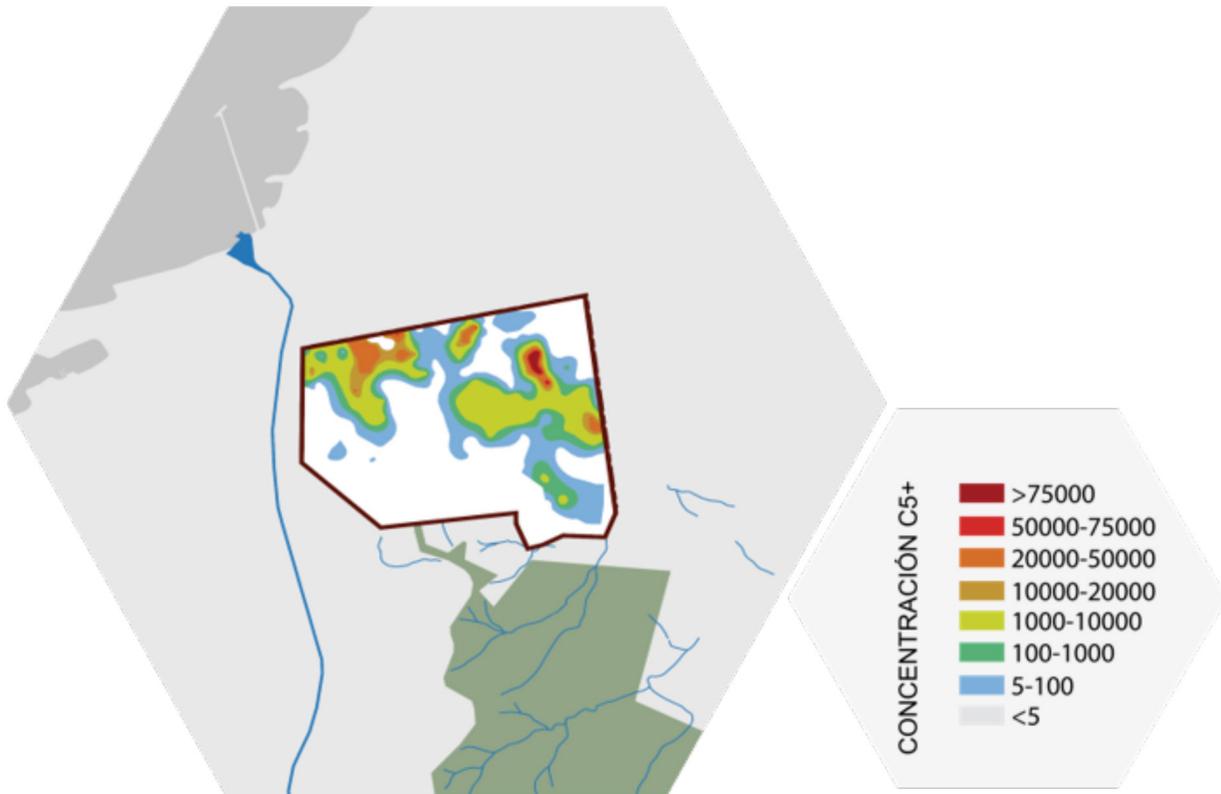
El camino al “Verde”

La Society for Ecological Restoration International-SER define la restauración ecológica como “la actividad intencional que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema nativo con respecto a su salud, integridad y sustentabilidad. Referencialmente, se puede definir, de una forma general, como el proceso de ayudar a la recuperación de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido” (SER, 2004, p. 3).

Hoy en día se cuenta con diversas estrategias para el tratamiento de suelos con alto contenido de hidrocarburos, suelos que se pueden clasificar atendiendo a dos características distintas: los llamados “*ex situ*”, en los cuales por medio de una excavación del suelo afectado se organiza su traslado a una instalación destinada a su tratamiento para luego ser reinsertados en su lugar de origen; y, por otro lado, los denominados “*in situ*”, para los cuales todo tipo de tratamiento se realiza directamente sobre el suelo afectado (Carrasquel, 2016).

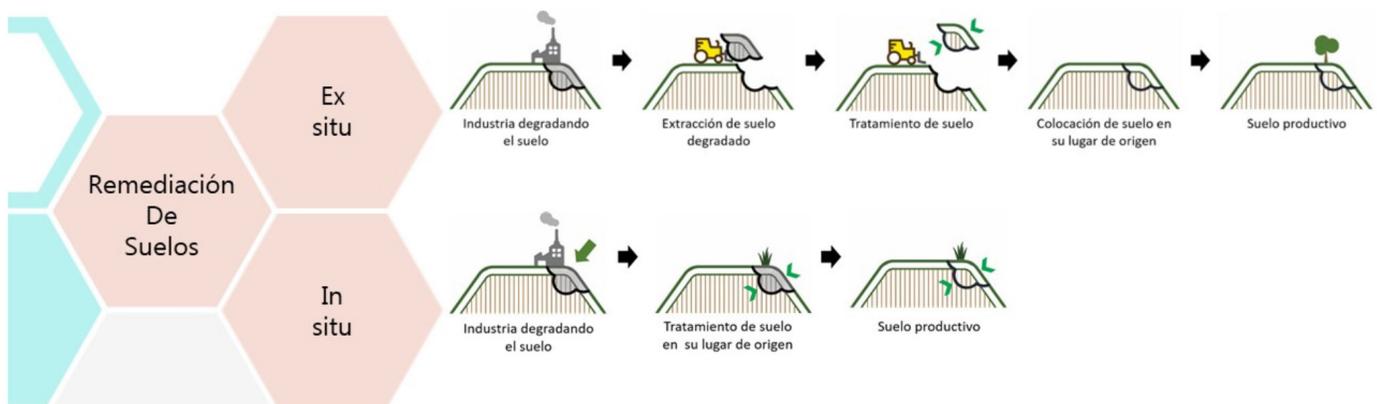
De manera resumida, podemos mencionar entonces dos técnicas de remediación de suelos: remediación *ex situ* y remediación *in situ* que como sus nombres indican se diferencian en que el saneamiento de suelos se realice fuera de su lugar de origen o dentro del mismo.

Imagen 1. Grados de contaminación de la planta distribuidora de hidrocarburos de PDVSA en Catia la Mar



Fuente: Información extraída del *Informe final del desarrollo urbanístico y habitacional Catia la Mar*, 2012.

Imagen 2. Esquema de remediación *ex situ* e *in situ*



Fuente: elaboración propia.

Para el caso del trabajo que nos ocupa, se decidió que la remediación *in situ* era la más indicada, no sólo porque involucraba menor costo y mano de obra, también porque posee menos riesgos de contaminación externa ocasionados por el traslado de material altamente contaminado.

Dentro del campo de la remediación *in situ*, existen diversas herramientas para el manejo de suelos contaminados. Se pueden emplear animales, bacterias e incluso plantas que tengan la habilidad de tratar la degradación de suelos. En este caso utilizamos las plantas como base para el tratamiento, por eso nos referimos

a la fitorremediación, una tecnología aplicada *in situ*, no destructiva, de bajo costo, basada en el uso de plantas que tienen la propiedad de acumular metales pesados y demás contaminantes para disminuir su concentración. Esta técnica estimula la actividad microbiana en la rizosfera para degradar los contaminantes de los suelos, consiguiendo la remoción, transferencia, estabilización y neutralización de compuestos orgánicos e inorgánicos tóxicos (Merkel, Schultze-Kraft e Infante, 2004; Sierra Villagrana, 2006; Ferrera-Cerrato et al., 2007).

Los microorganismos que habitan en la rizosfera juegan un papel muy importante en la degradación de la materia orgánica. Los metabolismos generados de esta degradación son absorbidos por las plantas junto con el nitrógeno, el fósforo y otros minerales (Garbisu et al., 2007).

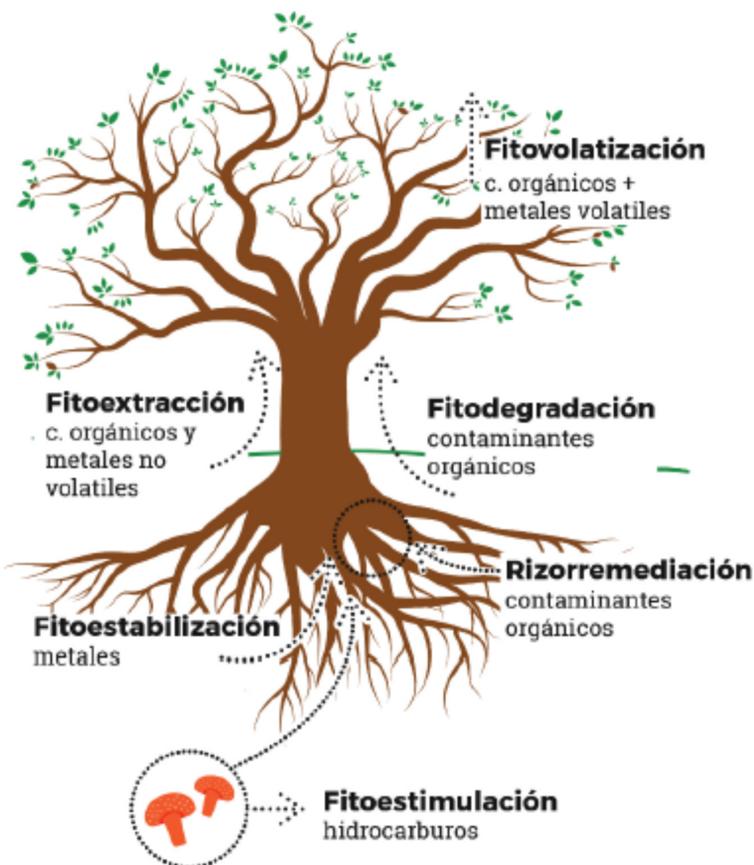
Para generar una fitorremediación de contaminantes orgánicos, se toman en cuenta los siguientes aspectos: el metabolismo de los contaminantes al interior y exterior de la planta; los procesos que conducen a la completa degradación de los contaminantes, y la absorción de dichos contaminantes (Reuchernauer y Germida, 2008).

Las plantas metabolizan los compuestos orgánicos a través de los siguientes tres pasos (imagen 3):

- FASE I: involucra la conversión/activación (oxidación, reducción e hidrólisis) de los compuestos orgánicos lipofílicos (Komives y Gullner, 2005).
- FASE II: permite la conjugación de los metabolitos de la FASE I a una molécula hidrofílica endógena como los azúcares, los aminoácidos, etc. (Dietz y Schnoor, 2001).
- FASE III: Promueve la compartimentalización de los compuestos orgánicos modificados en las vacuolas o la formación de enlaces con los componentes de la pared celular como la lignina y la hemicelulosa.

Para el caso de remediación de suelos degradados por contaminantes derivados de los

Imagen 3. Esquemas de fitorremediación



Fuente: elaboración propia con base en Núñez López et al., 2004.

hidrocarburos, se pensó en plantas que puedan realizar la *fitoestimulación*, donde se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradados (bacterias y hongos en las raíces).

La forma en que la planta ayuda a la remediación de estos suelos se podría explicar de la siguiente manera: la planta tiene la habilidad de absorber por su sistema radicular los agentes contaminantes y almacenarlos sin generar más desperdicios, siendo así, la planta se desarrolla de manera natural y en el momento en que llega al fin de su ciclo de vida, la planta es extraída de su lugar de origen y se planta otra en su lugar para que continúe con el mismo trabajo.

Para la selección de las plantas indicadas para llevar a cabo estos procesos, se tomaron en cuenta varios factores. Si bien la capacidad fitorremediadora de la planta es una cualidad primordial, debemos tener en cuenta que el material vegetal seleccionado debe contar con otros requisitos, fundamentalmente, que la planta se encuentre localmente en el país, ya que importar plantas foráneas no sólo puede tener un costo muy elevado, sino que también podría afectar al ecosistema sobre el que queremos actuar. Adicionalmente, es necesario recordar el contexto en donde este proyecto se está llevando a cabo, por ello es necesario encontrar plantas que soporten elevadas temperaturas y –debido a la proximidad del mar– que sean resistentes a ciertos niveles de salinidad.

Después de tener en cuenta lo anteriormente descrito, se prosiguió a filtrar un listado de plantas tropicales con capacidades fitorremediadoras elaborado por Núñez López et al. (2004). Dicho listado se puede utilizar como base para un primer acercamiento a especies fitorremediadoras que puedan desarrollarse en cualquier tipo de suelo en climas tropicales tomando en cuenta que los procesos de fitorremediación en zonas tropicales tienen mayor porcentaje de éxito debido a que las temperaturas suelen ser más estables, manteniéndose usualmente entre los 20°C y 30°C (Merkl,

Schultze-Kraft e Infante, 2004; Cheng and Mulla, 1999), lo que permite un crecimiento óptimo en las plantas y hace que su actividad microbiana sea mayor.

Ya que la fitorremediación para suelos contaminados por petróleo depende directamente de la actividad de las plantas en la rizosfera, es importante estudiar el comportamiento de las raíces de las plantas tropicales, teniendo en cuenta la capacidad de dichas plantas para degradar las condiciones físicas y químicas de suelo contaminado, incrementando su aireación y a su vez proveyendo oxígeno para la degradación de dichos contaminantes. Adicionalmente, es importante acotar que las enzimas con capacidad de transformar los contaminantes orgánicos, son capaces de devolverlos directamente al suelo, en lugar de liberarlos a la atmósfera (Günther et al., 1996). Por lo tanto, el sistema radicular, así como su forma, profundidad y crecimiento, son los parámetros clave para identificar las plantas adecuadas para llevar a cabo esta labor fitorremediadora.

Durante los experimentos realizados por Merkl, Shultze-Kraft e Infante (2004), se recolectaron únicamente especies herbáceas de porte bajo, debido a que los árboles y arbustos de mayor porte requieren mayor esfuerzo de espacio y mantenimiento, en contraposición con las rastreras y gramíneas. Todas las plantas recolectadas fueron identificadas por el Jardín Botánico de Caracas, bajo la supervisión y el aporte del profesor M. Ramia.

Las especies recolectadas provienen de una zona de producción petrolera en El Tigre, estado Anzoátegui, donde los suelos son mayormente arenosos y ácidos (pH 4.5-5.5) y pobres en nutrientes y material orgánico. La precipitación anual de la región es de 1010 mm y su temperatura media anual es de 26°C, con poca variación mensual. La estación de mayor pluviosidad se sitúa entre mayo y noviembre, mayormente concentrada entre junio y octubre. Los experimentos realizados, arrojaron las especies vegetales que se registran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Especies vegetales fitorremediadoras

Especies fitorremediadoras en Venezuela					
Nombre científico	Familia	Densidad	Ciclo de vida	Distribución	
<i>Chamaecrista rotundifolia</i>	Caesalpineae	m,m	(bi)anual	Pantropical	
<i>Chamaecrista hispidula</i>	Caesalpineae	l,l	perenne	(sub) Tropical, América	
<i>Chamaecrista flexuosa</i>	Caesalpineae	l	perenne	(sub) Tropical, América	
<i>Aeschynomene brasiliana</i>	Fabaceae	h	perenne	(sub) Tropical, América	
<i>Aeschynomene histrix</i>	Fabaceae	l	perenne	(sub) Tropical, América	
<i>Aeschynomene L. sp</i>	Fabaceae	l	?		
<i>Desmodium glabrum</i>	Fabaceae	h	perenne	(sub) Tropical, América	
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Fabaceae	h	(bi)anual	Amplia distribución en el trópico	
<i>Centrosema brasilianum</i>	Fabaceae	m,m	perenne	Especies cultivadas. (sub) tropical, América	
<i>Centrosema molle</i>	Fabaceae	l	perenne	Especies cultivadas. (sub) tropical, América	
<i>Stylosanthes capitata Vogel</i>	Fabaceae	m,h,l	perenne	Especies cultivadas. (sub) tropical, América	
<i>Zornia latifolia Sm.</i>	Fabaceae	m	perenne	Suramérica o América del Sur	
<i>Zornia filifolia Domin</i>	Fabaceae	l	perenne	Sin información	
<i>Mimosa comporm Benth</i>	Mimosaceae	m	anual	(sub) Tropical, América	
<i>Mimosa orthocarpa Spruce</i>	Mimosaceae	h	anual	Mexico, Norte / Suramérica o América del Sur	
<i>Mimosa sominians Humb.And Bonpl Ex Willd</i>	Mimosaceae	l	anual	(sub) Tropical, América	
<i>Schrankia lentocarpa DC</i>	Mimosaceae	H,H	anual	(sub) Tropical, América, África	
<i>Cyperus aggregatus (Willd.) Endl.</i>	Cyperaceae	m,m,m	perenne	(sub) Tropical, América	
<i>Cyperus compressus L.</i>	Cyperaceae	l,l	anual	(sub) Tropical, América, África	
<i>Fimbristylis cymosa R. Br.</i>	Cyperaceae	m	anual	(sub) Tropical, América	
<i>Andropogon fastigiatus Sw.</i>	Poaceae	m	anual	(sub) Tropical, América, África	
<i>Anthephora hermaphrodita (L.) Kuntze</i>	Poaceae	h	anual	Toda America tropical	
<i>Aristida pittieri Henrard</i>	Poaceae	M	perenne	Venezuela, Colombia, Guyana	
<i>Aristida riparia Trin.</i>	Poaceae	l	perenne	Desde Panamá hasta Brasil	
<i>Aristida venezuelae Henrard</i>	Poaceae	l	perenne	Venezuela, Ecuador	
<i>Axonopus anceps (Mez) Hitchc.</i>	Poaceae	m	perenne	Desde Trinidad hasta Brasil	
<i>Axonopus canescens (Nees) Pilg.</i>	Poaceae	m	perenne	Venezuela	
<i>Brachiaria brizantha (Hochst, ex A. Rich.)</i>	Poaceae	h	perenne	Especie cultivada, nativa en África	
<i>Brachiaria decumbers Stapf</i>	Poaceae	h	perenne	Especie cultivada, nativa en África	

Cuadro 1. Especies vegetales fitorremediadoras (cont.)

Especies fitorremediadoras en Venezuela					
Nombre científico	Familia	Densidad	Ciclo de vida	Distribución	
<i>Brachiaria humidicola</i> (Rendle) Scheweick.	Poaceae	h	perenne	Especie cultivada, nativa en África	
<i>Cenchrus pilosus</i> Kunth	Poaceae	m	anual	Desde Mexico al Norte de Suramérica o América del Sur	
<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Willd.	Poaceae	m	anual		
<i>Eragrostis ciliaris</i> (L.) R. Br.	Poaceae	m	anual	(sub) Tropical, América, África	
<i>Eragrostis guianensis</i> Hitchc.	Poaceae	l	anual	Venezuela, Guyana	
<i>Eragrostis maypurensis</i> (H. B. K.) Steud.	Poaceae	h	anual	(sub) Tropical, América	
<i>Eragrostis viscosa</i> (Retz.) Trin.	Poaceae	m	anual	(sub) Tropical, América, África	
<i>Panicum maximum</i> Jacq.	Poaceae	m	perenne	Especie cultivada, nativa en África, amplia distribución en los trópicos	
<i>Pappophorum pappiferum</i> (Lam.) Kuntze	Poaceae	h	perenne	Norte de Suramérica o América del Sur	
<i>Rhynchelytrum repens</i> (Willd.) C. E. Hubb.	Poaceae	m	anual	(sub) Tropical, América, África	
<i>Tridax procumbens</i> L.	Compositaceae	m	anual	Pantropical	
<i>Jacquemontia trammifolia</i> (L.) Griseb.	Convolvulaceae	h	perenne	(sub) Tropical, América, África	
<i>Microstachys corniculata</i> (Vahl) Griseb.	Euphorbiaceae	l,l	anual	Suramérica o América del Sur	
<i>Hyptis</i> sp. Jacq.	Lamiaceae	l	?		
<i>Hyptis suaveolens</i> (L.) Poit.	Lamiaceae	h	anual	Pantropical	
<i>Pavonia cancellata</i> (L.) Cav.	Malvaceae	m	anual	(sub) Tropical, América	
<i>Sida cordifolia</i> L.	Malvaceae	h,M	perenne	Pantropical	
<i>Sida</i> L. sp.	Malvaceae	l	?		
<i>Passiflora foetida</i> L.	Passifloraceae	l	perenne	Pantropical	
<i>Borreria capitata</i> (R. y P.) DC.	Rubiaceae	h	perenne	(sub) Tropical, América	
<i>Borreria laevis</i> (Lam.) Griseb.	Rubiaceae	m	perenne	(sub) Tropical, América	
<i>Borreria</i> sp. G. Mey.	Rubiaceae	l	?		
<i>Borreria verticillata</i> (L.) G. Mey.	Rubiaceae	l	perenne	Tropical, América	
<i>Diodia teres</i> Walt.	Rubiaceae	h	anual	(sub) Tropical, América	
<i>Melochia</i> sp. L.	Sterculiaceae	m,l	?		
<i>Waltheria indica</i> L.	Sterculiaceae	l	perenne	Pantropical	
<i>Piriqueta viscosa</i> Griseb.	Turneaceae	l	anual	Venezuela, Bolivia	

*Índices de densidad: H= High (Alto), M= Médiun (Medio), L= Low (Bajo)

Fuente: Merkl, Schultze-Kraft e Infante, 2004.

El porqué y el para qué

Tomemos en cuenta la relación de Venezuela con la actividad petrolera. Durante muchos años, la manipulación de hidrocarburos como actividad económica más importante del país ha provocado que se hayan construido al menos unas 300 plantas distribuidoras entre otras instalaciones que complementan dichas operaciones, lo que se traduce en por lo menos 300 terrenos altamente degradados como consecuencia de esta actividad industrial de almacenamiento.

Sin embargo, es necesario recordar que el petróleo no es una materia prima infinita sino un recurso no renovable del cual llegaremos, tarde o temprano, a prescindir totalmente. Esto va a provocar el abandono masivo de estas instalaciones industriales, las cuales no se podrán aprovechar a menos que exista un plan de descontaminación efectivo para poder realizar en esos espacios cualquier tipo de intervención urbana.

De acuerdo con lo que plantean Watterman y Wall (2013) cuando expresan que “El paisaje puede servir de modelo para intervenir en procesos que nos permiten actuar de forma más abierta. Si a través del proyecto estamos contribuyendo a una conversación en curso en lugar de crear un producto estático, entonces nuestras acciones podrán continuar transformándose, adaptándose y evolucionando en su forma, en su imagen y también en la imaginación”, si tomamos un caso aislado de un espacio urbanizado en donde un terreno determinado se utiliza para una actividad industrial puntual, este espacio mantendrá poca relación con su contexto inmediato, sin embargo, si esta actividad industrial es detenida y el intercambio comercial desaparece, los terrenos utilizados por dicha empresa terminan por ser dañados e inutilizados, provocando un gran espacio vacío dentro de la trama urbana, sin posibilidad de ser apropiado por ningún ente ni público ni privado.

Es aquí, donde se refleja la importancia de la remediación de suelos en un país como Venezuela, donde un terreno abandonado, en condiciones críticas de degradación, puede ser regenerado para que se produzca un nuevo intercambio con su contexto inmediato dejando de ser este un ente estático entre la dinámica de la ciudad y permitiendo su transformación hacia un espacio abierto a la interacción urbana.

Y si al estudio de la fitorremediación de suelos degradados le sumamos un estudio social, que tome en cuenta las necesidades básicas de aquel entorno inmediato del caso de estudio, nos encontraremos con variables que llegan a nutrir la propuesta para que esta interacción pueda darse de manera mucho más satisfactoria.

Tomando en cuenta las premisas mencionadas en el ejemplo de parque patrimonial, podemos observar que al recuperar un espacio inactivo por tanto tiempo, su nuevo uso debe estar totalmente ligado al estilo de vida de quienes más lo van a aprovechar. Es por ello que este trabajo engloba tanto los aspectos bióticos y físicos para la remediación de estos suelos, como también los aspectos socioculturales para que este espacio verde abierto pueda interactuar de manera completa con los habitantes de Catia la Mar, principalmente.

Quitando lo “Negro” para abrir espacio a lo “Verde”

En principio, para llevar a cabo un proyecto de esta índole y que tenga el éxito deseado, es necesario entender el lugar y el contexto en el que está contenido. Para esta etapa del proyecto se utilizó el Método de Superposición de Capas descrito por el arquitecto paisajista Ian McHarg en su libro *Proyectar con la Naturaleza* (McHarg, 1969).

Dicho método logra combinar conocimientos científicos, análisis social y entendimiento

to urbano de un lugar, utilizando una serie de mapas o “planos” que logren graficar las variables físicas, bióticas y socioculturales del mismo. Al tener estos gráficos a mano y sobreponer la información descrita en cada uno, se puede contrastar como cada aspecto de este entorno funciona con el otro, brindando una perspectiva mucho más clara del terreno que se tiene en consideración.

Para las variables físicas del terreno de estudio (imagen 4), se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

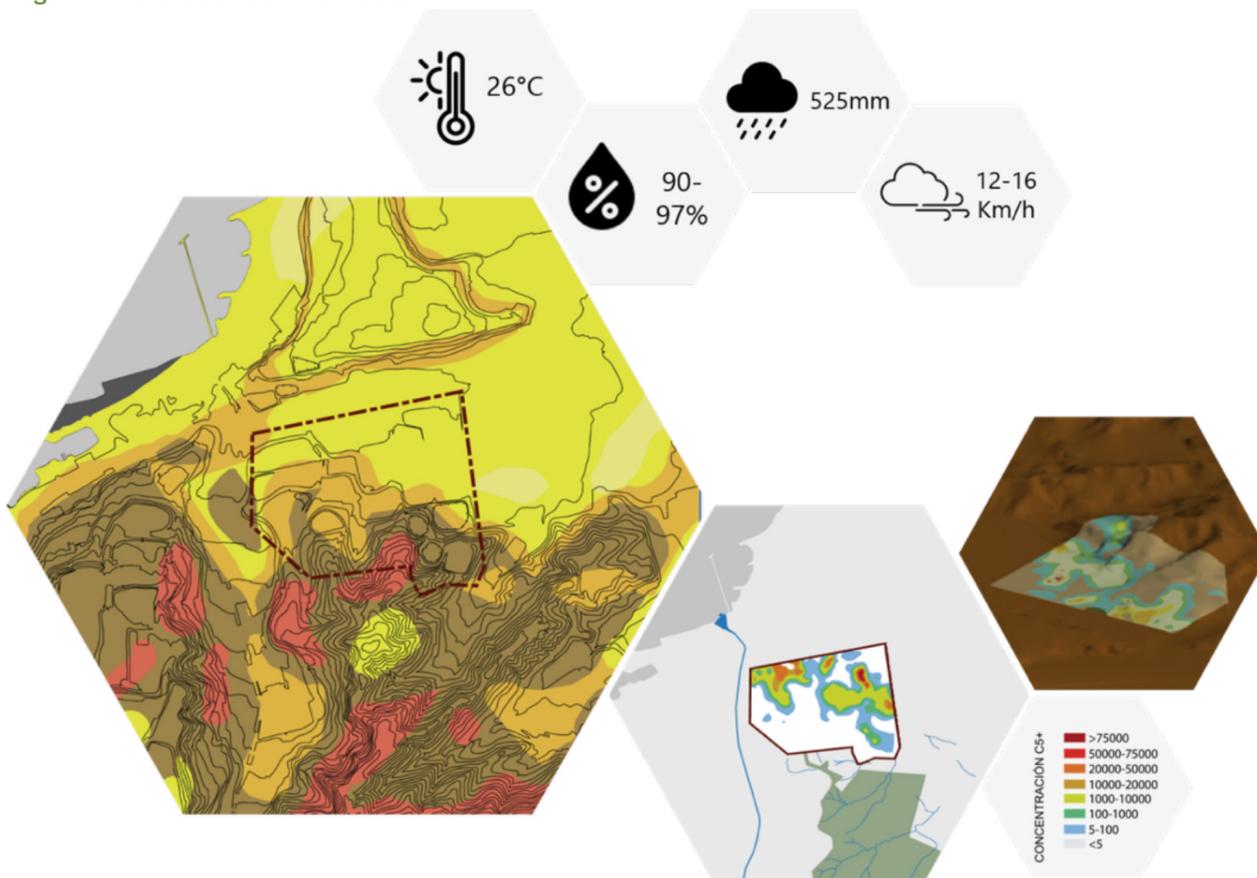
- Topografía del lugar (niveles topográficos, pendientes, llanuras, etc.).
- Límites físicos y urbanos.
- Temperatura ambiental, pluviosidad, humedad relativa y vientos.

- Cuerpos de agua cercanos.
- Contaminación presente en los suelos por el manejo de hidrocarburos.

Como conclusión sobre las variables físicas del caso de estudio, podemos apreciar que los aspectos climáticos son determinantes al momento de hacer una selección tanto de la vegetación a utilizar como también para generar espacios protegidos de la fuerte incidencia solar y temperaturas elevadas, de manera de producir ambientes agradables para los visitantes del parque.

Adicionalmente, al momento de hacer una comparación entre las zonas contaminadas y la morfología de los terrenos del caso de estudio, podemos entender que las zonas de menor contaminación suelen ser las que po-

Imagen 4. Análisis de factores físicos



Fuente: Elaboración propia

seen las pendientes más pronunciadas, a la vez que observamos que las zonas de mayor contaminación son las que poseen los terrenos con menor pendiente, debido a que se trata de terrazas que fueron adaptadas para la construcción de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos de dicha industria.

Para el estudio de aspectos bióticos del lugar (imagen 5), se tomaron en cuenta:

- Masas vegetales existentes, en contraposición con las áreas de mayor insolación dentro del terreno.
- Especies vegetales existentes tanto dentro del caso de estudio como en su entorno.
- Fauna encontrada en el lugar.
- Estudio de posible conexión peatonal entre el Mar Caribe y el Parque Nacional El Ávila.
- Zona de vida del lugar (utilizando los datos climatológicos e introduciéndolos en un esquema de Holdridge).

En el caso de las variables bióticas, podemos resaltar que el aspecto más importante recopilado en este estudio es la posible conexión mar-montaña que este terreno puede proveer. Por su ubicación estratégica, este espacio podría brindar a la ciudad una conexión de interés turístico, donde los caminantes pueden experimentar diversos paisajes desde la zona costera (gracias a la existencia de diversos balnearios en la zona) hasta la montaña, conectando con diversos senderos ya existentes en el Parque Nacional El Ávila. Adicionalmente, solo es cuestión de imaginar el beneficio de este proyecto no solo desde el punto de vista sociocultural y físico, pues también podría estar beneficiando a la fauna reservada de la montaña al extender su ecosistema.

Por último, nos encontramos con el análisis de variables socioculturales (imagen 6), donde analizamos aspectos tales como:

- Usos de suelo.
- Conexiones viales y peatonales.
- Puntos de interés turístico.
- Densidad poblacional.
- Porcentaje de uso de vehículos.

- Alturas de edificaciones próximas.
- Nodos peatonales y conexiones necesarias en la ciudad.

En lo que concierne a la población de Catia la Mar (de acuerdo con el censo realizado en el año 2011 por el INE) podemos apreciar que la mayoría de los habitantes de esta zona está representada por personas jóvenes (edades comprendidas entre 15 y 45 años), entendiéndose que estas son las edades con mayor necesidad de espacios recreativos y deportivos. Si contrastamos el plano anterior, donde se evidencia la carencia de espacios dedicados a la recreación de sus habitantes, podemos sacar como conclusión que la propuesta que planteamos puede generar una mejora considerable en la percepción de los habitantes de Catia la Mar sobre su estilo de vida.

Adicionalmente, se muestra un gráfico donde se representa la movilidad vehicular presente en Catia la Mar, contrastando los censos de los años 2001 y 2011. A pesar de constatar que la mayoría de los habitantes se trasladan en automóvil dentro y fuera de este sector, siempre existe interés por la utilización de la bicicleta como medio de transporte (el cual ha aumentado con el paso de los años). Podríamos concluir que esta particularidad podría tomarse en cuenta para generar ciclovías y senderos aptos para el uso de bicicletas dentro de este nuevo espacio público, lo que podría constituir un nuevo incentivo para su utilización en esta zona.

Como cierre de este análisis exhaustivo, todas las variables fueron contrastadas en una matriz de compatibilidad y los mapas generados fueron comparados para entender los beneficios, las limitaciones y oportunidades que nos brinda esta locación, donde se determinó que el mejor uso de este espacio sería el de un parque de escala urbana, que comprenda usos culturales, senderismo y educación ambiental, al tiempo que también ofrezca espacios deportivos y de relajación para los habitantes de su entorno.

Propuesta: del Negro al Verde

Como ya fue mencionado, la propuesta final consiste en crear un parque ecológico, donde la actividad cultural, comercial, educativa y deportiva vayan de la mano con la propuesta paisajista (imagen 7).

Dentro del programa de actividades se plantean:

- Estacionamiento público con conexión directa a la Av. El Ejército.
- Edificio de laboratorios y mantenimiento del parque. Esta edificación se contempla que sea una de las primeras instaladas en el complejo para permitir el inicio de los trabajos de experimentación fitorremediadora.
- Vivero didáctico, donde se ofrecerán cursos de capacitación para jardinería, venta de plantas autóctonas del parque y se darán a conocer las propiedades fitorremediadoras que permitieron hacer posible esta propuesta.
- Locales de servicios y comercios, para activar los primeros espacios abiertos al público del parque y dar apoyo a las zonas de juegos infantiles.
- Edificios de apoyo a zonas deportivas, con vestidores, baños, gimnasio techado.
- Edificio cultural, con auditorios, salas de exposiciones varias y locales comerciales.
- Edificio de aulas para diferentes cursos de capacitación.

Estrategias de siembra y etapas de apertura

Para alcanzar el resultado propuesto, el terreno deberá pasar por una serie de etapas de tratamiento fitorremediador para que pueda funcionar debidamente.

Tomando en cuenta que la fitorremediación es un proceso que necesita tiempo para una descontaminación completa en los suelos afectados y dado que en el caso de estudio po-

seemos diversos niveles de contaminación por hidrocarburos, se decidió abordar el desarrollo de este parque urbano de manera que se vaya habilitando a medida que la fitorremediación empiece a dar resultados. Dependiendo de la concentración de hidrocarburos en el suelo se espera que según la zona varíen los tiempos que tarde cada una en ser remediada. Es esta la razón por la que se realizó un esquema por etapas en los terrenos de la antigua planta distribuidora de hidrocarburos.

En primer lugar, se habilitarán las zonas que no fueron afectadas por contaminantes de hidrocarburos, y estas serán las primeras zonas del parque a las que el público tendrá acceso. Al mismo tiempo, las zonas contaminadas serán totalmente sembradas con plantas fitorremediadoras, con el fin de que comience la limpieza de los suelos degradados. A medida que estas plantas cumplan con su ciclo de vida, ellas serán reemplazadas por más plantas fitorremediadoras, hasta que desaparezca la contaminación del suelo. Cuando el suelo muestre los valores adecuados y que no sea un problema tóxico, se sembrarán las plantas con mayor valor estético para así poder abrir estas nuevas zonas para su disfrute en el parque (imagen 8).

Dentro de la propuesta se establecieron 5 etapas de desarrollo:

- Etapa 0: Momento previo a la siembra, donde se desmantela cualquier construcción que haya quedado de la anterior planta distribuidora de hidrocarburos.
- Etapa 1: Comienza el conteo del efecto de la fitorremediación. En este momento, el terreno se encuentra enteramente sembrado por plantas fitorremediadoras. El visitante sólo podrá utilizar la caminería principal que conecta con el Parque Nacional El Ávila y con aquellas zonas que no necesitan ser remediadas.
- Etapa 2: Una vez que la fitorremediación haya cumplido sus primeros 5 años de acción, las zonas de menor contaminación estarán en condiciones de poder recibir públi-

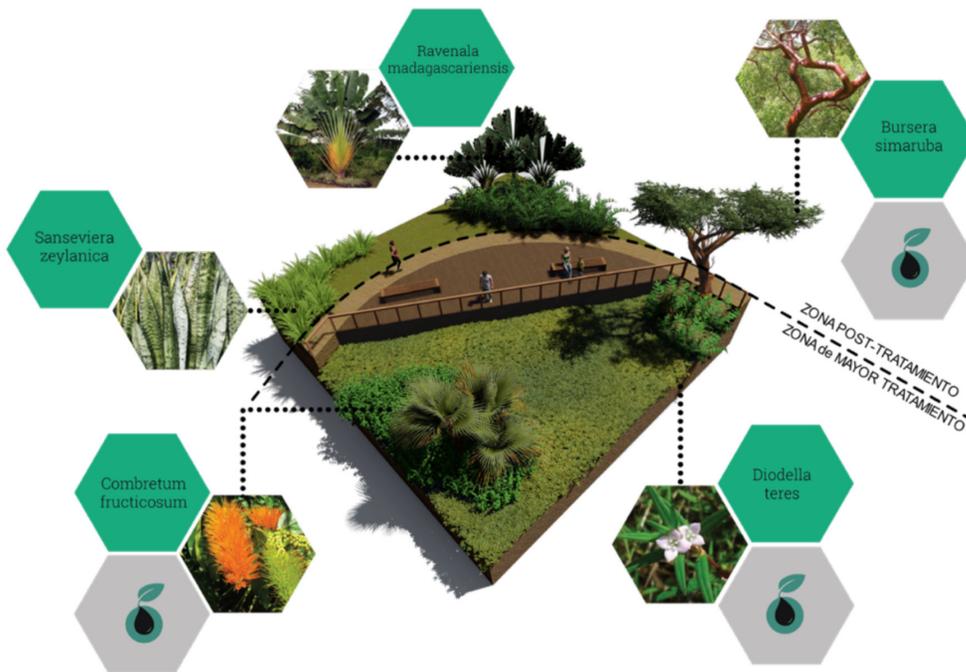
Convirtiendo el negro a verde en los suelos venezolanos

Imagen 7. Parque Ecológico Catia la Mar. Plan Maestro y programa propuesto



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 8. Estrategias de siembra de fitorremediación en áreas de mayor grado de contaminación por hidrocarburos



Fuente: Elaboración propia.

co, así que nuevas áreas del parque pasarán a ser visitables. Se empiezan a ver senderos secundarios dentro del parque, algunas construcciones itinerantes aparecen en el camino y también se abren nuevos accesos.

- Etapa 3: Ya para este momento las zonas de contaminación media y alta habrán sido remediadas exitosamente. Esto llevará a la apertura de al menos 80% del parque. Las construcciones de las edificaciones más importantes del proyecto serán levantadas para permitir las actividades culturales y deportivas.
- Etapa 4: Por último, como hay unos pocos focos donde la contaminación es muy concentrada, se decidió como método de diseño que estas áreas se puedan aprovechar como elemento visual, más no visitable. Es por esto que se idearon caminerías con miradores, donde las zonas de mayor contaminación permanezcan en un nivel más bajo, y el visitante pueda ver desde un nuevo nivel que está siendo tratado el paisaje. De esta manera, se seguirá combatiendo el daño por la contaminación, pero el usuario podrá percibir el proceso de remediación como un hito siempre activo en este espacio.

Conclusiones y resultados

Después de recaudar la información necesaria tanto de los procesos fitorremediadores como del entorno y las consideraciones de diseño que se debieron aplicar, se pueden formular las siguientes conclusiones y consideraciones finales del proyecto:

- Todo proceso de fitorremediación debe poseer una documentación basada específicamente en el entorno en el que se quiere aplicar. Es necesario entender la vegetación que va a formar parte de la propuesta y considerar si esta es o no compatible con el entorno donde se van a sembrar.

- El uso de estas plantas fitorremediadoras puede tener no sólo un impacto positivo en cuanto a la calidad de los suelos degradados, también pueden ayudar a estabilizar los suelos que fueron modificados para establecer la industria anteriormente existente, evitando así deslizamientos de tierra no deseados y haciendo estos terrenos más seguros en momento de lluvias torrenciales o cualquier otro tipo de evento natural.
- Al momento de diseñar un espacio verde abierto que será recuperado por medio de fitorremediación, se debe recordar que existen tiempos que dependen únicamente de los ciclos de vida de las plantas a utilizar. A pesar de haber estimado un tiempo aproximado para la fitorremediación del caso de estudio, es importante tener en cuenta que estos tiempos solo serán definidos por medio de una experimentación botánica con las plantas y muestras de suelo *in situ*. Es por esto que la propuesta se concibe en etapas donde ciertas áreas del parque se mantendrán clausuradas hasta el momento de su total recuperación.
- La intención inicial de recuperar estos terrenos degradados por la práctica de la industria petrolera es, en principio, la de devolverle a la ciudad un espacio que actualmente se encuentra inutilizado. Es por esto que se debe recalcar la importancia de entender los eventos y las necesidades sociales del lugar donde se encuentra el proyecto. Al recuperar estos suelos de la contaminación que han sufrido, estamos recuperando espacios que pueden beneficiar en gran medida a las personas que los utilizarán. Es por esto que en la concepción de este nuevo parque se crean espacios para la recreación, el deporte, la cultura e incluso espacios educativos que permitan capacitar a nuevos trabajadores en distintas áreas y así ayudar al progreso de una zona como Catia la Mar.

Referencias bibliográficas

- Benavides López de Mesa, Joaquín et al. (2006). "Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo", *NOVA*, vol. 4 - nº 5, enero-junio 2006, pp. 82-90. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Bogotá-Colombia.
- Carrasquel Hernández, Miguel Alejandro (2016) "Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos aplicando biocarbón y tratamientos térmicos". Proyecto de grado. Universidad Simón Bolívar. Coordinación de Ingeniería Química. Venezuela.
- Cheng, H. H. y Mulla, D. J. (1999) "The soil environment", *Bioremediation of contaminated soils*, 37, 1-13.
- Davis, M. y Slobodkin, L. (2004). "The Science and Values of Restoration Ecology". Recuperado el 4 de julio de 2015: http://www.researchgate.net/profile/Mark_Davis15/publication/251532105_The_science_and_values_of_restoration_ecology/links/00b4952cf07c2a5603000000.pdf?origin=publication_detail
- Delgadillo-López, A. E.; González-Ramírez, C. A.; Prieto-García, F.; Villagómez-Ibarra, J. R.; Acevedo-Sandoval, O. (2011) "Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación", *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 14, nº 2, pp. 597-612. Universidad Autónoma de Yucatán. México.
- Dietz, A. C. y Schnoor, J. L. (2001). "Advances in phytoremediation. Environmental Health Perspectives", *Environmental Health Perspectives* nº 109, 1, pp. 163-168.
- Ferrera-Cerrato, R. et al. (2007) "Fitorremediación de un suelo contaminado con combustóleo usando *Phaseolus coccineus* y fertilización orgánica e inorgánica", *Agrociencia*, vol. 41, nº 8, pp. 817-826.
- Gálvez, Juventino (2002) "La restauración ecológica: conceptos y aplicaciones". Universidad Rafael Landívar de Agricultura. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. Guatemala.
- Garbisu, C.; Becerril, J.M.; Epelde, L.; Alkorta, I. (2007) "Bioindicadores de la calidad del suelo: herramienta metodológica para la evaluación de la eficacia de un proceso fitorremediador", *Ecosistemas*, 16 (2): <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/127>
- Günther, T.; Dornberger, U. y Fritsche, W. (1996) Effects of ryegrass on biodegradation of hydrocarbons in soil, *Chemosphere*, 33: pp. 203-215.
- Komives, T. y Gullner, G. (2005) "Phase 1: Xenobiotic Metabolic Systems in Plants", *Z. Naturforsch* 60c, pp. 179-185. Plant Protection Institute of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest. Hungría.
- McHarg, Ian L. (1969) *Design with Nature*. American Museum of Natural History, New York, EEUU.
- Merkel, N.; R., Schultze-Kraft, R. y C. Infante (2004) "Phytoremediation of Petroleum Contaminated Soils in the Tropics. Pre-selection of plant species from eastern Venezuela", *Journal of Applied Botany and Food Quality* 78, pp. 185-192.
- Núñez López, R. A.; Meas Vong, Y.; Ortega Borges, R. y Olguín, Eugenia J. (2004) "Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones". Revista *Ciencia*, julio-septiembre, pp. 69-82. Academia Mexicana de Ciencias, México.
- PDVSA-Petróleos de Venezuela (2012) *Informe final del desarrollo urbanístico y habitacional Catia la Mar* (Muga, A.; revisado por R. León y aprobado por F. Alcalá). Caracas.
- Reichenauer, T.G. y Germida, J. J. (2008) "Phytoremediation of organic contaminants in soil and groundwater", *ChemSusChem*, 1: pp. 708-717. doi: 10.1002/cssc.200800125.
- Schnoor, Jerald L. (1997) *Phytoremediation. Technology Evaluation Report*. The University of Iowa. Department of Civil and Environmental Engineering and Center for Global and Regional Environmental Research. Iowa, EEUU: https://clu-in.org/download/toolkit/phyto_e
- SER-Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group (2004) *The SER International Primer on Ecological Restoration*: www.ser.org & Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Sierra Villagrana, R. (2006) Fitorremediación de un suelo contaminado con plomo por actividad industrial. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Ciencias del Suelo. Coahuila, México.
- Watterman, Tim y Wall, Ed (2013) "Un diálogo con el paisaje: proyecto representación y proceso", *Urban Artículos y notas de investigación. Especial 'Paisajes críticos'*, nº 5, marzo-agosto 2013: pp. 37-48. Universidad Politécnica de Madrid.