



RECURSOS BIOTECNOLÓGICOS PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL CLIMA EN EL VALLE DE MÉXICO Y SUS APLICACIONES EN LA ARQUITECTURA.

Juan Carlos Cerecero Olivera.

Programa de maestría y doctorado en Arquitectura.

México D.F. Octubre 2011





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**RECURSOS BIOTECNOLÓGICOS PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL
CLIMA EN EL VALLE DE MÉXICO Y SUS APLICACIONES EN LA
ARQUITECTURA.**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN ARQUITECTURA

PRESENTA:

JUAN CARLOS CERECERO OLIVERA

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA.

México D.F. Octubre 2011

DIRECTOR DE TESIS:

Dra. Dolores Ana Flores Sandoval.

SINODALES:

Dr. Fidel Sánchez Bautista

Mtro. Francisco Reyna Gómez

Mtro. Javier Velasco Sánchez

INDICE GENERAL

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN..... | 6 |
| ANTECEDENTES | 8 |
| MARCO TEÓRICO | 14 |
| OBJETIVO GENERAL..... | 14 |
| OBJETIVOS PARTICULARES. | 14 |
| CAPITULO 1. ESTUDIO DEL SUELO | 15 |
| I.1 EDAFOLOGÍA | 15 |
| I.2 FORMACIÓN Y EVOLUCIÓN DEL SUELO..... | 16 |
| I.3 FACTORES FORMADORES DEL SUELO. | 18 |
| I.4 ECUACIÓN DE JENNY Y USO EN LA INVESTIGACIÓN..... | 20 |
| CAPITULO II. TERMOGENESIS Y SUELOS..... | 21 |
| II.1 COMPORTAMIENTO TERMICO. | 21 |
| II.2 CALOR EDAFICO..... | 24 |
| II.3 FACTOR BIOTICO EN LOS SUELOS..... | 26 |
| II.4 COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL SUELO..... | 28 |
| CAPITULO III..... | 34 |
| III.1 BACTERIAS Y SUELO..... | 34 |
| III.2 CLASIFICACIÓN DE BACTERIAS EN LOS SUELOS | 37 |
| III.3 MICROBIOLOGÍA EDAFICA | 38 |
| CAPITULO IV. CASOS DE ESTUDIO. | 43 |
| IV.1 MICROORGANISMOS HOMEOTERMICOS..... | 43 |
| IV.2 ENFRIAMIENTO BACTERIAL..... | 44 |
| IV.3 CALENTAMIENTO BACTERIAL..... | 46 |
| CAPITULO V..... | 48 |
| V.1 DISEÑO EXPERIMENTAL | 48 |
| V.2 DISEÑO DE PROTOTIPO. | 48 |
| V.3 DISEÑO DEL EXPERIMENTO. | 52 |
| <i>VALIDEZ INTERNA DEL EXPERIMENTO PARA VALIDACIÓN DE DATO.</i> | 53 |
| V.4 VALIDACIÓN INSTRUMENTAL..... | 54 |
| MEDICIÓN INTERNA. | 55 |

| | |
|---|-----------|
| V.5. LOCALIZACIÓN DE LOS PROTOTIPOS EXPERIMENTALES | 58 |
| CAPITULO VI..... | 59 |
| VI.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS..... | 59 |
| VI.2 GRÁFICAS COMPARATIVAS..... | 60 |
| VI.3 COMPORTAMIENTO TERMICO DEL PROTOTIPO. | 60 |
| VI.3.1 DÍA PROMEDIO..... | 61 |
| VI.3.2 DÍA FRIO..... | 62 |
| VI.2.3 DÍA CÁLIDO. | 63 |
| VI.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... | 64 |
| CAPITULO VII..... | 66 |
| VII.1 PROBLEMAS DE APLICACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOTIPO..... | 66 |
| VII.3 SEGUNDO DELPHI: ANÁLISIS Y CONCLUSIONES..... | 68 |
| VII.4 CONCLUSIONES AL DELPHI. | 71 |
| VII.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENCUESTAS Y CATEGORIZACIÓN DE DATOS POR MÉTODO ZOOP- WELLINGER..... | 71 |
| MÉTODO ZOOP- WELLINGER..... | 72 |
| CAPITULO VIII..... | 74 |
| VIII.1 ANÁLISIS DE RIESGOS AMBIENTALES EN EL SISTEMA INNOVADOR: CELULA DE ENFRIAMIENTO BACTERIAL. | 74 |
| VIII.2 ESQUEMA DE DOOBEN SOBRE ANÁLISIS DE RIESGO BIOLÓGICO INFECCIOSOS. | 74 |
| VIII.3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO. | 75 |
| VIII.4 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS..... | 76 |
| VIII.5 IDENTIFICACIÓN DE NUEVOS RIESGOS: | 76 |
| VIII.6 EVALUACIÓN TOXICOLÓGICA | 77 |
| VIII.7 EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN | 78 |
| VIII.8 CONCLUSIONES Y CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO..... | 80 |
| CONCLUSIONES | 82 |
| APROXIMACIONES PERSONALES AL FUTURO SUSTENTABLE | 83 |
| APORTACIÓN Y CRÍTICA..... | 89 |
| BIBLIOGRAFÍA. | 90 |
| REVISTAS, ARTICULOS, Y REPORTES DE INVESTIGACIÓN. | 94 |

| | |
|-----------------------------|-----------|
| RECURSOS DE INTERNET..... | 94 |
| MARCO REFENCIAL..... | 95 |

INTRODUCCIÓN

Hoy en día cuando comenzamos a entender el impacto de la huella que hemos dejado sobre este planeta, nos enfrentamos a una disyuntiva, que en realidad no lo es, continuar con nuestras actividades tal cual lo hemos venido haciendo hasta el momento o entender que nuestro papel y relación con el medio debe cambiar idealmente hacia una relación ecológica.

Y no es una disyuntiva en realidad, dado que la primera alternativa no representa una opción de solución al problema de sustentabilidad a nivel planetario, por lo cual no es en estricto sentido de la palabra una solución.

La única alternativa viable entonces para un futuro es comprender nuestra relación con el medio, y corregir nuestras acciones para dirigirnos a un ideal ecológico formando un ecosistema con nuestro medio natural.

Sin embargo para realizar este cambio debemos (como humanidad) concebir al planeta de otra forma; pasar de la óptica actual la cual concibe al planeta como un proveedor (inagotable) de todas las necesidades humanas, hacia una mentalidad donde se considere a éste como un multisistema interactivo autosustentable pero temporalmente limitado y así comprendernos a nosotros mismos dentro de estas limitaciones para formar así una biosfera de continuidad.

Pero esta clase de cambios requieren de una evolución cultural a nivel global, este proceso como cualquier desarrollo educativo es siempre inacabado, perfectible y continuo, y aunque resulta la respuesta definitiva hacia un futuro ecológicamente viable, la posibilidad de su aplicación a corto plazo es un proceso imposible. Hasta este punto pareciera que nos encontramos condenados; el cambio es factible, pero no en un lapso de tiempo razonable; esto no es así; Yo considero que como género humano contamos con una herramienta la cual nos dará el “*impasse*” necesario para realizar este cambio cultural imprescindible; esta herramienta es la tecnología. Pero como dije, nos dará tiempo para que realicemos el cambio cultural necesario. De nosotros depende aprovechar ese tiempo o simplemente mantener nuestro “nivel de vida” en el lapso en que la tecnología nos lo permita. Si nosotros comprendemos que el planeta es un recurso infinito pero limitado deberemos considerar que la tecnología no es “la respuesta” no es si quiera “una respuesta” a este problema. El futuro como ya lo he dicho depende de un cambio de actitud para con el planeta, la tecnología nos dará el tiempo para entender que este cambio es necesario y para realizarlo.

¿Qué clase de tecnología nos dará este tiempo? ¿Una de bajo consumo energético?, ¿de emisiones contaminantes muy limitadas o nulas? Considero que sobre estos dos importantes factores esta la premisa de una tecnología de tipo ecológico, donde el individuo, la tecnología y el medio formen un ecosistema, y todos ellos se entrelacen, sean continuos, autorregulados, regenerativos y sostenibles con los cual formaran organismos que actúen de manera recíproca.

El camino para aspirar a esta clase de tecnología también es largo; sin embargo contamos hoy día con este tipo de sistemas: los sistemas naturales ecológicamente viables han demostrado su sustentabilidad a lo largo de miles de millones de años, y por ende son el marco de referencia ideal para la nueva tecnología. Si nosotros logramos entender sus relaciones con su medio y emularlas generaremos un avance considerable en el desarrollo de una tecnología realmente ecológica.

Podemos adelantar muchos pasos en el desarrollo de esta clase de tecnología si aprovechamos las cualidades de los organismos vivos. Generando híbridos que dadas sus cualidades sustituyan procesos que hasta la fecha sean realizados por tecnología tradicional. Al generar estos híbridos (mezcla de organismos vivos y tecnología) aprovecharemos las cualidades que nos interesen de los seres biológicos conservando sus propiedades y relaciones ecológicas con el medio natural. De esta forma aceleraremos el desarrollo de sistemas aprovechando los diseños que ha perfeccionado la selección natural a lo largo de millones de años. Con esta clase de organismos (biológico-tecnológicos) generaremos una nueva clase de nivel trófico en la biosfera. Este nivel trófico de ahora en adelante lo denominaremos tecnotrófico.

Si bien esta clase de ciencia suena a “ficción” no lo es, La biotecnología es la encargada del desarrollo de esta clase de híbridos y actualmente representa desde mi punto de vista el futuro más promisorio para el desarrollo de sistemas ecológicos.

La actual investigación plantea un sistema de este tipo, donde se ocupen las propiedades termorreguladoras de los microorganismos, (particularmente bacterias) para sustituir el uso de sistemas de aire acondicionado en inmuebles. Con el fin de, no solo limitar el consumo energético sino que dadas las propiedades biológicas del sistema éste se pueda introducir dentro de un nivel tecnotrófico en su ecosistema, brindando dentro de él un trabajo (obteniendo la estabilización térmica dentro de un espacio) y que genere como subproducto, elementos que pueda ser reincorporados a la biosfera a través de otro subsistema natural. Por ende, el enfoque sistémico en el desarrollo de esta investigación se verá claramente reflejado en este documento.

El objetivo de este trabajo es identificar aquellos microorganismos o biosistemas del suelo de tipo andisol húmico del valle de México que puedan ser usados como reguladores térmicos del ambiente y que a su vez no tengan afectaciones negativas en la salud, tanto ambiental como humana con el fin de demostrar que es posible la utilización de las capacidades homeotermicas de estos microorganismos y de sus medios naturales en los espacios arquitectónicos.

ANTECEDENTES

¿Cómo debemos llegar a la sustentabilidad? ¿Resulta ésta de consumir menos recursos? ¿Consumirlos más eficientemente? Sí, pero no solo eso:

Según el Informe Brundtland¹ de 1987, la sostenibilidad consiste en “satisfacer las necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades”² Esto es como mencione anteriormente, tener una visión del planeta de proveedor, evidentemente con un cambio sustancial dado que plantea la explotación de un recurso por debajo del límite de renovación del mismo. Por lo cual no existiría una destrucción del recurso, pero tampoco existe la retribución de este al medio. Y aunque por supuesto, es un primer paso, el ideal a largo plazo sería el poder integrar las actividades humanas dentro de un ecosistema es decir, que se obtuviera un producto y como desechos, subproductos que pudiesen reintegrarse dinámicamente de vuelta al ecosistema, pero la diversidad de la actividad humana no permite, sin tecnología este proceso, por lo cual debemos encontrar nuevos métodos que nos permitan la integración de nuestras actividades al entorno. La única alternativa es la tecnología, de allí nace el término “Tecnotráfico”

Para explicar este término, debemos entender que es la sustentabilidad según el concepto ecológico y la distribución de la energía en el medio natural.

La sustentabilidad según el termino ecológico se refiere al “equilibrio” de una especie con los recursos de su entorno. Por ende cualquier ecosistema natural es sustentable dado que mantiene un equilibrio entre su consumo y su producción de desechos, que a su vez son aprovechados por la siguiente cadena de consumo.

Pero ¿cómo circula la energía a través de un sistema natural? La energía en estos sistemas circula a través de los que se conoce como niveles alimenticios. Cada uno de esos niveles se llama en ecología “Nivel Tráfico”.

La suma de todos los niveles tróficos de un ecosistema se llama cadena alimenticia. Las relaciones alimenticias en un ecosistema en conjunto se llaman “Red Alimenticia”.

En un ecosistema sencillo, los niveles tróficos son:

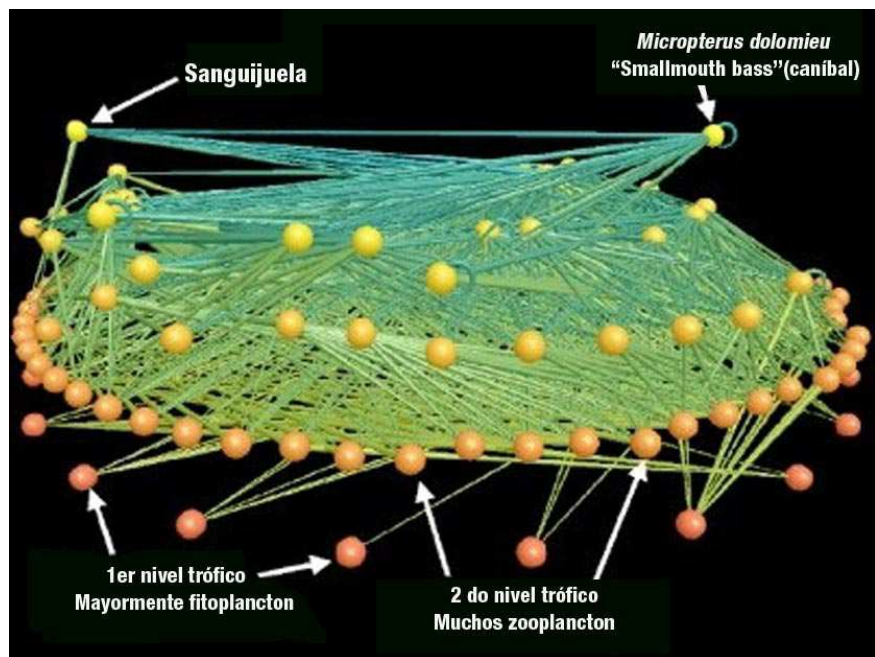
- I. Productores
- II. Consumidores Primarios
- III. Consumidores Secundarios
- IV. Consumidores Terciarios y Cuaternarios

¹ Report of the World Commission on Environment and Development.: Our Common Future Transmitted to the General Assembly as an Annex to document A/42/427 - Development and International Co-operation: Environment ONU. 4 Ago 1987.

² Ob. Cit. “The Concept of Sustainable Development”

“la estabilidad de una red alimenticia es mayor cuando una mayor diversidad de vínculos depredador-presa conectan altos, intermedios y bajos niveles tróficos. Los ecosistemas naturales consisten en cadenas alimenticias entrelazadas, en las cuales animales individuales o especies de plantas actúan como depredadores o presas. Las redes alimenticias potenciales no sólo difieren por las especies que las componen, sino, además, por la variedad en su estabilidad. Las redes alimenticias observables son redes alimenticias estables con las relaciones entre sus especies restantes relativamente constantes durante largos períodos de tiempo.”³

A diferencia del esquema clásico de la red alimentaria donde se plantea un esquema simplista, el entendimiento de los sistemas complejos tales como las redes alimenticias presenta mayores retos para la ciencia. Ellos pueden ser examinados por observación en su ambiente natural o por simulaciones de computadora. A través de este segundo método se han descubierto las reglas universales en la dinámica



de los ecosistemas, las cuales se irán aplicando en cada uno de los desarrollos de esta investigación.

foto 1: Nivel trófico primario y secundario con dos organismos de niveles elevados . (las líneas indican interrelaciones entre individuos.)

© Max Planck Institute 2009 (Reproducción realizada con fines didácticos)

Pero tal vez la más importante de ellas sea:

“Sistemas con pocas especies son más estables si hay fuertes interacciones entre algunas especies, pero sólo interacciones débiles entre otras. Para redes alimenticias con muchas especies, es cierto exactamente lo opuesto. Extremadamente fuertes o débiles vínculos depredador-presa en la naturaleza deben, por ende, ser para especies raras contenidas en una red alimenticia, por lo que, mientras en los niveles

³ Thilo Gross, Lars Rudolf, Simon A. Levin, Ulf Dieckmann, Generalized Models Reveal Stabilizing Factors in Food Webs Science, August 6, 2009

tróficos de la red alimentaria existan organismos altamente especializados y variados; el aprovechamiento de la energía será más efectivo”⁴

Lo anteriormente dicho está planteado a nivel de dinámica energética dentro del sistema, por lo que podría claramente plantearse un proceso de sustentabilidad (ecológicamente hablando) en esta clase de sistemas.

Permítanme dar el ejemplo de una cadena alimenticia terrestre extremadamente simplificada para explicar el concepto tecnotrófico:

1. Productores: césped, arbustos y árboles.
2. Consumidores primarios: saltamontes (comedores de plantas).
3. Consumidores secundarios: pájaros (insectívoros).
4. Consumidores Terciarios: serpientes (comedores de pájaros).
5. Consumidores Cuaternarios: Búhos (comedores de serpientes).
6. Finalmente, los factores bióticos y sus productos son reciclados (descompuestos) por los detritívoros (Bacterias, hongos, y algunos animales).

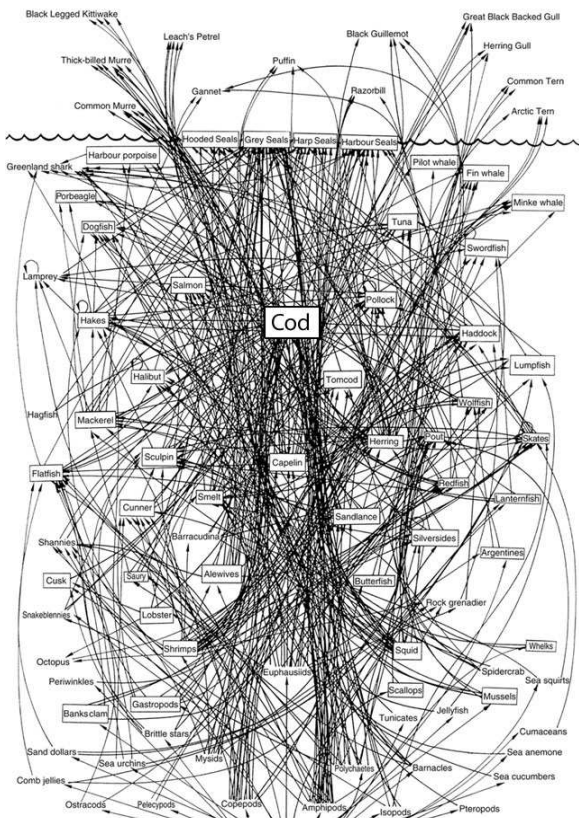
El término “tecnotrófico” proviene de integrar por medio de una tecnología las necesidades humanas en una parte de red alimenticia, es decir; buscar un sistema o método que nos permita ser parte de esta cadena y por ende de su sustentabilidad y la del ecosistema, volviendo así sustentable a su vez la necesidad humana.

En el caso específico de esta investigación, la necesidad humana a solucionar es el control térmico del espacio, esto ya se realiza de muy diversas formas, sin embargo el aporte esencial de esta investigación se basa en la implementación de biotecnología para introducir este desarrollo técnico en un nivel tecnotrófico.

Y ¿Cómo podemos liberar, capturar y controlar la energía calórica de nuestro ambiente de forma continua y a través de un sistema ecológico? Para entender cómo se puede desarrollar un sistema de este tipo debemos estudiar cómo es que los organismos naturales ya lo resuelven.

⁴ Francis Heylighen, Auto-organización y la adaptación, University of Brussels, Belgium, Enero, 2008

Este es un problema que desde hace mucho tiempo han tenido que resolver los sistemas naturales; plantas y animales controlan su temperatura, sin embargo ¿Cómo es que lo consiguen? y no solo esto, sino ¿cómo es que consiguen ser sustentables, durante miles de millones de años? La respuesta a esta sustentabilidad según Magurran⁵, “es la diversidad biológica, mientras más especies de organismos interactúan en un ecosistema las cadenas tróficas se vuelven más eficientes para aprovechar la energía del medio.” Cada organismo del sistema consume cierto tipo de energía generando un trabajo (la subsistencia del organismo) y permitiendo al siguiente eslabón de la cadena aprovechar los residuos que el anterior dejó, generando siempre cadenas cerradas. Esta diversidad de organismos aporta elementos (a través de sus procesos digestivos) individuales que al integrarse forman un ciclo autosustentable, donde cada organismo tiene un papel fundamental y si es retirado es en detrimento del ciclo completo.



Sin embargo la creación de esta clase de sistemas toma mucho tiempo, ya que se desarrollan a través de un proceso evolutivo continuo. Y dadas las multirrelaciones⁶ entre los organismos es difícil imitar los procesos que cumplen dentro del ecosistema, por ello la respuesta viable no es la copia a través de procesos mecánicos sino la utilización de estos organismos, para así integrar la tecnología a la cadena trófica. Lo que como ya se ha dicho llamaremos tecnotrófico.

Por lo anterior me enfoque en aquellos sistemas ecológicos que aprovecharan de la forma más eficiente la energía, esto, a través de la premisa anterior (“a mayor diversidad biológica cadenas tróficas más eficientes”) y el resultado de esta búsqueda fueron los ecosistemas que encontramos en los suelos.

foto II: esquema simplificado de una cadena (real) alimenticia en el Atlántico . (Las líneas indican interrelaciones entre individuos.)

© IFAW, 2009 (Reproducción realizada con fines didácticos)

⁵ Magurran, A E. Diversidad ecológica y su medición. Barcelona, 1989

⁶ Francis Heylighen, Ob. Cit. 2008

“El suelo es el organismo más completo sobre la tierra de él dependen todos los organismos terrestres y marinos, mantiene el gradiente más bajo de la cadena alimenticia y tiene la cadena más larga de interrelaciones ecológicas que se ha estudiado.” (Etchevers 1992)⁷

Busque entonces un sistema en el cual demostrar la posibilidad de almacenar energía térmica en el suelo, y descubrí que *“en Oriente Medio los fenicios (3000 A.C.) aprovechaba la tendencia a ascender del aire caliente para succionar aire a través de conductos subterráneos y de este modo refrescar las casas”⁸* hoy día este mismo sistema es ocupado en algunos espacios arquitectónicos, a estos dispositivos se les conoce como *“intercambiadores térmicos tierra-aire”* y basan su funcionamiento en la capacidad térmica que posee el suelo; la técnica consiste en disipar el calor de un cuerpo al subsuelo colocando tuberías (en un circuito cerrado) en este último y haciendo pasar un fluido intercambiador (comúnmente aire o agua aunque en casos especiales se ocupan CO₂ e incluso anticongelantes especiales) para que este sea enfriado o calentado por conducción y transmita esto al inmueble que lo requiere. En esta técnica la disipación o absorción de calor puede hacerse por contacto directo al suelo es decir se instalan tuberías sobre la superficie de este; sin embargo se ha demostrado que la eficiencia de estos sistemas tiene una relación directamente proporcional con relación a la profundidad donde se instalan las tuberías de disipación e inversamente proporcional al tiempo de recuperación de la carga térmica del subsuelo⁹. En este punto me gustaría recordar que dentro de un sistema termodinámico, una consecuencia de la ley de conservación de la energía (primera ley de la termodinámica), establece que, al suministrar una determinada cantidad de energía térmica (Q) a un sistema, esta cantidad de energía será igual a la diferencia del incremento de la energía interna del sistema (ΔU) menos el trabajo (W) efectuado por el sistema sobre sus alrededores:

$$\Delta U = Q - W$$

En otras palabras, esto quiere decir que si nosotros por convección hacemos llegar calor al suelo, este llegara a un punto en donde no pueda disipar más calor (porque no hay trabajo W) hasta pasado un tiempo (dependiendo del sistema, aproximadamente 12 horas en sistemas a 2m de profundidad)¹⁰ en que se vuelva a recuperar y se establezca el sistema nuevamente. Pero ¿Cómo es que funciona el

⁷ Jorge D. Etchevers Barra, Los análisis físicos y químicos: su aplicación en agronomía. 1992

⁸ Serrano, Rafael. Los Fenicios y Occidente, 1976 pp 77.

⁹ Flores Larsen, Lesigo G. Modelización de intercambiadores tierra-aire para acondicionamiento térmico de edificios. Año 2000, LATCYM, México pp. 43-61

¹⁰ Hullmuller Zragger P. A new ventilation and thermal storage technique for passive cooling of buildings, 2006. Pp.84-88

subsuelo que permite siempre mantener una temperatura inferior que la ambiental, debajo de su superficie (entre 7.5 cm y 30cm dependiendo del tipo de suelo) (Llorca 1999)¹¹? es simplemente un asunto de masa del suelo lo que le permite permanecer en una temperatura estable (15-22°C) (Alan Wild 1992)¹² mi hipótesis de trabajo es que no... La temperatura del subsuelo no solo depende de su masa, sino de muchos otros factores. El suelo es uno de los organismos más complejos que existen y genera dentro de él uno de los ecosistemas más complejos de la naturaleza, por lo cual considerar que el suelo mantiene su condición homeotérmica¹ sencillamente por su masa es ofrecer una respuesta poco razonable a un elemento tan complejo como en el suelo.

Pero entonces, ¿De qué depende la condición homeotérmica del suelo?

Para responder esta pregunta se debe estudiar el suelo desde su aspecto biológico, geológico y ecológico para así entender cómo es que dentro de él se generan ecosistemas que evitan ganancias y pérdidas térmicas para mantenerse dentro de un rango de temperatura.

Volviendo a la primera ley de la termodinámica, el suelo para generar esta estabilidad térmica, debe tener algo que consuma y genera calor, en otras palabras, que genere trabajo (W)

Mi hipótesis de trabajo entonces, se basa en pensar que la temperatura del subsuelo no solo depende de su masa, sino de otros factores; fundamentalmente la biomasa que habita en este y las reacciones bioquímicas que estos organismos genera; es decir trabajo (W).

Me intereso particularmente el caso de las bacterias, al descubrir que algunos de los procesos que estas realizan son reacciones químicas que poseían entalpías¹³ⁱⁱ (algunas positivas y otras negativas) por lo cual retiraban o cedían energía a su ambiente. Este proceso es la base de la investigación; pero, estos organismos están dentro de procesos ecológicos implican cadenas de sistemas largas y complejas, se ha optado por el análisis de cuatro casos de estudio que proveen termorregulación a partir de bacterias para entender como estas y otros organismos pueden estabilizar la temperatura de su ecosistema al enfriarlo o calentarlo; estos casos han sido aislados para determinar específicamente las posibilidades de estos organismos, para posteriormente experimentar con ellos dentro de su ecosistema..

Este proceso de investigación llevará en una etapa posterior a la aplicación intensiva de un sistema biotécnico que aproveche las características de los organismos para la estabilización “ecológica” de la temperatura de un espacio arquitectónico, con el fin de reducir el consumo de energía eléctrica para la climatización.

¹¹ Prácticas de atmósfera suelo y agua, Llorca, Bautista, Valencia, 1999 pp 38-49

¹² Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Rusell. Autor Alan Wild, España 1992.pp 101

¹³ Investigación de sistemas químicos (guía del profesor) 1975, ed. Reverté

Marco teórico

Hipótesis:

Es posible el aprovechamiento de las capacidades homeotermicas de microorganismos (bacterias) como medio para controlar la temperatura (enfriamiento o calentamiento) dentro de los espacios.

Objetivo General.

Generar un prototipo en la casa habitación del valle de México que:

- Reduzca o anule el consumo energético de sistemas activos de climatización mediante un sistema que implemente el uso de biomasaⁱⁱⁱ como generador de frio o calor en un objeto arquitectónico dado.
- Mediante el uso de desarrollos tecnológicos y biológicos (biotecnología^{iv}) ofrezca un ambiente confortable (*Norma ISO 7730*)^v al usuario de la casa habitación.
- Mediante el uso masivo de este sistema, devolver las cualidades climáticas originales del valle de México.

Objetivos Particulares.

1. Diseñar una montura de tipo Ecuatorial que mediante un sistema electrónico y de motores paso a paso “siga al sol” en su “ruta” diaria para captar la máxima iluminación solar posible para así maximizar los procesos de fotosíntesis y microclimatización del suelo y la vegetación con objetivo de reducir contaminantes, entre ellos el CO₂ atmosférico.
2. Generar un ecosistema cerrado óptimo para las cualidades ambientales del valle de México y que sea el campo de propagación de las bacterias previamente escogidas.
3. Diseñar un contenedor que “contenga” el sistema antes descrito y que a su vez sea estructura en la casa habitación dado la carga muerta que representa un sistema de este tipo

CAPITULO 1. ESTUDIO DEL SUELO

I.1 EDAFOLOGÍA

Pero, ¿cuál es el estado del arte en esta investigación?

Las preguntas a resolver son muchas, ¿cómo interactúa térmicamente el suelo en el ambiente? ¿Cómo produce, gana o cede energía? ¿Cuál es el estado de la investigación en este sentido? ¿En qué condición se encuentra el estudio del suelo? ¿Qué ciencia se dedica a estudiar este tema?

Existe una rama de la ciencia que se ha dedicado al estudio del suelo, ésta, la Edafología^{vi} ha tenido en su haber gran cantidad de estudios referentes al análisis del suelo, sin embargo esta rama de conocimiento de muy reciente creación (finales del siglo XIX)¹⁴ ha basado (como se verá) sus estudios en el análisis como conjunto de las características del suelo, dando lugar así, a la base teórica de mi investigación. En la mayoría de los casos, la edafología ha dedicado la mayor parte de sus esfuerzos a comprender los suelos para su posterior aprovechamiento agroindustrial, ésto quiere decir que se ha visto al suelo como el elemento generador de la producción agrícola y se ha estudiado en este sentido. Muy pocos estudios se han hecho intentando relacionar ecológicamente al suelo con su entorno para así describir el aspecto fundamental que atañe a esta investigación “el intercambio térmico” del suelo con su ambiente.

En el campo de la Edafología existe una rama que se dedica al estudio específico del clima y el suelo, cito a Juan José Ibáñez:

“La microclimatología es definida como la rama de la meteorología aplicada que estudia el influjo que ejercen, el crecimiento de las plantas y la constitución del suelo, en el clima de la región.”¹⁵

Pero ¿Qué factores estudia la microclimatología? Diversos factores la componen, ente ellos podemos encontrar a “la topografía, temperatura, humedad, altitud-latitud, luz la cobertura vegetal, la biomasa del suelo y su composición edáfica” (Daubenmire)¹⁶

Esta rama de conocimiento tiene especial relevancia en esta investigación la cual abordara de forma general las aportaciones térmicas de cada uno de estos factores teniendo especial cuidado en entender cómo es que la biomasa del suelo interactúa en el análisis térmico con el clima del ambiente.

Hasta la fecha, la edafología ha abordado el análisis térmico del suelo en conjunto, es decir el suelo como volumen ha sido estudiado; esto ha permitido gran cantidad de análisis que han determinado las cualidades específicas de la mayoría de los suelos en el mundo realizando una clasificación taxonómica

¹⁴ Primer libro Dokuchaev, V.V. 1879. Short Historical Description and Critical Analysis of the More Important Soil Classifications. Trav. Soc. Nat. St. Petersburg

¹⁵ Juan José Ibáñez, El Suelo como Sistema Natural y sus Factores Formadores, 2008, CSIC-Universidad de Valencia.

¹⁶ Daubenmire, *plants and environment a textbook of plant autoecology*. 1974 pp 102

primaria que estima cualidades y propiedades de cada suelo (*Taxonomía de suelos, Gisbert*)¹⁷ proporcionando información altamente relevante en el medio agroindustrial pero con la deficiencia teórica de no poder manipular las variables que determinan las características de los suelos por no entender su comportamiento como sistema.

Sin embargo estos primeros estudios aunque parciales servirán para generar un primer análisis del comportamiento térmico del suelo.

I.2 FORMACIÓN Y EVOLUCIÓN DEL SUELO.

Para entender un poco más el proceso de cambio de temperatura en los suelos podemos observar los estudios de Montieith que en su libro "Taxonomía de Suelos" nos describe y que intentare formular aquí.

Podemos ver al suelo como la base de todos los ecosistemas del planeta, este, es el espacio que ocupan todos los organismos, y para su análisis se divide en tres segmentos fundamentales:

1. Geomorfología y formación del suelo.
2. Microbiología
3. Ecología del suelo

Para entender cómo funciona un suelo debemos de entender cómo es que se formó, esto, como ya lo hemos dicho ha sido tema de análisis de la edafología y el resultado ha sido una base teórica inigualable para esta investigación.

Previamente definamos el suelo, para ello me ha parecido adecuada la hecha por Thomson y Toher en su libro "*Los suelos y su fertilidad*"

El suelo: "ente natural organizado e independiente, con unos constituyentes, propiedades y génesis que son el resultado de la actuación de una serie de factores activos (clima, organismos, relieve y tiempo) sobre un material pasivo (la roca madre)"¹⁸

El suelo se forma a través de un proceso en el que interviene el clima, los seres vivos y la roca más superficial de la litosfera. Este proceso es una sucesión ecológica en la que va madurando el ecosistema suelo. La roca es meteorizada por los agentes meteorológicos (frío/calor, lluvia, oxidaciones, hidrataciones, etc.) y así la roca se va fragmentando (edafización^{vii}). Los fragmentos de roca se entremezclan con restos orgánicos: heces, organismos muertos o en descomposición, fragmentos de vegetales, microorganismos y bacterias que viven en el suelo, etc. Con el paso del tiempo estos materiales se estratifican y terminan por formar lo que llamamos suelo.

¹⁷ Gisbert Blanquer Juan Manuel, *Taxonomía de suelos*, 1999

¹⁸ Thomson, Toher, *Los suelos y su fertilidad*. 1988 pp 57-60

En general, se forman suelos muy parecidos en todo lugar en el que las características de la roca y el clima sean similares. Sin embargo el clima influye más en el resultado final que el tipo de roca y, conforme va avanzando el proceso de formación, el suelo evoluciona, y sus interrelaciones se vuelven más complejas, en ese punto tiene mucho menos influencia el material original que formaba la roca y más el clima y los organismos en que el suelo se forma.

¿Cómo evaluamos entonces un suelo altamente evolucionado?, existen diversas teorías de las cuales, se han elaborado propuestas con vistas a la conceptualización de los geosistemas (los cuales analizan principalmente las estructuras abióticas) y geoecosistemas (que analizan los componentes abióticos y bióticos simultáneamente), partiendo de la teoría de los sistemas jerárquicos. Las más recientes suelen conjugar las aproximaciones sistémicas tradicionales (Bertalanffy 1950) con las novedosas aportaciones de las ciencias de la complejidad. La primera aproximación de este tipo (enfoque sistémico) para entender las interrelaciones que guarda el suelo con sus agentes fundadores fue expresada por primera vez por Hanns Jenny en 1941 según la siguiente ecuación:

Esta ecuación es un modelado bastante aproximado de la realidad

“La ecuación de los factores de estado”, también denominada “*clorpt equation*”

Según este autor, el estado de desarrollo de un suelo es función del clima (*cl*), litología (*li*), organismos (*bio*), relieve (*re*), tiempo (*t*) y otros factores relevantes (...). Expresado axiomáticamente:

$$S = f(cl, li, bio, re, t, \dots)$$

Esta ecuación es muy importante pues representa que para una determinada combinación de los factores formadores sólo puede existir un tipo de suelo (la misma combinación de factores originará siempre el mismo tipo de suelo independientemente del lugar geográfico en que se encuentre). Igualmente importante es que la magnitud de cualquiera de las propiedades del suelo, tales como pH, contenido en arcillas, porosidad, etc, está determinada por la combinación de estos factores formadores.

Así para evaluar la influencia de cada factor formador en las propiedades del suelo, basta en teoría con mantener constantes todos los demás, (hecho que frecuentemente es difícil de encontrar en la práctica). Así para ver la importancia del tiempo, la ecuación fundamental quedaría así:

$$S = f(t) \text{ cl, li, bio, re, siendo cl, li, bio, re= constantes.}$$

Lo que quiere decir que la variación de cualquier propiedad del suelo depende exclusivamente del tiempo. Así, en el tiempo cero, suelo y material original se funden uno en el otro. Variando el tiempo irán apareciendo una serie de tipos de suelos, cada vez más evolucionados, cuyas propiedades serán una consecuencia directa de la edad y obtendríamos lo que se llama una cronosecuencia. Por otra parte, si aislamos el factor roca madre (y mantenemos constantes a todos los demás) tendríamos una litosecuencia. Aislando el factor relieve obtendríamos una toposecuencia o catena, si es el clima el único

factor variable tenemos la climosecuencia y finalmente la acción de los organismos vendría representada en una biosecuencia.

I.3 FACTORES FORMADORES DEL SUELO.

La roca como factor formador

La roca representa la fuente de los materiales sólidos. Generalmente, los minerales del suelo proceden directamente o indirectamente de la roca madre. El influjo de las rocas en los constituyentes y propiedades de los suelos es muy marcado para los suelos más jóvenes, pero esta relación se va volviendo cada vez menos patente conforme va transcurriendo el tiempo.

Son muchos los parámetros de la roca que inciden en la formación y evolución de los suelos, pero de ellos podemos destacar claramente a tres.

Composición mineralógica. Aquellas rocas que contengan abundantes minerales inestables evolucionarán fácil y rápidamente para formar suelos, mientras que aquellas otras, como las arenas maduras, que sólo contienen minerales muy estables, como el cuarzo, apenas si llegan a edafizarse aunque estén expuestas durante largo tiempo a la meteorización.

Permeabilidad. Regula la penetración y circulación del aire y del agua, lo que va a condicionar de un modo decisivo la fragmentación, alteración y translocación de los materiales.

Granulometría. De los dos apartados anteriores se desprende el importante papel que el tamaño de las partículas de los constituyentes de la roca va a representar para la edafización de estos materiales.

El clima como factor formador

La decisiva acción del clima en la formación del suelo se desprende al considerar que el clima va a regular el aporte de agua al suelo, así como su temperatura. Ambos factores (humedad y temperatura) ejercen una influencia decisiva en los tres procesos básicos de formación de los suelos

Por otra parte el clima también influye directamente en otros factores formadores, como es el factor biótico y el relieve.

La disponibilidad y el flujo de agua regulan la velocidad de desarrollo de la mayoría de los procesos edáficos. Es por ello que la intensidad de percolación (infiltración) se considera un factor decisivo en la formación del suelo (condicionada por factores climáticos, cantidad y distribución anual de las precipitaciones, y algunos parámetros edáficos, como la permeabilidad). La intensidad de percolación nos va a indicar si en un suelo se produce suficiente exceso de agua como para producir el lavado y la translocación de materiales o si por el contrario el agua queda retenida sin que apenas se desplace hacia los horizontes profundos. La intensidad de la alteración, la clase de procesos que se presentan, el tipo de

horizontes que se formen y el espesor del suelo van a ser muy diferentes según que los suelos sean percolantes (abundante infiltración de agua) o subpercolantes

Los organismos como factor formador

Básicamente los organismos ejercen tres acciones fundamentales:

Constituyen las fuentes de material original para la fracción orgánica del suelo. Restos vegetales y animales que al morir se incorporan al suelo y sufren profundas transformaciones.

Ejercen importantes acciones de alteración de los materiales edáficos. Los organismos transforman los constituyentes del suelo al extraer los nutrientes imprescindibles para su ciclo vital. El papel de los microorganismos en la transformación de la materia orgánica es tan importante como para que la humificación apenas se desarrolle en su ausencia.

Producen una intensa mezcla de los materiales del suelo como resultado de su actividad biológica.

Efectos sobre los constituyentes y propiedades

- El tipo y abundancia de la materia orgánica del suelo está directamente relacionada con los organismos del mismo.
- Favorecen el desarrollo y estabilidad de la estructura (como consecuencia directa de su circulación a través del suelo y también al excretar residuos de intenso poder agregante).
- Aumentan la porosidad del suelo.
- Favorecen el drenaje.
- Influyen en el microclima (la vida microscópica y vegetal y disminuye la evaporación al disminuir la temperatura del subsuelo, aunque también consumen gran parte del agua del suelo).
- Protegen al suelo de la erosión. Por efecto mecánico (la cobertura vegetal, así como los restos acumulados sobre la superficie, protege a éste de los impactos de las gotas de lluvia) o por el poder de agregación que unen a las distintas partículas del suelo y así quedan fuertemente retenidas.
- Como se puede observar, se ha dejado fuera de esta primera etapa de investigación dos factores fundamentales de la ecuación de Jenny, el factor relieve y el factor tiempo, el primero de ellos por el motivo de que será eliminado en el prototipo final y solo determina el tipo de agregado existente en el suelo, y el segundo, porque únicamente considerare suelos en estado evolutivo avanzado, dado que son los que tienen mayor carga biológica.

I.4 ECUACIÓN DE JENNY Y USO EN LA INVESTIGACIÓN.

A través de la ecuación de Jenny podemos determinar y estudiar el grado de impacto que cada uno de estos factores tiene en el suelo; lo cual es fundamental en la investigación para determinar el tipo de suelo más eficaz en nuestro proyecto así como las cualidades que le otorgan al suelo su característica homeotérmica.

Así, la hipótesis puede ser comprobada mediante el modelado de un experimento donde la variable independiente sea la biosecuencia y las otras variables de la ecuación de Jenny sean dependientes de esta. Se determinará de esta forma el grado homeotérmico que general los microorganismos en el subsuelo, para posterior a este análisis saber cuáles microorganismos y bacterias aportan en mayor grado esta cualidad del suelo.

Con todo lo anterior podremos determinar la hipótesis antes presentada y si esta es positiva, generaremos un modelado para un suelo “intensivo” donde predominen estos microorganismos para su uso en el proyecto.

CAPITULO II. TERMOGENESIS Y SUELOS

II.1 COMPORTAMIENTO TERMICO.

Sin embargo, ¿Qué investigaciones nos pueden ayudar a definir el papel de la biosecuencia en el comportamiento térmico del suelo? Comenzare citando lo dicho por Ibáñez en su teoría acerca del comportamiento térmico de los suelos.

“Las variaciones diarias y estacionales de la temperatura del suelo, se amortiguan rápidamente con la profundidad, de tal modo que el medio edáfico actúa como tampón frente a la variabilidad de la temperatura atmosférica del lugar. Me sorprende que se encuentre una abundante información sobre la temperatura de la superficie del suelo y muy poca conforme descendemos a lo largo del perfil. Esta variable es enormemente importante a la hora de explicar la vida en el suelo, así como una plétora de reacciones biogeoquímicas^{viii} que ocurren en su seno, por cuanto junto con la humedad y oxigenación, ejercen una notable influencia sobre aquellas. Sin embargo, desde otro punto de vista, resultan chocantes las declaraciones de muchos “expertos” sobre cambio climático acerca de las repercusiones del calentamiento climático en el medio edáfico. La bibliografía actual comienza a estar repleta de barbaridades en esta materia. Conforme descendemos en profundidad, y salvando algunas excepciones, las fluctuaciones diarias y estacionales de la temperatura del suelo se reducen rápidamente hasta que a un metro o dos de profundidad, suelen ser desdeñables. Recordemos que a esa distancia de la superficie aún viven muchos microorganismos, tienen lugar numerosas reacciones biogeoquímicas y se desarrollan profusamente los sistemas radicales de las plantas ¿Qué significa tal hecho? Simplemente que el suelo es un medio muy refractario a las fluctuaciones de temperatura, por lo que su ambiente térmico resulta ser extremadamente regular y estable para el desarrollo de la vida y el metabolismo edáfico”¹⁹

Aquí tenemos el primer aporte de nuestro supuesto, demostramos con lo antes dicho que el suelo como sistema tiene una gran capacidad calórica (no sabemos aún si es por su masa o por sus cualidades térmicas o porque este produce calor) y que en su horizonte A y B^{ix} la temperatura se vuelve muy estable. Para respaldar este argumento tenemos los estudios de Forsythe y Warren, donde demuestran que:

“La radiación solar en la zona ecuatorial durante el año es bimodal e influye sobre la media de temperatura del ambiente y del suelo. Dicha variación está influenciada por las fechas que corresponden a las épocas cuando los rayos del sol de mediodía caen perpendicularmente a la superficie del orbe y proporcionan la intensidad máxima. Estos picos bimodales pueden verse suprimidos o desplazados por la ocurrencia de lluvias y la nubosidad. Los picos de radiación promedio mensual están seguidos por picos de temperatura promedio ambiental mensual un mes

¹⁹ Juan José Ibáñez, Temperatura del suelo y microclimatología 2002, CSIC-Universidad de Valencia.

después, los cuales son la culminación de épocas de calentamiento acumulativo debido a que la energía recibida de la radiación diurna sigue en exceso de aquella perdida durante el enfriamiento nocturno hasta llegar a tal culminación. Después de la culminación sigue una época de enfriamiento acumulativo. Los picos de temperatura ambiental mensual coinciden con los picos de temperatura mensual del suelo hasta 10 cm de profundidad. A una profundidad mayor de 10 cm las medias anuales de la temperatura del suelo varían muy poco. En cambio entre 0-10 cm, las medias anuales se encuentran en una posición central con respecto a las medias mensuales y muestran una tendencia de aumento hacia la superficie. La temperatura a más de 10 cm muestra una estabilidad máxima sugiriendo una salida de calor a esta profundidad.”²⁰

Que nos indica este párrafo; Antes que nada debemos de acotar este estudio, Resulta muy interesante que el estudio sea hecho en una zona tropical, y si nos damos cuenta podremos observar que al final del párrafo indica: “sugiriendo una salida de calor a esta profundidad” en otras palabras está diciendo que en esa zona se pierde calor (se enfría) ¿Qué es posible encontrar a “más de 10 cm de profundidad” en el suelo? mi teoría por supuesto es que el descenso de esta temperatura se debe a los procesos biológicos llevados a cabo en estos espacios. Sin embargo y antes de llegar a esta conclusión debemos de comprender la participación que tiene cada uno de los componentes del suelo dentro de su comportamiento térmico; para esto, debemos entender que el estudio del comportamiento térmico de un suelo requiere introducir las propiedades de cada uno de sus componentes, entre otras podemos mencionar las más importantes según el esquema clásico de la edafología.

- el contenido de agua,
- la granulometría de los materiales y la forma en la que se encuentre.
- Origen y estado evolutivo del suelo
- Cobertura vegetal
- Estructura y relieve

Con los factores anteriormente mencionados Jaime Porta en su libro “edafología para la agricultura y el medio ambiente” plantea una solución teórica donde determina de forma estimada la participación de cada uno de estos factores en la temperatura del suelo:

²⁰ Forsythe A. Warren D. Parámetros ambientales que afectan la temperatura del suelo en Turrialba, Costa Rica, Enero 2002, Revista, Agronomía Costarricense.

Según los estudios de Jaime Porta,

“El suelo no es un verdadero sólido, sino que consta de partículas individuales y agregados, junto con aire, agua o hielo. La conductividad de un bloque de suelo no es constante, sigue la secuencia: mineral > agua > aire, depende de varios factores como:

- a) la conductividad de las partículas del material del suelo*
- b) el tamaño de las partículas del suelo*
- c) la compactación de la mezcla, es decir la porosidad y el grado de contacto entre partículas;*
- d) La humedad del suelo.”²¹*

Y nos indica que el comportamiento térmico del suelo es

“La capacidad calorífica o capacidad del suelo para almacenar calor por unidad de volumen o de masa y unidad de temperatura puede expresarse como:

La cantidad de calor necesario para que la unidad de volumen de un suelo aumente un grado su temperatura en condiciones isobáricas:

$$C_v = \frac{1}{V} \left(\frac{dQ}{dT} \right) \quad Jm^{-3}C^{-1}$$

Análogamente, la capacidad calorífica másica (calor específico)²²:

$$C_p = \frac{1}{M} \left(\frac{dQ}{dT} \right) \quad Jkg^{-1}C^{-1}$$

Donde:

C_p = capacidad calorífica por unidad de masa.

V = volumen de la fase

M = masa

$\frac{dQ}{dT}$ = diferencial de cambio con respecto al tiempo.

²¹ Porta et al "Edafología: para la agricultura y el medio ambiente"(1999) 2ª ed. Ediciones Mundi Prensa pp 65

²² *Ibid.* p. 66

Sin embargo ¿cómo entender que la parte más compleja del suelo? (el factor biótico) no participa en absoluto en la variable Temperatura en el suelo.

II.2 CALOR EDAFICO.

Los estudios hechos hasta el momento hablan del suelo y su calor específico en función de su capacidad másica, esto quiere decir que evalúan al suelo como un todo, y así es que miden su temperatura, a través de la energía térmica que se transmite hacia el ambiente, y atribuyen como factor principal la cantidad de agua que el suelo contiene, (con excepciones en los suelos normalmente encharcados o los suelos áridos) El planteamiento clásico del comportamiento térmico del suelo es el siguiente:

“Al irradiarse la superficie del suelo con energía solar, esta se calienta y su temperatura aumenta transfiriendo calor hacia abajo por conducción. Como cada capa recibe calor, su temperatura aumenta, pero el punto hasta el cual aumenta depende de la capacidad de calor de la unidad de volumen del suelo, lo que a su vez depende del calor específico del material. El agua tiene el calor específico más alto de las sustancias comunes, por lo que el aumento de temperatura será menor que para igual volumen de cualquier otro material. Esto significa que el calor específico de un volumen de suelo aumenta con el contenido de agua. También varía con la densidad del suelo. El calor específico grande del agua es responsable de las temperaturas moderadas que se encuentran en regiones cercanas a grandes masas de agua. Por ejemplo, al descender la temperatura de la masa de aire en el invierno, se transfiere calor del agua al aire, el cual a su vez transporta calor hacia la tierra si los vientos son favorables (aunque también se producen excepciones, como en los suelos permanentemente encharcados, o en los ambientes hiperáridos, habitualmente secos durante varios años consecutivos)”²³

¿Por qué los suelos “hiperáridos” (secos durante varios años) o encharcados permanecen como excepciones a los comportamientos térmicos del suelo? En el caso de los suelos áridos el planteamiento clásico responde parcialmente la pregunta; al no contener agua, el suelo árido no puede retener el calor y por ende la transmisión hacia el ambiente es muy rápida, sin embargo los suelos encharcados no se comportan según la fórmula antes presentada, y tienden a comportarse con las cualidades térmicas del agua sin embargo llegan a los estados de congelación tal cual lo hace el agua, siendo que los suelos con niveles estables de agua no lo hacen aun en climas con temperaturas de congelación.

²³ FitzPatrick, Ewart Adsil Suelos: Su formación, clasificación y distribución. traducido por Antonio marino ambrosio México 1984

Aventuro una explicación: ¿no será que en estas dos clases de suelos los niveles de organismos vivos son casi nulos y que las estructuras bióticas del suelo (en estos dos casos especiales) no existen? No sería más probable explicarse el factor biótico como un organismo homeotermico que transmite calor a su medio y por ende el suelo muestra una transmisividad térmica^x “mayor” que la de un cuerpo inerte.

¿Cómo podemos evaluar teóricamente este concepto?

“En agricultura son los cambios de temperatura más que el flujo calórico los que tienen gran importancia para las partes subterráneas de las plantas, y esto se halla determinado por la difusividad térmica (α)^{xi}, este factor (α) es altamente relevante para medir el potencial de producción de los suelos y es un factor directamente proporcional con la estabilidad térmica del Suelo.”²⁴

Esto quiere decir mientras más estable es la temperatura del suelo, así como su humedad relativa (esto tiene una relación también directa con el tipo de suelo) mayor es la producción esperada de este, lo que en pocas palabras podría decirse, es que es más fértil. Reformulando... mientras el suelo es más fértil la temperatura de este es más estable.

²⁴ Ibañez, Temperatura del suelo y microclimatología p. 88.

II.3 FACTOR BIOTICO EN LOS SUELOS.

Por otra parte los estudios de Buol, en su libro “génesis y clasificación de suelos” indican que:

“los suelos de máxima producción tienden a tener poblaciones de rizobacterias (Pseudónimas fluorescentes) hasta 80 veces mayores que los suelos de baja producción”²⁵

También, Óscar Jaime Rioz Díaz, en su artículo “mejoramiento de suelos agrícolas” encuentra una relación directamente proporcional entre las bacterias y el grado de fertilidad del suelo.

“Además de su participación en el proceso de formación del suelo, los microorganismos realizan una importante contribución en el crecimiento de las plantas por medio de su efecto en el nivel de fertilidad de la tierra. Son importantes para esta acción las plantas microscópicas (micro flora), cuya función es descomponer los residuos orgánicos, liberar y dejar disponibles los nutrientes para el crecimiento de las plantas. Algunos de los microorganismos importantes son las bacterias, los hongos, los actinomicetos y las algas. Todos están presentes en el suelo en cantidades enormes cuando las condiciones son favorables. Un gramo de tierra (aproximadamente 1 cm³) puede contener 4,000 millones de bacterias, un millón de hongos, 20 millones de actinomicetos y 300 mil algas. Estos microorganismos son importantes en la descomposición de los materiales orgánicos, de la subsecuente liberación de los elementos y nutrientes y de la fijación del nitrógeno proveniente de la atmósfera. Las bacterias nativas del suelo son de especial interés por sus variadas actividades. Adicional al grupo de bacterias cuya función es la descomposición de los materiales orgánicos (bacterias heterotrópicas), existe otro pequeño grupo (bacterias autotrópicas) que obtiene su energía de la oxidación de materiales minerales, como el amoníaco, el azufre y el hierro. Este último grupo es responsable del proceso de nitrificación (oxidación del amoníaco a nitrógeno nitrato) en el suelo, de vital importancia para proveer el nitrógeno para el crecimiento de los cultivos agrícolas. Las bacterias que fijan el nitrógeno desarrollan una actividad de suma importancia en el crecimiento de las plantas, ya que son capaces de convertir el nitrógeno atmosférico en formas útiles para el suelo. Las importantes contribuciones que las bacterias aportan al nivel de fertilidad de los suelos, la vida de las plantas y de los animales, podrían terminar si fallaran en sus funciones las bacterias. Con esta formulación se pretende mejorar la calidad de las tierras fértiles para la agricultura. La adición de los componentes de la formulación ayudará a la captación de nitrógeno atmosférico, junto con la ayuda de otros microorganismos naturales, para evitar el uso de fertilizantes químicos. El trabajo puede tener impacto económico y social, pues pretende incrementar la producción y vida del campo mexicano. Si existen

²⁵ Buol "Génesis y clasificación de suelos"(1991). Edit. Trillas

microorganismos fijadores de nitrógeno, entonces habrá un incremento en la concentración del nitrógeno. Si la formulación del acondicionador del suelo agrícola es efectiva, favorecerá el mejor desarrollo de los cultivos vegetales.”²⁶

Entonces si ligamos estos dos argumentos:

1. Los suelos Fértiles son extremadamente estables térmicamente dado que su nivel de difusividad térmica es muy bajo.
2. Los suelos Fértiles tienen poblaciones bacteriales (léase biomasa) elevadas

Por supuesto existen otros muchos factores que afecta la difusividad antes descrita y que pudiesen afectar o nublar la hipótesis aquí planteada, por ejemplo; dentro del suelo pueden tener lugar la evaporación, la condensación y movimientos del vapor de agua, y para un suelo inicialmente muy seco, la difusividad puede aumentar en un orden de magnitud cuando, se le añade una pequeña cantidad de agua, dado que cantidades de calor relativamente grandes se transfieren por evaporación y condensación del agua de los poros. La adición de agua a un suelo seco conduce al reemplazo del aire de los poros celulares por agua y a un mejoramiento del contacto térmico entre partículas adyacentes resultando ambos procesos en el aumento de la difusividad térmica y la conductividad térmica aumenta.

También encontramos la variación diurna y anual de la temperatura del suelo a diferentes profundidades pero ello podemos entenderlo como el proceso cíclico natural de la vida de las cepas microbiológicas y el cambio climático estacional.

El tema actual a diferencia de los estudios previos será visto como la aportación térmica de los microorganismos del suelo en la transmisión de un pulso de calor desde abajo hacia la superficie, pero los mismos principios son aplicables a los casos en que, la capa superficial se calienta y el calor fluye hacia el interior.

Con lo anteriormente dicho podemos confirmar la hipótesis que sustentara este proyecto de investigación.

²⁶ Óscar Jaime Ríoz Díaz Centro Universitario de la Ciénega, gaceta Universitaria, 1 de enero 2002.

La biomasa en el suelo posee cualidades homeotermicas que estabilizan y controla la temperatura de este; estos dos argumentos en conjunto me llevan a determinar, que las bacterias no solo provén fertilidad al suelo sino que también sus procesos bioquímicos fungen como termorreguladores^{xii} permitiendo que el suelo estabilice su temperatura (hasta cierto punto) en relación al clima donde esta insertado. O ¿cómo podemos entender que el suelo tenga una capacidad calorífica alta?, (entre 0.27 y 0.80 cal/g/°C²⁷), (casi tan alta como la del agua) esto significa que: o es un buen acumulador de calor o que es un generador de calor, me inclino a pensar en lo segundo porque el suelo posee una baja conductividad térmica que hace que la penetración del calor en el suelo sea lenta, al igual que su enfriamiento, el agua en comparación posee una muy alta conductividad térmica.

Con el considerando anterior, se ha realizado la búsqueda bibliográfica evaluando específicamente la fertilidad del suelo y los resultados que se han encontrado resultados diametralmente opuestos de las teorías clásicas previamente enunciadas acerca del comportamiento térmico de los suelos.

II.4 COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL SUELO.

La explicación descrita previamente deja claramente determinado que la temperatura de un suelo cualquiera depende de los factores climáticos externos, es decir no es ni generador o consumidor de calor, por ende, se esperaría ver que el promedio de temperatura de un suelo dado, a lo largo de un ciclo sería igual a la temperatura promedio ambiental a lo largo de ese mismo ciclo, sin embargo esto no es así, sorprendentemente, todos los suelos (exceptuando los áridos o normalmente encharcados) no reflejan esta condición y aumentan sus cualidades homeotermicas cuando estos son más fértiles.

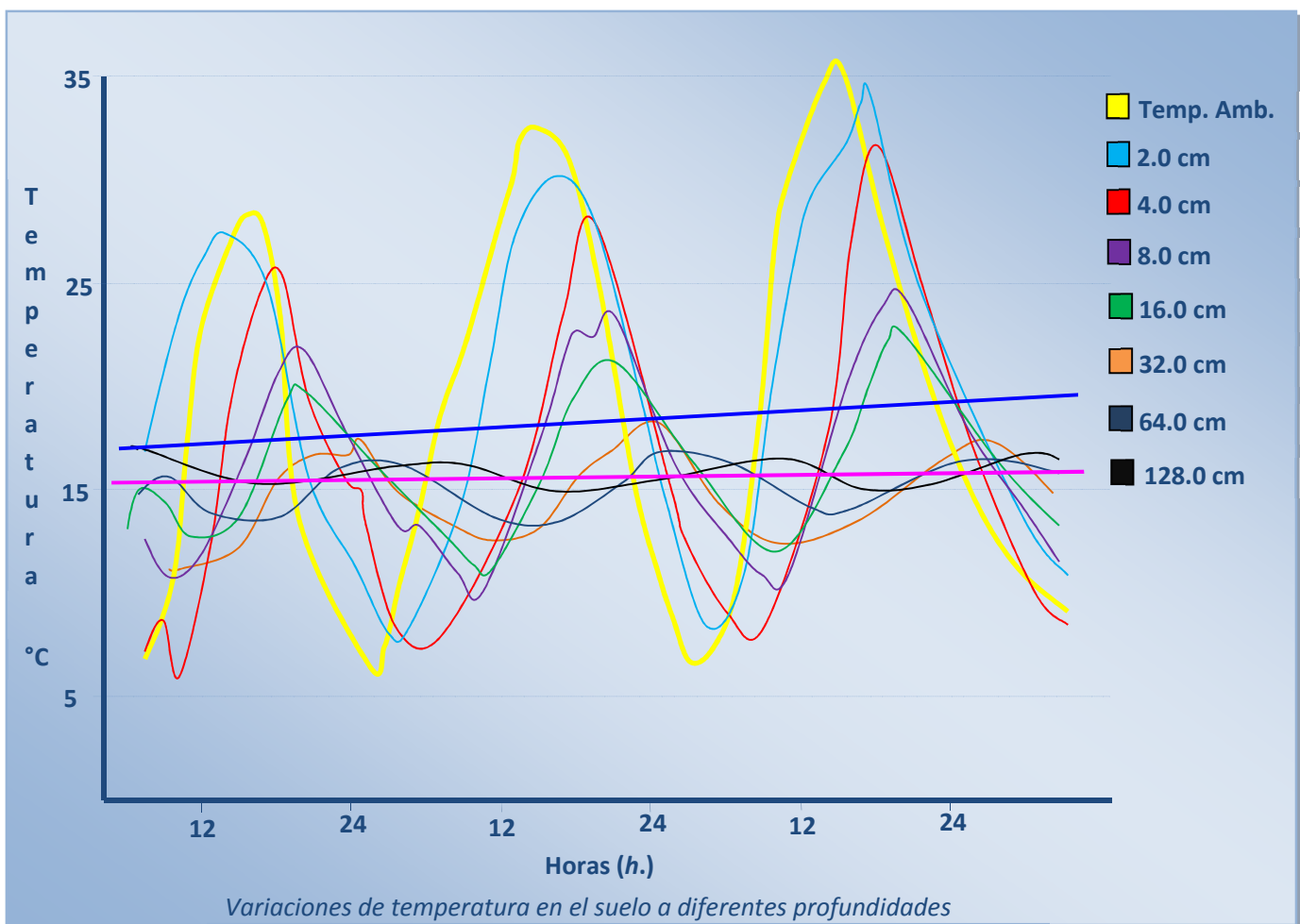
El suelo al cual hacemos referencia a continuación para ejemplificar esto es de tipo andosol húmico el cual, según la clasificación de taxonomía edáfica de USDA²⁸ es:

“Un andosol es el suelo negro que hay en los volcanes y sus alrededores. El término andosol deriva de los vocablos japoneses an que significa negro y do que significa suelo. Se desarrollan sobre cenizas y otros materiales volcánicos ricos en elementos vítreos. Tienen altos valores en contenido de materia orgánica, sobre un 20 por ciento, además tienen una gran capacidad de retención de agua y mucha capacidad de cambio. Se encuentran en regiones húmedas, del ártico al trópico, y pueden encontrarse junto una gran variedad de vegetales. Su rasgo más sobresaliente es la formación masiva de complejos amorfos humus-aluminio. Son en general oscuros y con propiedades ándicas; es decir, que más del 60% del suelo debe estar formado por clastos volcánicos de más de 2mm de diámetro. Dada la riqueza de materia orgánica tienden a ser suelos ácidos propios del clima húmedos y subhúmedos”

²⁷ Soil physical factors taxonomy, board bulletin N° 294, 2006

²⁸ Keys to Soil Taxonomy Eleventh Edition, 2010 United State Department of Agriculture PP 77-97

Este estudio ha sido tomado especialmente en cuenta dado que el suelo de tipo andosol húmico es el más abundante en la cuenca del valle de México, por lo que el comportamiento térmico del suelo en este estudio asemejara consistentemente el comportamiento que tendría el suelo de la zona centro del país. (Ver anexo^{xiii}) de esta forma, podremos también determinar a través de la clasificación taxonómica similitudes entre el suelo visto en el estudio que a continuación se presenta, y el suelo a estudiar para el actual proyecto de investigación



Gráfica I: comportamiento térmico de un suelo Andosol húmico. Datos obtenidos de: *The nature and properties of soils* / Nyle C. Brady, Ray R. Weill año 2010

© Juan Carlos Cerecero, 2010 (Reproducción realizada con fines didácticos)

La grafica previa describe claramente el comportamiento homeotérmico del suelos, la línea azul marca la tendencia lineal de la temperatura ambiental mientras que la magenta describe la tendencia lineal de la temperatura del suelo; en este caso en particular existe un enfriamiento claramente reflejado en el espacio entre estas dos líneas (de entre 5.0 y 12.0°C) Este es sin duda un descubrimiento fundamental dado que estos suelos, pueden enfriarse natural y ecológicamente, por ende sustentablemente. Además la gráfica previa también demuestra un control térmico muy eficiente, dado que como se observa el suelo mantiene una temperatura enormemente estable, entre 16.0 a 17.5°C. (Una diferencia de 1.5°C) a lo largo de tres días donde las temperaturas ambientales varían en un rango de 27°C en promedio.

La grafica antes presentada refleja con claridad las cualidades de enfriamiento que posee esta clase de suelos (andisol húmico) altamente fértiles y refuta con datos duros la teoría de que los suelos se comportan únicamente como baterías térmicas y son un reflejo de la temperatura ambiental.

De la gráfica anterior también podemos recuperar información relevante para este tema de investigación ya que podemos observar cómo es que la profundidad del suelo afecta el comportamiento térmico de este.

En la gráfica se observa que el suelo aún a 2cm y hasta los 4cm de profundidad comienza a tener un cierto control térmico (1.5° por debajo de la temperatura ambiental en promedio) sin embargo el espacio existente entre la marca de 4cm y 8cm se vuelve más palpable la estabilización de la temperatura (entre 5 a 10°C por debajo de la temperatura ambiente) y a partir de la profundidad de 16cm se desarrolla con mayor intensidad este comportamiento de control térmico, y a partir de los 32cm hasta los 128cm se puede observar claramente que las variaciones térmicas en este umbral disminuyen dramáticamente, (a 32cm de profundidad el cambio más extremoso de temperaturas es de solamente 8°C mientras que el ambiental en este mismo periodo de tiempo es de 29°C)

Pero ¿para qué nos sirve saber a la profundidad en la cual se comienza a hacer claro este control térmico? Es precisamente alrededor de los 40cm²⁹ donde aparece el “horizonte edáfico” donde se dan los mayores procesos bióticos en el suelo. Dado que a esta profundidad las concentraciones de Oxígeno en el suelo resultan lo suficientemente bajas como para que las bacterias nitrobacter (que solo viven en ambientes de bajo o nulo oxígeno) puedan realizar sus funciones biogeoquímicas.

²⁹ Nyle C. Brady, Ray R. Well. The nature and properties of soils , 1999, p.126

Sin embargo pudiese considerarse aún con los datos antes expuestos que esto pudiese explicarse a través de la capacidad térmica del suelo; es decir, a mayor profundidad el suelo tiende a mantenerse frío (esta teoría no tiene ningún fundamento ni en la teoría clásica de comportamiento térmico de los suelos, ni en la bibliografía hasta ahora consultada); para refutar esta teoría se ha buscado precisamente el caso opuesto, el cual encontramos climas fríos y donde los suelos altamente fértiles sirven literalmente como calefactores, manteniendo climas edáficos estables.

El suelo al cual hacemos referencia es de tipo molisol el cual, según la clasificación de taxonomía edáfica de USDA³⁰ es:

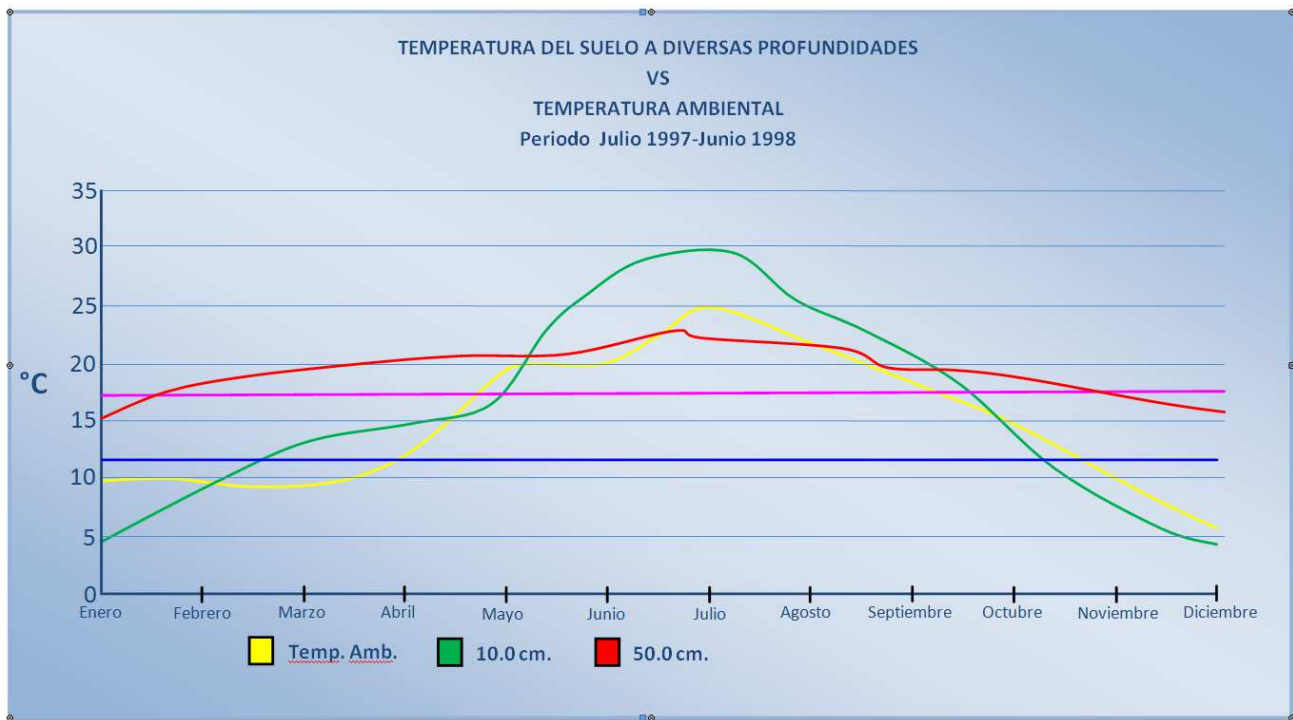
“Orden de suelos caracterizados por ser de zonas de pradera en climas templados; con un horizonte superficial blando, rico en materia orgánica, espeso y oscuro. El molisol es la capa de hielo superficial del permafrost. Se encuentra en sistemas periglaciares. El molisol se descongela en verano y queda helado en invierno. Muchas veces se forma bajo vegetación herbácea en áreas con climas definidos por un período estacional de déficit de humedad; son oscuros con una capacidad mayor de intercambio de cationes, dominados por calcio.

Suelo de pastizales templados con una capa oscura, suave, espesa, orgánicamente rica como la pradera, la pampa o la estepa, fruto de la relación hielo-deshielo.

Se dice de la acumulación de agua y fango resultante de la fusión del hielo en el suelo en primavera”²⁷

Esta clase de suelos se hallan mayormente en latitudes de la banda de 40° N y S del ecuador, son como indica la clasificación taxonómica, suelos altamente fértiles por su capacidad de intercambio de cationes; en el caso particular de este ejemplo, se localiza en el parque Latourette de New York. este estudio está realizado con el propósito de determinar la temperatura del suelo en lugares donde hay Vs lugares donde no hay árboles dentro de este parque; sin embargo los estudios y datos sirven fielmente para ejemplificar lo que concierne al comportamiento térmico del suelo.

³⁰ Keys to Soil Taxonomy Eleventh Edition, 2010 United State Department of Agriculture PP 197



Gráfica II: Comportamiento térmico de un suelo Molisol ustol. Datos obtenidos de: *Natural Resources conservation Services USDA/NRCS, Hernandez, Goddard, Indrick.*

© Juan Carlos Cerecero, 2010 (Reproducción realizada con fines didácticos)

En este caso a diferencia del anterior, Vemos un comportamiento invertido, en esta clase de suelos, (congelados o parcialmente congelados en parte del año) observamos que la temperatura del suelo a 10 cm de profundidad tiende a tener el mismo comportamiento térmico que el ambiente, (existe como se observa en la gráfica una temperatura mayor en el suelo vs temperatura ambiental entre los meses de mayo a octubre) sin embargo también se puede observar que a 50cm de profundidad la temperatura tanto en invierno como en verano varía únicamente 7°C entre los máximos anuales. Manteniendo diferencias de temperatura entre su ambiente y el suelo de hasta 13°C.

Sin embargo el proceso más interesante se da entre los meses de Junio y Septiembre; antes y después de estos, el comportamiento el suelo sufre un calentamiento (dado que la temperatura ambiental es menor que la edáfica) pero en el periodo de verano, sufre el proceso inverso, (existe un enfriamiento durante un periodo de 3 meses.

Como en el caso anterior, La grafica describe un claro comportamiento homeotérmico del suelos, la línea azul marca la tendencia lineal de la temperatura ambiental mientras que la magenta describe la tendencia lineal de la temperatura del suelo; resulta sorprendente observar que el suelo mantiene temperaturas estables (7° de diferencia al año) considerando que este clima tiende a tener periodos de congelación y veranos templados.

Tal vez lo más relevante de éste segundo estudio resulta ser nuevamente la profundidad a la que ocurren estos cambios, justamente en la cota de los 50cm (muy parecido a los 64cm del estudio previo) donde nuevamente, se encuentra el horizonte edáfico donde se vuelven más abundante los factores bióticos del suelo, y por supuesto, donde las bacterias nitrobacter tienen su hábitat ideal.

Sin embargo no soy el primero en darme cuenta de este comportamiento del suelo, en su libro Dictionary of Geological Terms, Bates y Jackson³¹ hacen mención de este comportamiento. Bajo el rubro de "exothermic soil"

También en la investigación: "Temperature Signatures for Anthropogenic Soils in New York City" los autores apuntan:

*" The exothermic sources at the landfill site have dramatically increased the MAST for the 50-cm soil depth over the wooded area to the degree that the Greatkills soil has a hyperthermic soil temperature regime"*³²

*"la fuente exotermica en el terreno ha aumentado dramáticamente, en la marca ("MAST "siglas de dispositivo de toma de muestras) de los 50cm de profundidad sobre la superficie arbolada en la medida en que el suelo de Greatkills (zona de New York) tiene un régimen de temperatura de suelo hipertérmico"*²⁹

Con lo anterior hemos determinado que existe una capacidad tanto exotérmica como endotérmica en el suelo, sin embargo no se ha determinado de donde proviene esta propiedad del suelo; la hipótesis es que esta cualidad del suelo proviene de su factor biótico, es decir, de las bacterias, y microorganismos que habitan el suelo, que a través de sus procesos de digestión generan procesos bioquímicos que generan o requieren energía térmica para llevarse a cabo y estos generan el comportamiento térmico particular de cada suelo

A continuación se explica cómo y porque estos organismos participan de forma esencial en la temperatura del suelo.

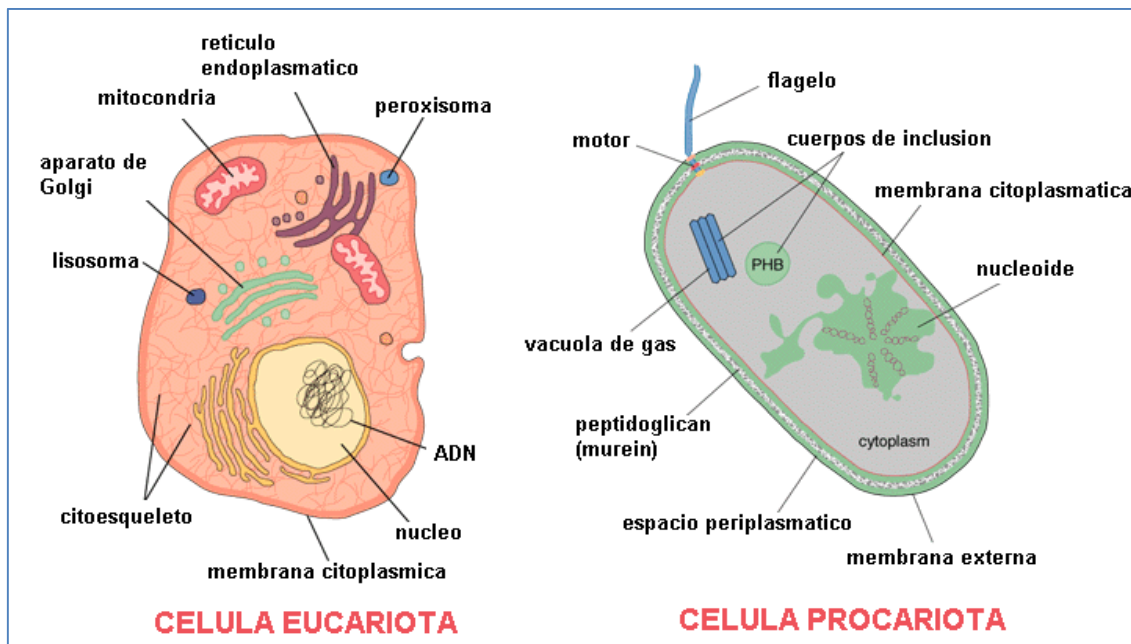
³¹ Terms Robert L. Bates, Julia A. Jackson Dictionary of Geological 1984.

³² Hernandez, Goddard, Indrick. Temperature Signatures for Anthropogenic Soils in New York City, USDA/NRCS 1999

CAPITULO III.

III.1 BACTERIAS Y SUELO.

Las bacterias son microorganismos unicelulares que presentan un tamaño de algunos micrómetros de largo (por lo general, entre 0,5 y 5 μm) y diversas formas incluyendo esferas, barras y hélices. Las bacterias son procariontes y, por lo tanto, a diferencia de las células eucariotas (de animales, plantas, etc.), no tienen núcleo ni orgánulos internos.



Gráfica II: diferenciación entre células eucariotas y procariotas

© Bhattacharya, D. et al (2004) <http://cnho.wordpress.com> (Reproducción realizada con fines didácticos)

Estos organismos son los más abundantes del planeta. Son ubicuas, encontrándose en todo hábitat de la tierra. Se estima que hay en torno a 40 millones de células bacterianas en un gramo de tierra y un millón de células bacterianas en un mililitro de agua dulce. En total, se calcula que hay aproximadamente 5×10^{30} bacterias en el mundo.

Las bacterias son imprescindibles para el reciclaje de los elementos, pues muchos pasos importantes de los ciclos biogeoquímicos dependen de éstas. Como ejemplo cabe citar la fijación del nitrógeno atmosférico. Sin embargo, solamente la mitad de los filos conocidos de bacterias tienen especies que se pueden cultivar en el laboratorio, por lo que una gran parte (se supone que cerca del 90%) de las especies de bacterias existentes todavía no han sido descritas.

Según un artículo de la revista *New Scientist*³³, se estima que la cantidad de especies de bacterias asciende aproximadamente a 37 millones, de estas solo se conocen el 6% pero forman el 41% de toda la biomasa existente en el planeta. ¿Cómo comprender que con esa participación másica en el planeta no tengan un aporte térmico? Resulta casi imposible estadísticamente que con esa diversidad de especies no exista una sola que no sea homeotérmica. Así pues, esta investigación se basa en encontrar una bacteria que pueda controlar la temperatura de su medio.

Pero ¿Cómo se presentan las bacterias en los suelos?

Las bacterias se localizan casi en cualquier lugar del planeta, en el caso de los suelos su disposición, es muy variable pero en los suelos cultivados supera con mucho al de los otros seres vivos. En un gramo de suelo se ha calculado que viven algunas decenas de millones de bacterias y su actividad metabólica es tan grande que pueden desprender en una hora, a través del proceso respiratorio, varios kilos de dióxido de carbono. Sin embargo no están uniformemente distribuidas a lo largo del perfil edáfico y con frecuencia, existen zonas de hacinamiento junto a otras escasamente pobladas.

Resulta un problema determinar el número de bacterias existentes en el suelo, primero porque no existe un medio de crecimiento homogéneo, y segundo porque las bacterias crecen en el suelo como colonias y al realizarse el estudio de estas se desintegran casi en su totalidad como organismo.

De acuerdo a su alimentación; Las bacterias se pueden dividir en dos grandes grupos: autótrofas y heterótrofas; las primeras utilizan como fuente de carbono al dióxido de carbono y como fuente de nitrógeno a los nitratos y a los compuestos de amonio; las heterótrofas, que representan la gran mayoría, extraen ambos elementos del material orgánico existente en el suelo.

³³ *New Scientist* 27 May 2010 Debora MacKenzie number 2760

¿Cómo podemos clasificar a las bacterias del suelo?

Según Winogradsky:^{xiv}

“Se clasifican en dos grupos; microorganismos autóctonos o indígenas y zimógenos o fermentadores. El número de los primeros no varía apreciablemente. Los zimógenos suelen ser escasos y florecen abundantemente cuando se añade una determinada cantidad de materia orgánica y luego desaparecen casi al terminarse esta.”³⁴

Dentro de las bacterias autótrofas y dependiendo de la fuente de energía, podemos considerar otros dos grupos: quimiosintéticas, que obtienen la energía mediante la descomposición de sustratos inorgánicos y fotosintéticos, cuya energía la obtienen del sol como los vegetales superiores.

La gran riqueza de formas que presentan las bacterias, les permite participar en toda una serie de transformaciones que son indispensables para mantener el suelo en unas condiciones físico-químicas idóneas para el desarrollo de una vegetación superior. Controlan la fijación del nitrógeno molecular, la mineralización del nitrógeno orgánico, la descomposición de residuos animales y vegetales y la síntesis y descomposición de productos húmicos.

³⁴ Sergei Winogradsky, clasificación bacterial, 1941 pp.36

III.2 CLASIFICACIÓN DE BACTERIAS EN LOS SUELOS

La clasificación de las bacterias en los suelos es un tema ampliamente tratado en la ciencia moderna; aquí plantearemos como ideal la clasificación realizada por Burges, dado que esta se centra en las características morfológicas de los microorganismos con los cuales posteriormente clasificaremos nuestros suelos.

“Burges sugirió una clasificación morfológica de las bacterias del suelo que se ven directamente con el microscopio; las reunió en los seis grupos siguientes:

1. *Cocos pequeños con diámetro de alrededor de media micra.*
2. *Bacilos cortos de más de media micra de diámetro y de una a tres de longitud.*
3. *Bacilos cortos y curvados, vibriones.*
4. *Bacilos largos.*
5. *Bacilos que a veces presentan ramificaciones.*
6. *Bacilos flexibles y delgados con paredes muy finas; cuyo diámetro está alrededor de media micra.*

*Las bacterias correspondientes a los grupos 1, 2, 4 y 5 podrían pertenecer al género *Arthrobacter* e incluso alguno de los asignados a los grupos 3 y 6. Otras bacterias abundantes del suelo son los bacilos esporulados, que constituyen usualmente un 25 % del total. Los correspondientes al género *Bacillus* alcanzan valores medios en suelos del 15 %. También las *Mycobacteriaceas* ocupan un lugar destacado detrás de las ya citadas. Si tenemos en cuenta que las *Corynebacteriaceas* suponen un 65 % y que los bacilos esporulados ocupan otro 25 %, las restantes familias suponen solo el 10 % restante que han de repartirse entre *Pseudomonadáceas*, *Nitrobacteriáceas*, *Rhizobiáceas*, *Azotobacteriáceas*, *Achromobacteriáceas* y *Micrococcáceas*. Entre los géneros implicados en estas familias destacan *Agrobacterium*, *Azotobacter*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Achromobacter* y otros.*

*La distribución de los géneros citados no es fácil de realizar porque no hay gran número de contajes sobre ellos, si se exceptúa al género *Azotobacter* del que existen numerosos, variando los contenidos por gramo de suelo desde 0 a 100.000 aunque es muy poco frecuente que superen los 1000.*

*Las bacterias nitrificantes también son frecuentes en el suelo pero en valores que pueden contarse en miles o en decenas de miles por gramo, lo que indica que entre *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* solo suelen representar menos del 1 % de la población del mismo.*

*Las bacterias quimiolitotróficas o quimioautotróficas solo pertenecen a unas pocas especies pero su importancia agronómica y económica es enorme. Pertenecen a los géneros Nitrosomonas, Nitrobacter, Thiobacillus, Ferrobacillus, Hidrogenomonas, Methanobacillus y Carboxydomonas. La mayor parte son aerobios y los otros necesitan compuestos oxigenados como son los nitratos o el dióxido de carbono para el Methanobacillus.*³⁵

III.3 MICROBIOLOGÍA EDAFICA

Como ya hemos dicho e intentaremos aclarar en este capítulo, el suelo y los organismos (macro y micro) tienen una estrecha relación. Uno y otros interactúan dando las cualidades que caracterizan a cada suelo. Esta interdependencia queda de manifiesto en el proceso de formación de una comunidad clímax^{xv}

En el suelo se encuentran bacterias, hongos, protozoarios, ácaros, coleópteros, hormigas, nemátodos, miriápodos, colémbolos, rotíferos, larvas, lombrices y otros microorganismos que participan en fenómenos de increíble complejidad, dentro de sus redes tróficas, para la transformación de la materia orgánica e inorgánica. Los procesos que llevan a cabo estos organismos dentro de su medio forman la cadena más compleja de interrelaciones que el ser humano a la fecha ha estudiado y sus interrelaciones suelen ser tan complejas como abundantes.

Para entender cómo es que funciona esta cadena alimenticia debemos comprender que la mayor parte de los organismos del suelo utilizan compuestos orgánicos complejos (carbono) como fuente de energía, a estos se les clasifica como heterótrofos. Hay un pequeño grupo de microorganismos que usan al bióxido de carbono como única fuente de carbono y se les clasifica como autótrofos. Existen bacterias fotoautótrofas que aprovechan la energía del sol y las bacterias quimioautótrofas aprovechan la energía de la oxidación de materia orgánica y son de gran importancia para los suelos. Estas últimas resultan ser las que estudiaremos a fondo para entender cómo es que en sus procesos digestivos pueden generar reacciones endotérmicas.

La actividad de estos microorganismos quimioautótrofos es muy importante para la transformación y la vida de los suelos. Estos, funcionan como agentes biogeoquímicos para la conversión de compuestos orgánicos complejos en compuestos inorgánicos simples y elementos constitutivos, proceso conocido con el nombre de mineralización.

Las bacterias y los hongos en los suelos, cumplen tareas fundamentales en los ciclos de nitrógeno, carbono, azufre y fósforo. Y también participan en el procesamiento de hierro, manganeso, mercurio, selenio, zinc y potasio para su asimilación por los vegetales.

³⁵ ALEXANDER, M. Introducción a la microbiología del suelo. 1980 México.

Los procesos biológicos más importantes que se desarrollan en el suelo son: humificación (descomposición de la materia orgánica por hongos, bacterias, actinomicetos, lombrices y termitas), transformaciones del nitrógeno (amonificación, nitrificación, fijación) y mezcla-desplazamiento (lombrices y termitas principalmente).

Este segundo es tal vez el proceso fundamental dado que de él depende literalmente la vida del planeta, la fuente principal del nitrógeno utilizado por las plantas es el nitrógeno del aire (78 % de la atmósfera terrestre), sin embargo, en esa estructura no es utilizable por las plantas. Por lo que tiene que ser procesado previamente por bacterias especializadas para ser transformado a formas (estructuras) utilizables por las plantas superiores.

Existen diversos caminos para llevar a cabo este proceso, a continuación presentaremos los más importantes:

1. Fijación por *Rhizobia* y otros microorganismos que viven simbióticamente en las raíces de las leguminosas (alfalfa, trébol, guisantes, soya, cacahuates y habas) y otras determinadas plantas no leguminosas.
2. Fijación por microorganismos que viven libremente en el suelo (numerosas especies de algas azul-verdosas, estas soportan un amplio rango de condiciones ambientales, incluyendo superficies rocosas y extensos terrenos áridos. Son completamente autótrofas y requieren sólo luz, agua, nitrógeno libre (N_2), dióxido de carbono (CO_2) y sales que contengan los elementos minerales esenciales. Su importancia reside principalmente en que suministran nitrógeno asimilable a otros organismos durante los primeros estadios de la formación del suelo.

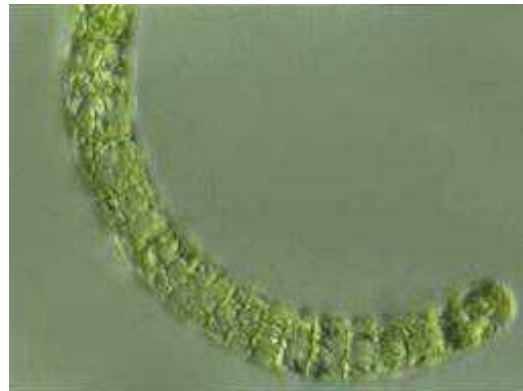


foto I: Algas verde-azules..
© Alexander, M. 1980 (Reproducción realizada con fines didácticos)

Sin embargo, la mayor parte del procesamiento del nitrógeno en un ecosistema es realizado por las bacterias, estas viven libremente en el suelo y requieren de residuos orgánicos como fuente de energía, parte de la energía de la oxidación de la materia orgánica la utilizan para fijar el nitrógeno elemental. La rizosfera de las raíces de las plantas (área del terreno adyacente a las raíces) es una zona de alto contenido en residuos orgánicos de la planta, donde tiene lugar la fijación del nitrógeno por las *Azotobacter*, y las *Clostridium*.

Las bacterias que utilizan a los compuestos nitrogenados como fuente de energía incluyen a las bacterias que oxidan el amonio y lo transforman en nitritos (*Nitrosomonas* y *Nitrosococcus*) y las bacterias que oxidan a los nitritos transformándolos en nitratos (*Nitrobacter*). Las reacciones químicas producidas por estos microorganismos se representan con las ecuaciones siguientes:

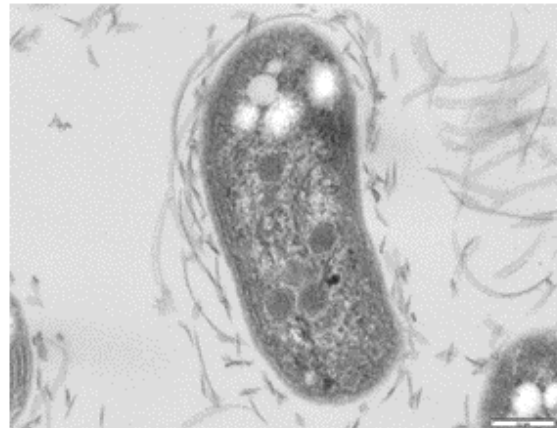
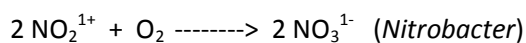
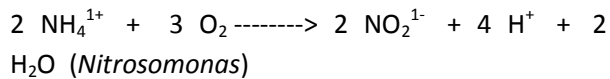


foto II: Bacterias nitrobacter
© W.J. Hickey, 2006. **(Reproducción realizada con fines didácticos)**

Estas bacterias habitan principalmente en los suelos bien aireados, pero la mayor parte de los cambios biológicos y químicos realizados por las bacterias se dan en los ambientes anaerobios. Estas bacterias son muy pequeñas, son raras las que llegan a medir varias micras de longitud. Se les clasifica en aerobias a las que viven sólo en presencia de oxígeno; anaerobias las que viven sólo en ausencia del oxígeno y anaerobias facultativas aquellas que pueden desarrollarse en presencia o en ausencia de oxígeno.

Sin embargo y aunque este es el proceso esencial de mineralización, no se puede entender al suelo sin otros procesos igualmente importantes como son la asimilación de:

El azufre. Este existe en forma de sulfuro en varios minerales primarios y se agrega a los suelos forestales en forma de residuos vegetales, animales o como lluvia ácida. La mayor parte del azufre del suelo forma compuestos orgánicos y sólo es absorbido por las raíces de las plantas en forma de sulfato por lo que es necesario el proceso de mineralización. La descomposición de la materia orgánica y su transformación a compuestos inorgánicos de azufre la realizan microorganismos heterótrofos y la oxidación de los sulfuros y del azufre elemental para transformarse en sulfatos la pueden realizar tanto las bacterias heterótrofas como las quimioautótrofas. Las bacterias del género *Thiobacillus* son las

principales habitantes de los suelos bien aireados. El género aerobio acidófilo *T. thiooxidans* es el que predomina en los suelos forestales y realiza la reacción de oxidación del azufre según la ecuación:

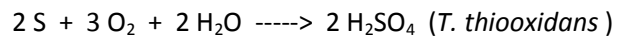
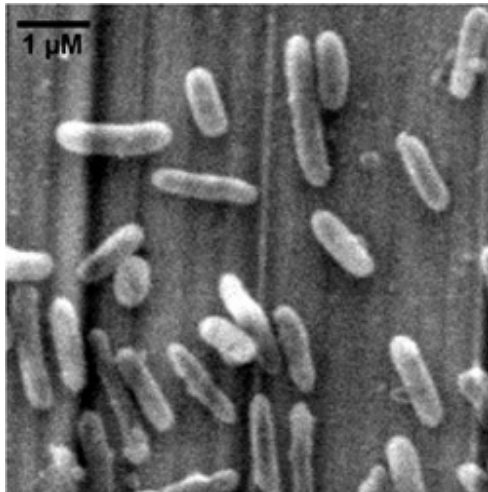


foto III: *Thiobacillus nitrificans*
© W.J. Hickey, 2006. **(Reproducción realizada con fines didácticos)**

La acidificación del suelo producida por el ácido sulfúrico resultante de la oxidación del azufre elemental produce un aumento de la solubilidad del fósforo, del potasio, del calcio y de varios micronutrientes, así como, la movilización de algunos minerales del suelo que son disueltos por el ácido sulfúrico.

La oxidación de compuestos inorgánicos de azufre pueden realizarla bacterias en ciertas condiciones Este proceso resulta muy interesante dado que en algunos casos también es endotérmica bacteria encargada de este es la *Thiobacillus nitrificans* la cual realiza este proceso de forma anaerobia y transformar los nitratos en nitrógeno gaseoso al mismo tiempo que oxida los compuestos de azufre (proceso endotérmico). Sin embargo, estos procesos se dan en condiciones particulares.

El proceso de mineralización de hierro: La reducción del hierro (*reacción exotérmica*) es realizada por las bacterias aerobias y anaerobias del tipo *Bacillus*, *Clostridium* y *Pseudomonas*.

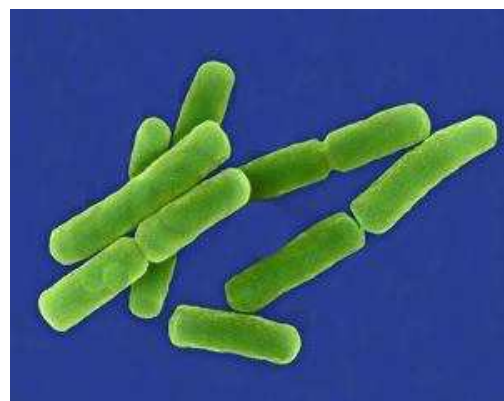


foto IV: *Bacillus*
© W.J. Hickey, 2006. **(Reproducción realizada con fines didácticos)**

Estos son los tres procesos bioquímicos más importantes que ocurren en los suelos, sin embargo no son los únicos y a su vez todo proceso biogeoquímico que existe en el suelo tiene una gran afectación sobre el medio bacteriano, es decir, estos procesos esenciales están ligados íntimamente con aquellos menos fundamentales. Por lo que entender sus interrelaciones resulta fundamental para mantener los procesos (particularmente de nitrificación) en un estado saludable. Esto se describe claramente en una de las reglas de autorregulación de los ecosistemas.

“Sistemas con pocas especies son más estables si hay fuertes interacciones entre algunas especies, pero sólo interacciones débiles entre otras. Para redes alimenticias con muchas especies, es cierto exactamente lo opuesto. Extremadamente fuertes o débiles vínculos depredador-presa en la naturaleza deben, por ende, ser para especies raras contenidas en una red alimenticia”³⁶

Por esta circunstancia y para que las bacterias cuenten con ambientes adecuados es necesario entender al menos la participación de dos clases de microorganismos esenciales en los suelos ya que de ellos depende estrechamente la vida de las colonias bacteriales en los suelos:

Los hongos son los principales agentes de descomposición de la materia orgánica en todos los ambientes. Una de las principales actividades de los hongos es la descomposición de la celulosa, hemicelulosa, pectinas, almidón, grasas y compuestos de lignina. Los hongos participan en la formación del humus y contribuyen al reciclaje de nutrientes y a la estabilidad de agregados mediante la degradación de residuos vegetales y animales.

Las algas, generalmente, tienen clorofila que les permite utilizar la luz solar como fuente de energía para fijar el bióxido de carbono (fotosíntesis), se encuentran en los suelos fértiles, ricos en bases con nitrógeno y fósforo disponibles, y tienden a ser escasas en suelos arenosos estériles y ácidos. Contribuyen a solubilizar a los minerales del suelo, acelerando así el proceso de intemperización del suelo. Generan materia orgánica a partir de compuestos inorgánicos y aumentan el contenido de humus en el suelo. Las variedades de algas azulverde pueden asimilar el nitrógeno atmosférico, aumentando así la cantidad de nitrógeno en los suelos. Son principalmente activas en suelos húmedos o inundados y en suelos superficiales cuya alcalinidad ha aumentado como consecuencia de la quema de bosques. Como no dependen de la materia orgánica como fuente de energía, son los primeros colonizadores de las regiones áridas o arenosas y facilitan la invasión posterior de bacterias y microorganismos al facilitar la base de la cadena alimenticia de estas.

³⁶ Thilo Gross, Lars Rudolf, Simon A. Levin, Ulf Dieckmann, Generalized Models Reveal Stabilizing Factors in Food Webs Science, August 6, 2009

CAPITULO IV. CASOS DE ESTUDIO.

IV.1 MICROORGANISMOS HOMEOTERMICOS.

El campo de las bacterias ha sido muy poco estudiado con la profundidad que lo requiere. Los comentarios del investigador Pablo Visnuesa del centro de ciencias genómicas de la UNAM así lo demuestran. Sin embargo existe un campo de la ciencia que las ha estudiado a profundidad, este, la medicina, tiene casi un siglo estudiando los efectos de muchos de estos organismos en la salud humana, por ello, esta es la ciencia a la que me he dirigido en busca de respuestas a las preguntas: ¿existen bacterias homeotermicas? ¿Existen procesos bioquímicos que enfríen y que a su vez las bacterias generen en su ciclo de vida?

La respuesta que encontré fue positiva, si existen bacterias con reacciones de entalpías tanto positivas como negativas. Sin embargo las bacterias estudiadas específicamente en uno de estos casos de estudio tienen un impacto negativo en la salud humana, pero demuestran la existencia de organismos bacterianos que cuentan con la capacidad de regular su temperatura la meta de esta investigación será encontrar organismos que cumplan las funciones de regulación termina y que no tengan impactos negativos en la salud.

Existen entonces dos clases de estos organismos por su capacidad de cambio térmico; los organismos que retiran calor de su ambiente, (endotérmicos) y los que ceden calor a su ambiente (exotérmicos) En teoría, cualquier organismo que por su proceso digestivo, o en su ciclo de vida realice reacciones de entalpia o negativa sería útil sin embargo, los casos encontrados son pocos pero no dejan lugar a dudas de la capacidad que tienen las bacterias para enfriar o calentar.

Me limitare a enumerar 4 casos de estudio donde los efectos térmicos son específicamente el tema de la investigación y donde estos fueron medidos con una metodología adecuada y por ende sus datos son de gran validez, Además de poder cuantificar la cantidad de calor cedida o retirada del ambiente en estos experimentos.

Los casos de organismos que poseen entalpías negativas (es decir que absorben calor de su ambiente, en otras palabras, enfrían su ambiente) son los más interesantes en este estudio dado que a través de una reacción química (que requiere de energía para realizarse) enfrían el ambiente donde se encuentran estos organismos. Sin embargo la cantidad de calor retirado ronda las cantidades de 1×10^{-3} en cepas de 1,000 elementos.

IV.2 Enfriamiento Bacterial.

Este es el caso de los investigadores Sven E. Hoffner, Stefan B. Svenson y Anthony E. Beezer³⁴ los cuales descubrieron este fenómeno en las bacterias *Mycobacterium avium*, Esta investigación se desarrolló para comprender los mecanismos por los que el etambutol (una diamina) potencia los efectos de fármacos antimicobacterianos en micobacterias de tipo avium gram-positivo, y descubrieron que las bacterias de la cepa *Mycobacterium avium* reaccionaban al etambutol y generando una reacción de enfriamiento que los investigadores median con microcalorimetría de reacción.

“When strains of *M. avium* were exposed to ethambutol an immediate endothermic reaction was recorded. When the *M. avium* cells were pre-treated with ethambutol this strongly affected the initial interaction between streptomycin and the bacterial cell surface.”³⁷

“Cuando las cepas de *M. avium* fueron expuestas a etambutol una reacción endotérmica inmediata fue registrada”³⁴

Esto indica que existen bacterias que tienen la posibilidad de sufrir reacciones endotérmicas (de enfriamiento) evidentemente y como indica el estudio estas mediciones son a través de dispositivos, pero el estudio demuestra la existencia de procesos de enfriamiento en esta clase de bacterias.

Otros estudios de este tipo como el realizado por Miles, Mackey y Parsons sostienen esta misma hipótesis: las bacterias tienen la capacidad de regular en cierto rango su temperatura. Su experimento se basó en exponer a cepas de *Bacillus stearothermophilus* a calor y frío y observaron a través de un dispositivo de microcalorimetría que los organismos podían estabilizar su temperatura hasta en un 12% al elevar la temperatura de proyecto y hasta un 18% al descender la temperatura del experimento. Con esto demostraron que las bacterias tenían capacidad de termorregulación.³⁸

³⁷ Sven E. Hoffner, Stefan B. Svenson and Anthony E. Beeze “Microcalorimetric studies of the initial interaction between antimycobacterial drugs and *Mycobacterium avium*” Revista, “Oxford Journals, Vol 25 Num. 3 Octubre 1989 pag. 353-359

³⁸ Thermal inactivation of *Listeria monocytogenes* studied by differential scanning calorimetry Unilever Research, Colworth Laboratory Miles, Mackey y Parsons 1989

Differential scanning calorimetry of bacteria

941

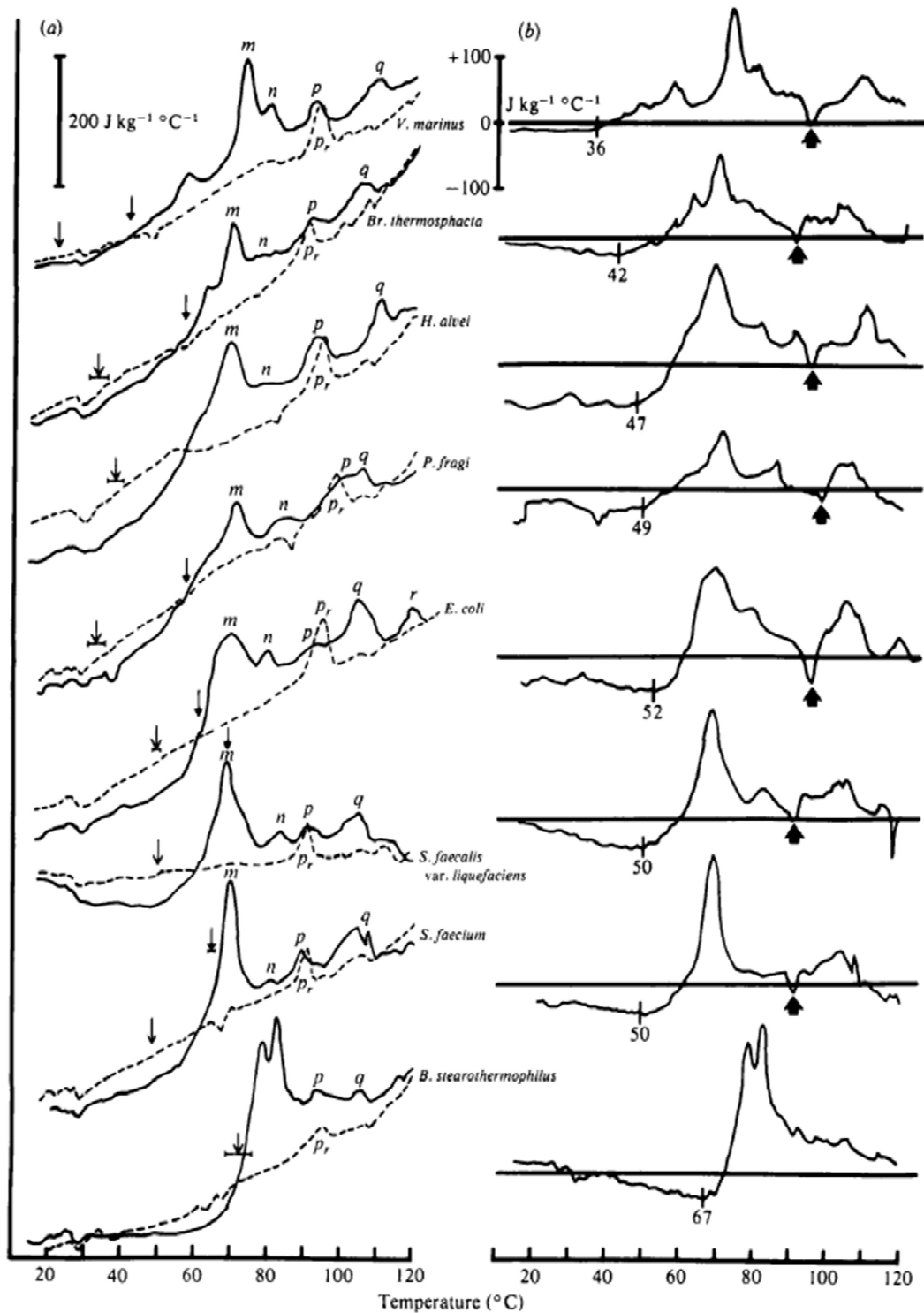


foto 1: Datos de investigación de miicrocalorimetría . (Ver descenso de temperatura en cada caso marcado con flecha)

© Miles, Mackey y Parsons 1989 (Reproducción realizada con fines didácticos)

Con estos dos casos creo haber demostrado la capacidad que tienen algunas clases de bacterias para descender la temperatura de su ambiente, ahora analizare dos casos donde ocurre el efecto contrario; estas bacterias calientan su ambiente por sus procesos digestivos.

IV.3 Calentamiento Bacterial.

J B Russell en su artículo “Heat production by ruminal bacteria in continuous culture and its relationship to maintenance energy” nos demuestra cómo es que la producción de calor por parte de bacterias es posible. Él estudia dos clases de bacterias que producen calor, ambas en condiciones controladas de laboratorio demuestran por medio de microcalorímetros un aumento de temperatura.

“Selenomonas ruminantium HD4 and Bacteroides ruminicola B(1)4 were grown in continuous culture with glucose as the energy source, and heat production was measured continuously with a microcalorimeter. Because the bacteria were grown under steady-state conditions, it was possible to calculate complete energy balances for substrate utilization and product formation (cells, fermentation acids, and heat). As the dilution rate increased from 0.04 to 0.60 per h, the heat of fermentation declined from 19 to 2% and from 34 to 8% for S. ruminantium and B. ruminicola, respectively. At slow dilution rates the specific rate of heat production remained relatively constant (135 mW/g [dry weight] or 190 mW/g of protein for S. ruminantium and 247 mW/g [dry weight] or 467 mW/g of protein for B. ruminicola). Since the heat due to growth-related functions was small compared to maintenance expenditures, total heat production provided a reasonable estimate of maintenance under glucose-limiting conditions. As the dilution rate was increased, glucose eventually accumulated in the chemostat vessel and the specific rates of heat production increased more than twofold. Pulses of glucose added to glucose-limited cultures (0.167 per h) caused an immediate doubling of heat production and little increase in cell protein. These experiments indicate that bacterial maintenance energy is not necessarily a constant and that energy source accumulation was associated with an increase in heat production.”³⁹

El experimento antes mencionado demuestra que existe una relación directa entre la fuente de energía de la bacteria y el aumento en la producción de calor bacteriana, la cantidad de calor desprendida en esta bioreacción demuestra la capacidad que tienen estas bacterias de generar reacción de entalpia positiva.

³⁹ Heat Production by Ruminal Bacteria in Continuous Culture and Its Relationship to Maintenance Energy JAMES B. RUSSELL Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, and Department of Animal Science, Cornell University, Ithaca, New York

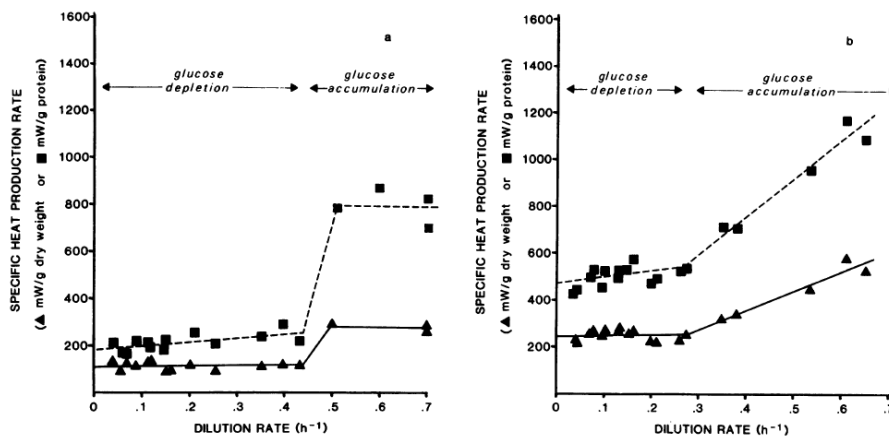


FIG. 5. Specific heat production rate of *S. ruminantium* (a) and *B. ruminicola* (b) in continuous culture. During glucose depletion, the *S. ruminantium* plots had an intercept of 135 and 190, slopes of 119 and -72 , and correlation coefficients of 0.47 and 0.13 for protein and dry weight, respectively. The *B. ruminicola* plots had intercepts of 467 and 247, slopes of 262 and -11 , and correlation coefficients of 0.45 and 0.04, respectively.

foto II: Datos de investigación exotérmica . (Ver aumentos de temperatura en cada caso marcado con flecha)

© J B Russell 1993 (Reproducción realizada con fines didácticos)

Esta energía térmica puede ser ocupada para calentamiento de espacios sin generar a su vez altas producciones de CO₂ y pudiendo introducir los desechos de estos organismos en una cadena trófica obteniendo así una cadena tecnofrónica.

Sin embargo ninguno de estos experimentos tienen la misma connotación que esta investigación, uno de ellos está realizado para la industria de la leche y sus derivados, y los otros dos son claramente médicos, donde se demuestra la forma de eliminar una clase de bacterias, y en el otro se busca un método más eficiente para esterilizar los objetos médico quirúrgicos, sin embargo en estos casos lo que importan son los resultados y la lectura que podamos tener de ellos

La lectura que se da de estos resultados nos demuestra que las bacterias tienen capacidad de termogénesis^{xvi} Lo cual resulta no solo relevante, sino fundamental para el marco teórico dentro de este proyecto dando un sustento muy firme a la creencia que las bacterias en los suelos tienen también la capacidad de termogénesis

Quedado demostrado que tanto bacterias (y microorganismos) poseen en potencia no solo la capacidad (biológica) sino también el potencial másico para hacer un cambio real en la temperatura de un objeto, no queda más que realizar el análisis específico de los casos en que esto puede suceder en los suelos. Que aun la posibilidad de que estos organismos no vivan en ambientes como el de los suelos, sin embargo para afirmar o negar esto, es necesaria la investigación aquí se encuentra realizada dado que el estado del arte no ha abordado este tema.

CAPITULO V.

V.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

Dado que esta Tesis analiza el comportamiento térmico de los suelos derivado de los microorganismos existentes en ellos, resulta fundamental el desarrollo de una parte experimental que corrobore esta hipótesis, ella tiene por fin el comprender el cómo y en qué cantidad las bacterias generan un acondicionamiento térmico en los suelos, para ello ha sido desarrollado un prototipo de experimentación y monitorización para evaluar basándose en tres elementos comparativos: un prototipo de Células de enfriamiento Bacterial, suelo Andisolhumico natural, y suelo andisol húmico estéril.

El presente capítulo tiene por objetivo describir las localizaciones, la implantación y los materiales utilizados de los dispositivos experimentales, así como la instrumentación utilizada y los métodos empleados en la evaluación de las medidas obtenidas.

El desarrollo del prototipo y sus elementos comparativos componen un experimento completo en el cual se particularizará la información de los materiales utilizados en su composición.

V.2 DISEÑO DE PROTOTIPO.

El prototipo generado ha sido resultado de la investigación previa y el análisis objetivo de los factores bióticos del suelo, por tanto el resultado ha sido un diseño original el cual sirve como base para la medición, análisis y estudio de las capacidades homeotermicas de los organismos antes mencionados.

Descripción del proyecto.

Células de enfriamiento Bacterial

El sistema se basa en la capacidad que tienen los microorganismos (bacterias) para la generación de enfriamiento o calentamiento en sus ecosistemas naturales.

El planteamiento de la célula de enfriamiento bacterial (ver esquema A pag 49) hace uso de la capacidad natural promoviendo el crecimiento de estos organismos en membranas tridimensionales de ENKAMAT (ver esquema B pag. 50) y generando un intercambiador térmico entre ellas y el medio (ver esquema A pag. 49) que junto con un sistema de control técnico genera un acondicionamiento biotécnico de los espacios arquitectónicos a partir de biosistemas integrados por poblaciones de bacterias y microorganismos debido al proceso bioquímico (exotérmico o endotérmico) que estos organismos desarrollan en su medio natural.

Las bacterias en estas celdas corresponden principalmente a las de las familias de Azotobacter, Clostridium, nitrobacter y T. thiooxidans)

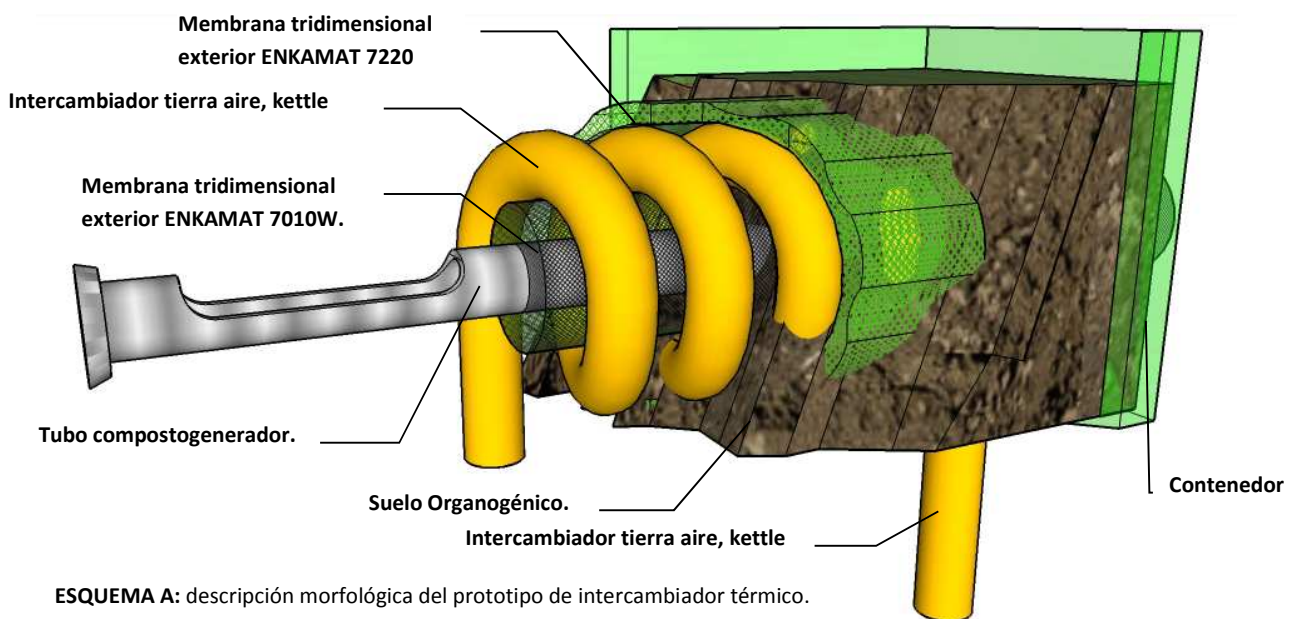
Descripción Técnica del prototipo.

El proyecto planteado genera híbridos técnico-biológicos, donde se ocupan las propiedades termorreguladoras de los microorganismos, (particularmente bacterias) para sustituir el uso de sistemas de aire acondicionado en inmuebles. Con el fin de, no solo limitar el consumo energético sino que dadas las propiedades biológicas del sistema este se pueda introducir dentro de un nivel tecnocrático en su ecosistema, brindando dentro de este un trabajo (obteniendo la estabilización térmica dentro de un espacio) y que genere como subproductos elementos (entre ellos: nitrógeno, carbono, azufre, fósforo) que pueda ser reincorporados a la biosfera (como lo hacen estas bacterias naturalmente en su medio) al interconectarse a través de otro subsistema natural sin generar ningún impacto dañino ni al medio ni al medio ambiente.

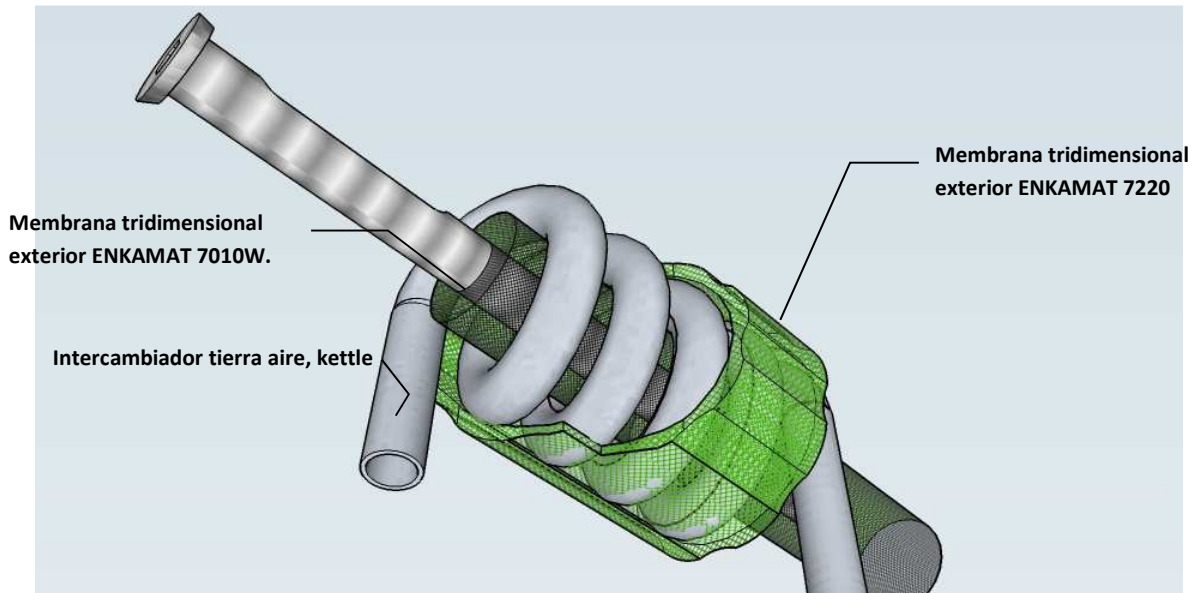
Se trata de reactores de bacterias fabricados a partir de membranas tridimensionales de tipo “ENKAMAT” y sustrato con conformación de 50% arenas y gravas y el restante con:

| Formador | % max | % min |
|----------|-------|-------|
| Turba | 60 | 20 |
| Humus | 40 | 15 |
| Composta | 20 | 15 |

Que rodean a intercambiadores térmicos de tipo tierra-aire “kettle” de serpentín. Todo este sistema es un elemento aislado

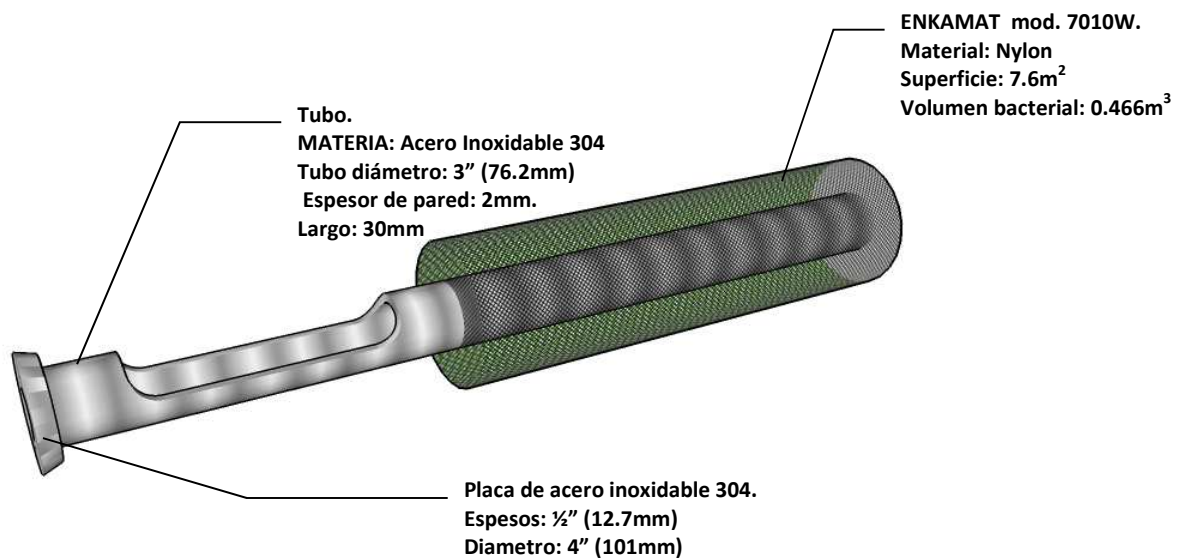


ESQUEMA A: descripción morfológica del prototipo de intercambiador térmico.
 © Juan Carlos Cerecero Olivera 2011 (Reproducción realizada con fines didácticos)



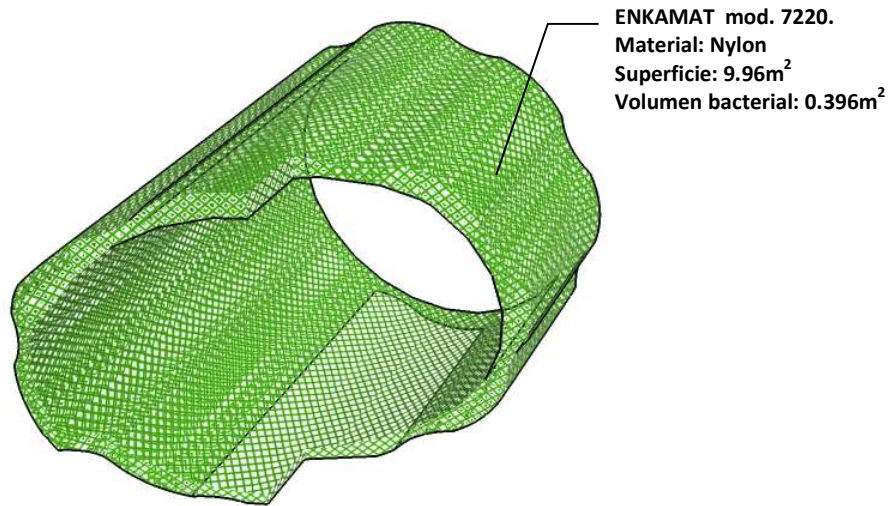
ESQUEMA B: Descripción morfológica del prototipo de intercambiador térmico.
© Juan Carlos Cerecero Olivera 2011 (Reproducción realizada con fines didácticos)

TUBO COMPOSTOGENERADOR



ESQUEMA C: Descripción morfológica del prototipo de compostogeneración.
© Juan Carlos Cerecero Olivera 2011 (Reproducción realizada con fines didácticos)

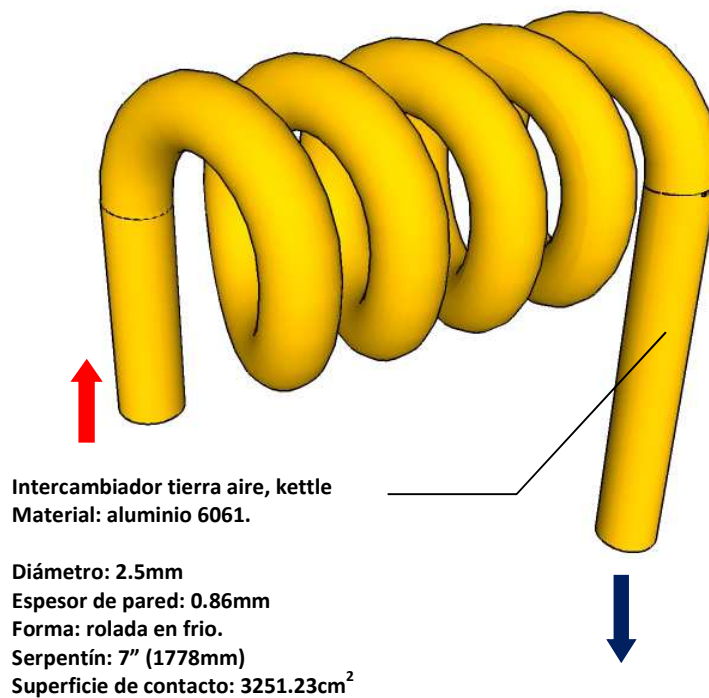
SUPERFICIE BACTERIAL EXTERIOR.



ESQUEMA D: Descripción morfológica del prototipo membrana bacterial.

© Juan Carlos Cerecero Olivera 2011 (Reproducción realizada con fines didácticos)

SUPERFICIE BACTERIAL EXTERIOR.



ESQUEMA E: Descripción morfológica del prototipo intercambiador termico.

© Juan Carlos Cerecero Olivera 2011 (Reproducción realizada con fines didácticos)

V.3 Diseño del experimento.

El presente experimento se ha diseñado como un experimento puro, es así ya que ha sido pensado únicamente para contar con una variable dependiente (medible) y una independiente de carácter variable, lo que permitirá la medición escalar de la variable dependiente y la magnitud vectorial del experimento esto con el fin de poder cuantificar de forma adecuada la cantidad de trabajo que podemos producir con nuestro prototipo.

Motivo experimenta: Se trata de demostrar que la presencia de poblaciones bacteriales (de Azotobacter, Nitrosomonas, Nitrosococcus y nitrobacter) en suelos están ligadas íntimamente con el comportamiento térmico de estos.

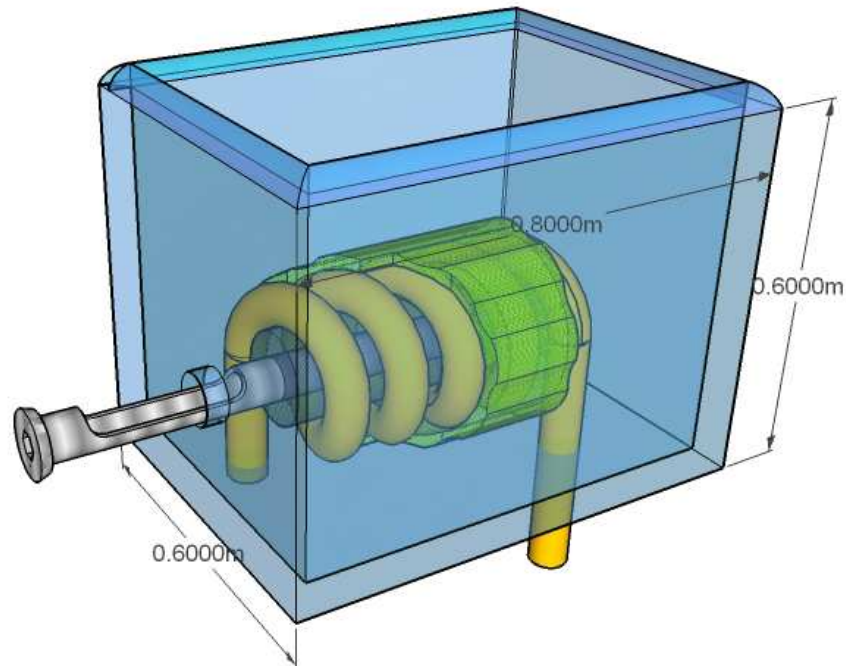
El experimento consiste en generar 9 contenedores de iguales dimensiones (80x80x80cm) para su posterior llenado.

Todos ellos serán llenados con un suelo de iguales características químicas y físicas que será extraído de un medio natural. La clase de suelo será Andisol Húmico.

Grupo A. 3 Serán llenados con suelo que ha sido tratado para eliminar su conformación edáfica así como su contenido biológico a partir de una Esterilización en autoclave.

Grupo B: 3 serán llenados con el suelo e inoculados con cepas bacteriales de Azotobacter, Nitrosomonas, Nitrosococcus, y nitrobacter en su horizonte edáfico A2, para garantizar la presencia de estos organismos en estos espacios.

Grupo G. 3 de ellos (grupo control) serán llenados con este terreno sin modificación. Manteniendo sus horizontes edáficos intactos.



Con el grupo G y grupo A garantizaremos la premisa de presencia-ausencia mientras que el grupo B nos ofrecerá el estímulo experimental necesario para comprobar la intensidad de cambio en la variable dependiente.

Variable independiente: poblaciones bacteriales.

Variable Dependiente: Temperatura del suelo.

VALIDEZ INTERNA DEL EXPERIMENTO PARA VALIDACIÓN DE DATO.

Hemos determinado la aparición de tres grupos de comparación independientes que nos ofrecerán la validez interna experimental y con la cual garantizamos que los resultados serán válidos.

Equivalencia de los grupos

Sin embargo para garantizar el control de datos y por ende la validez interna no basta tener dos o más grupos, sino que deben ser similares en todo, menos la manipulación de la variable independiente. El control implica que todo permanece constante menos la manipulación. Así que entre los grupos que conforman este experimento todo será similar o equivalente, excepto la manipulación de la variable independiente, de esta forma garantizamos que las diferencias entre los grupos pueden atribuirse a ella y no a otros factores.

Equivalencia inicial.

Esta a su vez garantizada esta ya que los grupos generados son similares, y esta clase de equivalencia implica que:

Los grupos son similares entre sí al momento de iniciarse el experimento. Si inicialmente no son equiparables, las diferencias entre los grupos no podrán ser atribuidas con certeza a la manipulación de la variable independiente. Queda la duda de si se debe a dicha manipulación o a que los grupos no eran inicialmente equivalentes.

Dado que ha quedado demostrado que el experimento esta realizado como un experimento puro y que cuenta con validez interna, podemos determinar que los datos ofrecidos por este serán válidos, sin embargo falta determinar cómo serán tomados

V.4 Validación Instrumental.

Esta fuente hace referencia a cambios en los instrumentos de medición o en los observadores participantes que pueden producir variaciones en los resultados que se obtengan. Por tanto es importante determinar de antemano que instrumentación se utilizara para cada experimento así como su proceso de calibración metronómica.

A continuación se especifican la instrumentación usada en cada uno de los experimentos, esta será Calibrada antes de su instalación para dar validación instrumental al experimento y posteriormente será recalibrada (al término del experimento) para evaluar la desviación de datos:

En este caso tendremos dos bancos de medidas las internas (temperatura, humedad, PH, amoniaco, nitritos, nitratos, y flujo térmico para el experimento) y las de cuerpo exterior, que medirán el medio ambiente donde se ha introducido el experimento (humedad relativa, temperatura, radiación solar).

MEDICIÓN INTERNA.

Temperatura en las capas

Sensor de flujo térmico: El sensor produce una tensión positiva o negativa dependiendo de la orientación del flujo térmico. Y sirve para determinar el sentido en que encontramos el flujo de calor en el experimento.

Se utilizara un sensor Modelo HFP-01SC para la determinación del balance energético en el subsuelo.

Características:

Salida: 4-20 mA correspondiente a 0-1000W/m².

Montaje en caja estanca para intemperie.

Temperatura de operación: -30 a +70 °C

Alimentación: 8-30Vcc



Temperatura de sustrato.

Sirve para medir la temperatura real objetiva en los diversos horizontes edáficos, se colocaran 6 sensores a cada 10cm de profundidad. El sensor a utilizar será el ICL7107

Características:

Elemento sensor: sensor de platino tipo Pt-100

Rango de medida: -40 ... 60 °C

Exactitud: < ± 0,2% desde -30 a 150 °C

Precisión: 0,1 °C

Constante de tiempo: 10 segundos {en aire}

Deriva por temperatura: 10,35 °C / 70 °C

Salida: de 0 a 1 V para el rango de -30 a 70 °C

Puntos de calibración: 0 y 100 °C



Humedad:

Humedad de sustrato. Sirve para medir la humedad real objetiva en los diversos horizontes edáficos, se colocaran 2 sensores a 20 y 50cm de profundidad.

Modelo MP-100 Geomex

Elemento sensor: tipo capacitivo

Rango de medida: 0 ... 100%

Exactitud a 25 °C: ±1%

Precisión: < 0,5%

Histéresis para un ciclo de 4 horas 10 - 95 - 10%: < 1%

Constante de tiempo a 25 °C: < 10 segundos

Deriva por temperatura en la humedad: + 0,5% HR / 70 °C

Salida: de 0 a 1 V para 0 ... 100% HR



Potencial de hidrogeno (pH)

Banco de pruebas por colorimetría y contraste, Marca Hanna modelo HI 3881/0

Características:
Rango: pH6.0-8.5
Incrementos: 0.1 pH
Método químico pH



Amoniaco, nitritos nitratos

Banco de pruebas por colorimetría y contraste, Marca Hanna modelo HI 3896

Características:
Rango: 200-1000ppm
Incrementos: 30ppm
Método químico: de sales disueltas.



MEDICIÓN DE CUERPO EXTERIOR.

Temperatura:

Elemento sensor: sensor de platino tipo TE-1001 Santrex
Rango de medida: -30 - 50 °C
Exactitud: $< \pm 0,1\%$ desde -20 a 40 °C
Precisión: 0.2 °C
Constante de tiempo: 3 segundos (en aire)
Deriva por temperatura: 5.35 °C / 35 °C
Salida: de 0 a 1V para el rango de -30 a 50 °C
Puntos de calibración: 0 y 100 °C



Humedad relativa

Humedad: Sensor RA-120 geomex.

Elemento sensor: tipo capacitivo

Rango de medida: 0 -100%

Exactitud a 22 °C:±1%

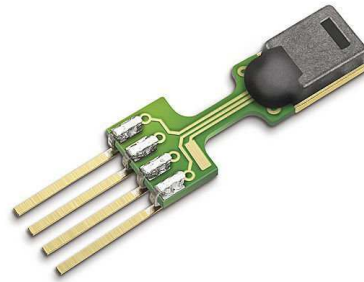
Precisión: < 0,5%

Histéresis para un ciclo de 4 horas 10 - 95 - 10%: < 1%

Constante de tiempo a 25 °C: < 10 segundos

Deriva por temperatura en la humedad: + 0,5% HR / 70 °C

Salida: de 0 a 1 V para 0- 100% H



Radiación solar

Piranómetro CM 6B geomex.

Características técnicas:

Tiempo de respuesta: < 30 s

No estabilidad: ± 1%

No linealidad:± 1,2%

Respuesta direccional: ± 20 W/m²

Selectividad espectral: ± 2%

Desviación por temperatura: - 2%

Rango: 0-1313 W/m²

Rango espectral: 305- 2800 nm (50% de los puntos)

335-2200 nm (95% de los puntos)

Sensibilidad: entre 9 y 15 micro V/Wm²

Impedancia: 700 - 100 ohmios



V.5. LOCALIZACIÓN DE LOS PROTOTIPOS EXPERIMENTALES

Los prototipos experimentales y sus elementos comparativos son los factores básicos de análisis en esta tesis

Para efectos del experimento y para posteriores comprobaciones de los datos aquí presentados así como para generar una comparativa de tipo geográfica en el experimento a continuación se indica la localización geográfica y la altura en la cual han sido localizados los prototipos.

Prototipos:

Coordenadas:

19°22' 57.07N

99°00' 23.33O

Altura: 2235m

CAPITULO VI.

ANALISIS DE RESULTADOS.

VI.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS.

Después de la creación de los 9 prototipos para el experimento, se comenzó a realizar la medición de todos ellos evaluando:

PH.
Amoniaco
Nitritos
Nitratos.
Temperatura interior.
Flujo térmico
Humedad.

Y comparándolos con:

Temperatura ambiente.
Humedad relativa.
Radiación solar.

Después de un semana de estabilización del prototipo se comenzó la toma de medidas de contaminantes (nitritos nitratos amoniaco) así como el PH del suelo, cada 3 horas con el fin de generar una grafica de desarrollo bacterial y determinar el aporte calorico Vs la evolución de las sepas bacteriales, con el fin de demostrar la hipotesis de la investigación.

Las puebas realizadas a lo largo de este periodo dieron los siguientes valores en los grupos experimentales B y A.

PH: promedio: 7.2 con variaciones de +/- 0.3
Amoniaco promedio: 0.05mg/l variaciones de +- 0.01
Nitritos promedio: 20mg/l variaciones de +- 0.5mg/l
Nitratos promedio: 30mg/l variaciones de +- 10mg/l

Los valores antes mencionados indican (según la literatura existente⁴⁰) la variación normal de estos valores en un suelo sano.

⁴⁰ Jorge D. Etchevers Barra, Los análisis físicos y químicos: su aplicación en agronomía. 1992

El grupo G presentó una ralentización en el proceso, sin embargo a partir de la semana 4 del experimento, presentó iguales concentraciones de amoníaco, nitritos y nitratos que el suelo de los grupos A y B, demostrando así la presencia de materia orgánica y su proceso natural de edafización. Para la semana quinta del experimento, todos los prototipos tenían un comportamiento térmico similar entre ellos. Se pudo observar en todos ellos la evolución de la temperatura de los núcleos del suelo (a 30cm de profundidad) que han pasado de 25° en promedio (temperatura ambiente) a 17° promedio constantes a lo largo de este periodo.

VI.2 GRÁFICAS COMPARATIVAS.

El proceso de evolución del prototipo (seguido a partir de los productos químicos nitritos, nitratos y amoníaco) abarcó las primeras 6 semanas del experimento donde se observó claramente que la evolución del suelo tiene un efecto directo en relación a su temperatura. Con lo cual demostramos que los organismos edáficos tienen potencial homeotérmico. lo cual corrobora la hipótesis de la estabilización térmica del suelo.

VI.3 COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL PROTOTIPO.

Después de 8 semanas se observó una clara estabilización en los niveles que comprenden el ciclo del nitrógeno presentando pocas variaciones y manteniéndose en los valores:

Amoníaco: 0.1mg/l

Nitritos: 0.3mg/l

Nitratos: 10mg/l

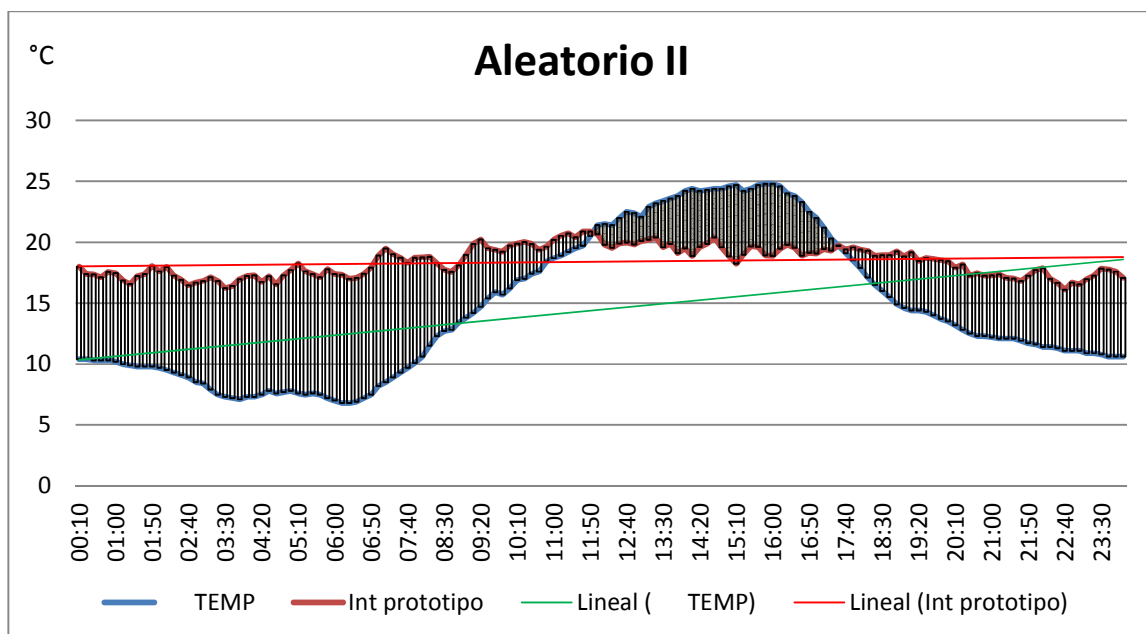
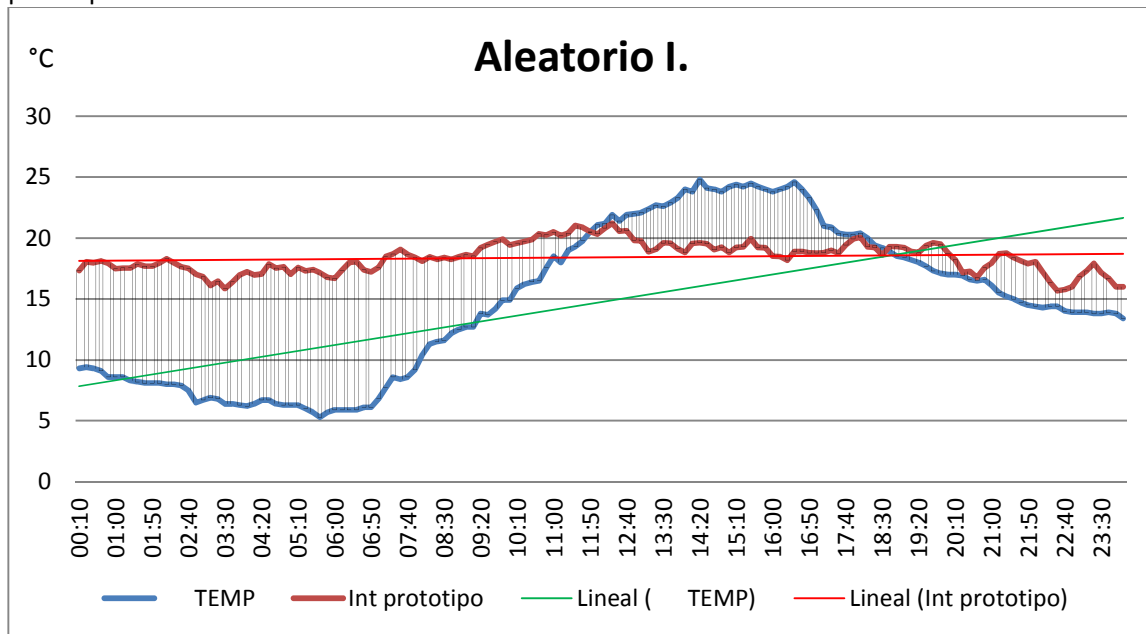
El Ph en los prototipos presenta un comportamiento variante previsible, descendiendo en la noche (6.8) y aumentando en el día (7.3)

Con estos valores podemos demostrar que el suelo se encuentra maduro y que el comportamiento térmico de este será periódico.

A continuación presentaremos tres casos de análisis donde podremos observar el desempeño térmico del prototipo.

VI.3.1 Día promedio.

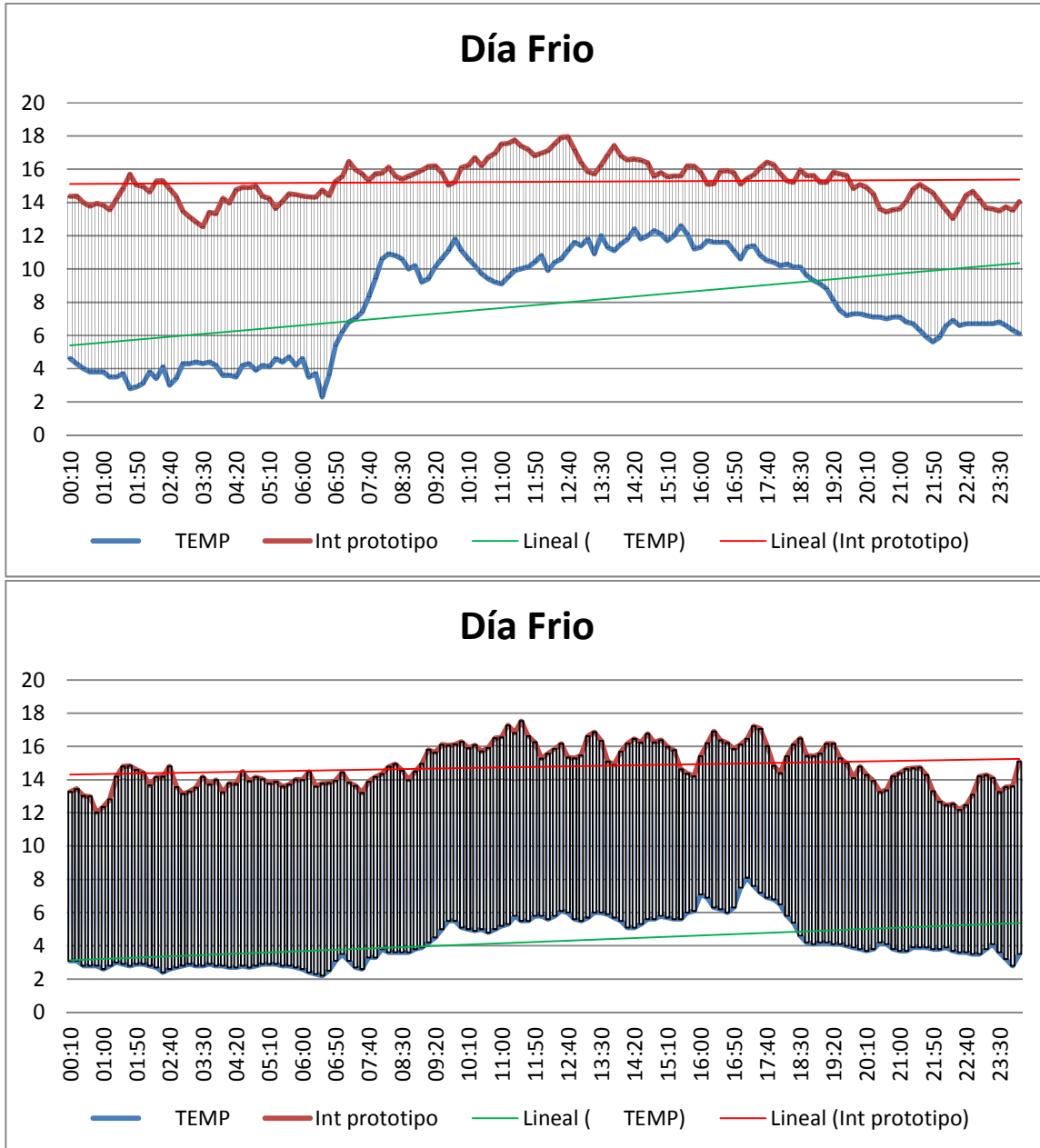
Se han tomado dos días aleatorios en el mes de Abril de 2011, para ejemplificar el comportamiento del prototipo.



Las líneas azules representan la temperatura ambiente, mientras que las líneas rojas representan la temperatura del prototipo, el espacio entre ambas refiere la diferencia de temperatura entre el comportamiento de estos dos cuerpos. Se observa en estas dos graficas como es que existe un comportamiento termico diferencial e independiente entre los dos fenomenos graficados.

VI.3.2 Día Frio.

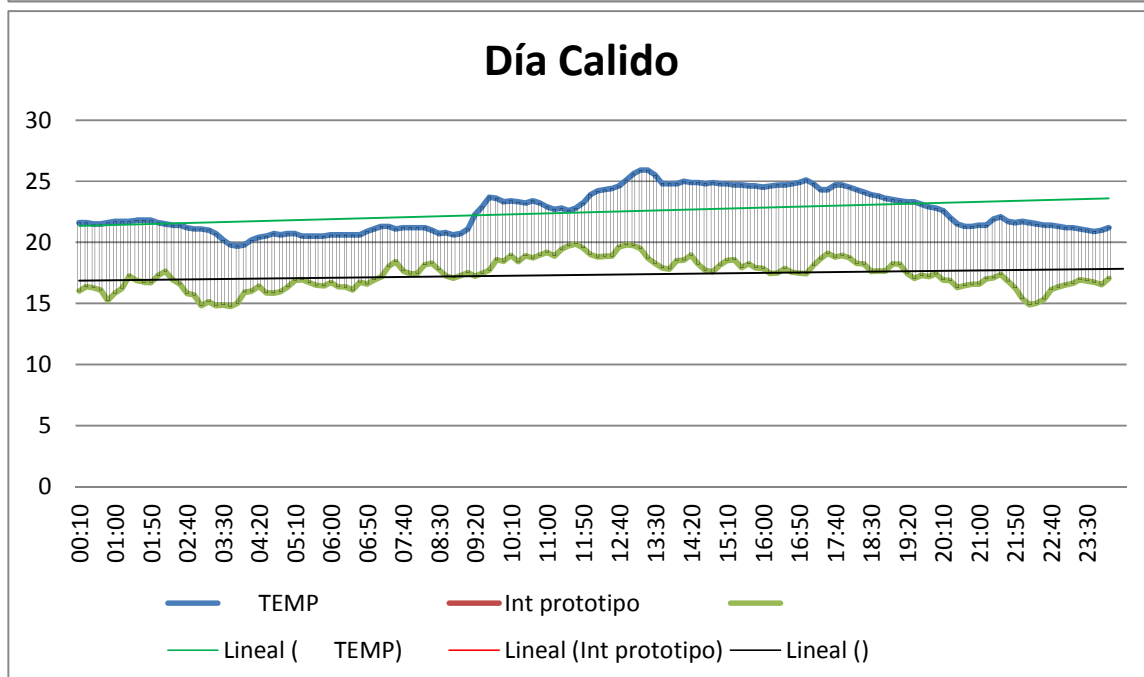
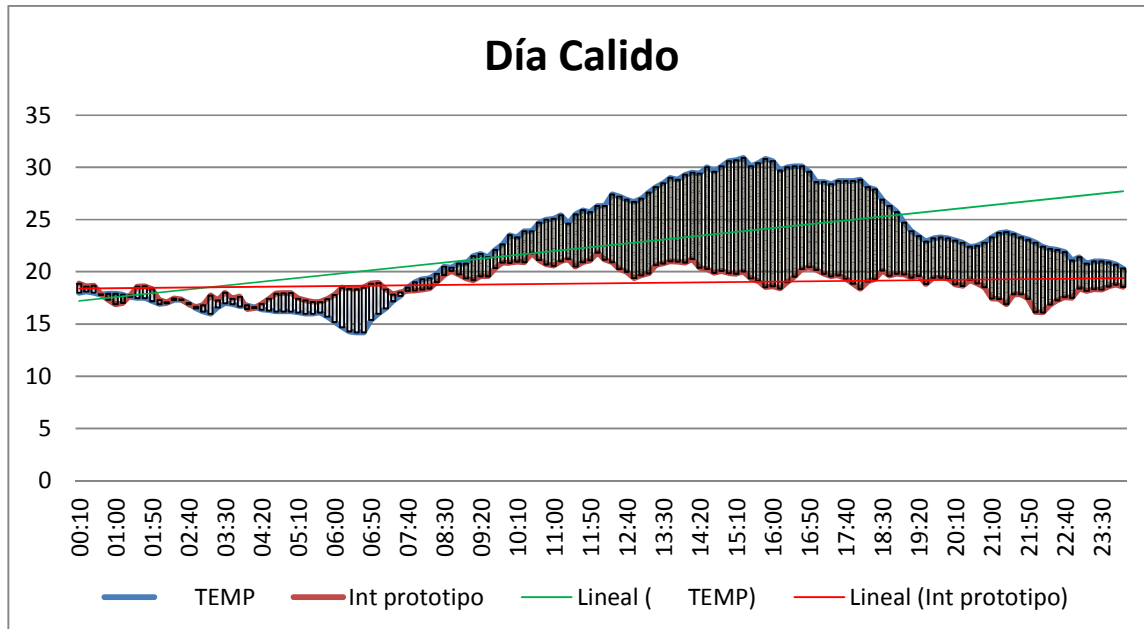
Se han tomado los dos días más fríos registrados en la base de datos del experimento para mostrar el comportamiento que tiene el prototipo en estas condiciones. Los días son: 22 de Diciembre de 2010 y 3 de Enero de 2011.



El promedio de temperatura del día 22 de Diciembre de 2010 fue de 6.3°C mientras que el promedio de temperatura del prototipo fue de 15.2°C El promedio de temperatura del día 3 de Enero de 2011 fue de 5.1°C mientras que el promedio de temperatura del prototipo fue de 14.5°C

VI.2.3 Día Cálido.

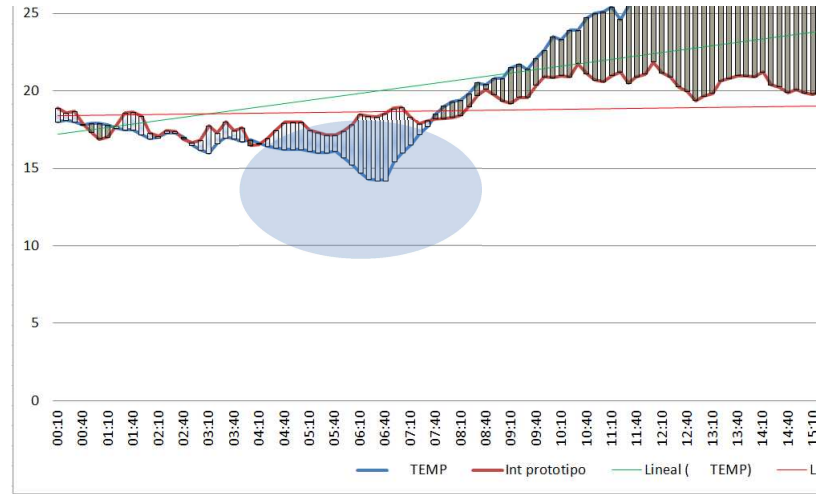
Se han tomado los dos días más calidos registrados en la base de datos del experimento para mostrar el comportamiento que tiene el prototipo en estas condiciones. Los días son: 28 de Abril y el 4 de Mayo de 2011.



Como podemos observar la temperatura ambiente en los dos casos permanece por encima de la temperatura promedio del prototipo, con variaciones promedio de 6°C. Resulta además sorprendente observar cómo es que las temperaturas de los núcleos de los prototipos tienden a variaciones de hasta

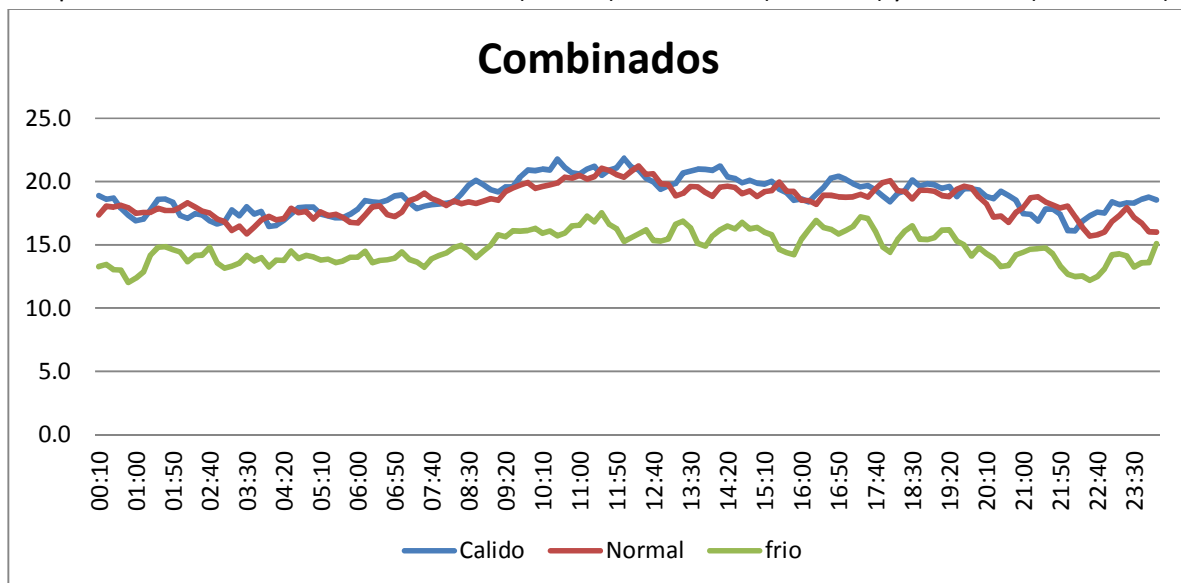
6° en periodos de 20 minutos (tanto en calentamiento como en enfriamiento) como se observa en el segmento de la grafica siguiente.

En el área marcada podemos observar cómo es que, a partir de las 6:10am comienza un periodo de calentamiento que dura hasta las 7:10 donde aumenta la temperatura del núcleo del prototipo 3° mientras que la temperatura ambiente disminuye en este mismo periodo de los 16.1°C hasta los 14.2°C.



VI.4 Interpretación de resultados.

Para demostrar las capacidades homeotermicas del prototipo en la siguiente grafica se han colocado el comportamiento térmico del día aleatorio I (normal), del día frío (22 de Dic) y día cálido (28 de Abril).



En esta grafica podemos observar que el comportamiento en estos tres momentos es muy parecido aunque la temperatura exterior varíe (entre el día cálido y el frio) 18.4°C promedio. Sorprende entonces observar que el comportamiento del prototipo presente variaciones discretas mientras que la temperatura ambiente presenta grandes variaciones.

Determinamos así que el comportamiento térmico del prototipo es independiente del comportamiento térmico ambiental, no se trata entonces; de un simple aislante térmico, si no que este (el suelo) cuenta con la capacidad de generación térmica que le permite comportarse como un organismo homeotermico.

La grafica siguiente nos permite determinar la línea de tendencia, de ambos comportamientos en un día aleatorio, y la función de estas líneas nos permite a su vez evidenciar la radical diferencia del comportamiento de estos dos fenómenos demostrando que se sujetan a dos comportamientos diferentes y no solo a una atenuación de la temperatura exterior como sería de esperarse en un fenómeno de aislamiento térmico.

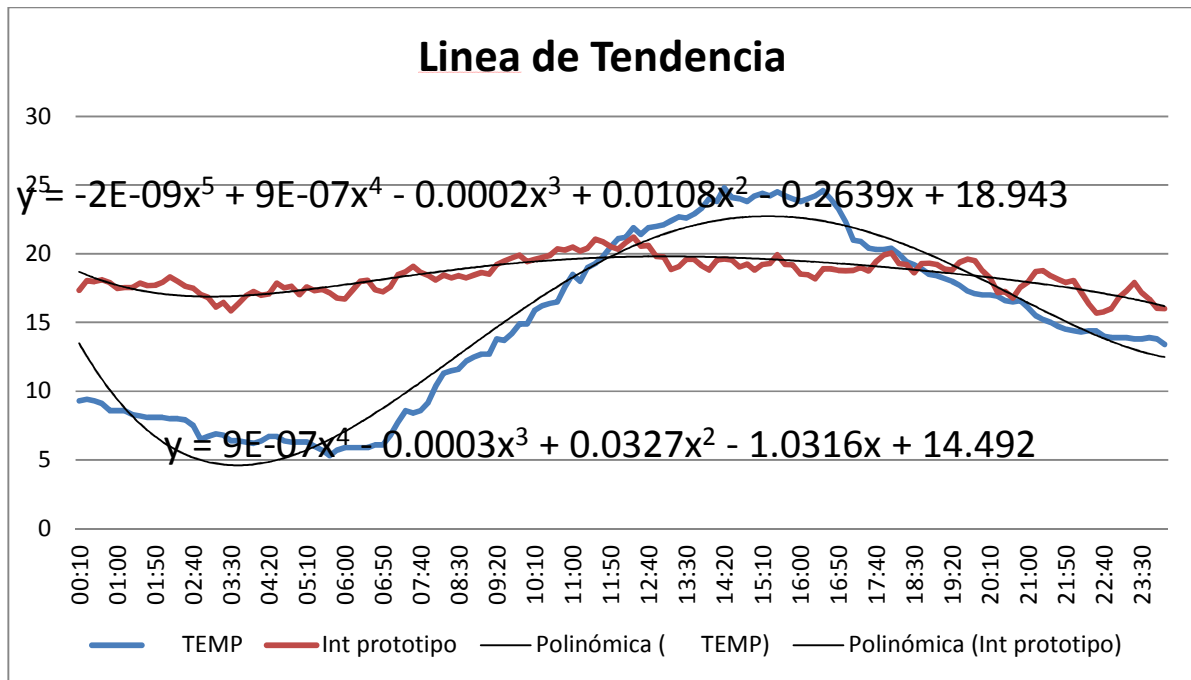


foto XIII: 9 Prototipos en Campo, . (la diferencia en la vegetación no representa una variable significativa según los datos obtenidos.)

© Juan Carlos Cerecero 2011 (Reproducción realizada con fines didácticos)

CAPITULO VII.

ASPECTOS SOCIALES.

VII.1 PROBLEMAS DE APLICACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOTIPO.

El problema social.

Aunque el sistema Física y biológicamente funciona, también se tienen que evaluar la aceptación que tendría este tipo de nuevo desarrollo en la población afectada, y dado que esta es una variable cualitativa se requieren de herramientas para evaluar que tan bien recibida o que tan poco factible puede ser visto un sistema de este tipo en la sociedad contemporánea

¿Es positiva la aceptación por parte de los profesionales de la construcción y el público en general para el uso de sistemas de enfriamiento a partir de biotecnología y su uso en la construcción en general?

El método de análisis para determinar cualitativamente la aceptación de un prototipo como el planeado se basa en la aplicación de un método Delphi que permitirá evaluar las diferentes variables para su posterior estudio

En este capítulo se pretende medir la aceptación del prototipo en la población afectada por su aplicación para así diseñar estrategias para su mejor aceptación.

El universo de muestreo consta de 150 individuos

Estimar una población de muestreo:

- a. El nivel de confianza = 95%
- b. Precisión= 9%
- c. Proporción= 5%

Como la población es finita la fórmula de determinación de muestra es:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

dónde:

- N = Total de la población
- $Z_{\alpha}^2 = 1.96^2$ (si la seguridad es del 95%)
- p = proporción esperada (en este caso 5% = 0.05)
- q = 1 - p (en este caso 1-0.05 = 0.95)
- d = precisión (en este caso deseamos un 9%).

$$n = \frac{150 * 1.96^2 * 0.05 * 0.95}{0.09^2 * (150 - 1) + 1.96^2 * 0.05 * 0.95} =$$

El tamaño de la muestra obtenido con un nivel de confianza del 95% es de 20 personas. Dado que la actual encuesta no fue sujeta a pérdidas (R), no es necesario este ajuste maestro.

VII.2 Primer Delphi: análisis y conclusiones.

Se realizó un primer Delphi a la muestra de 20 personas divididas en:

20% especialistas.

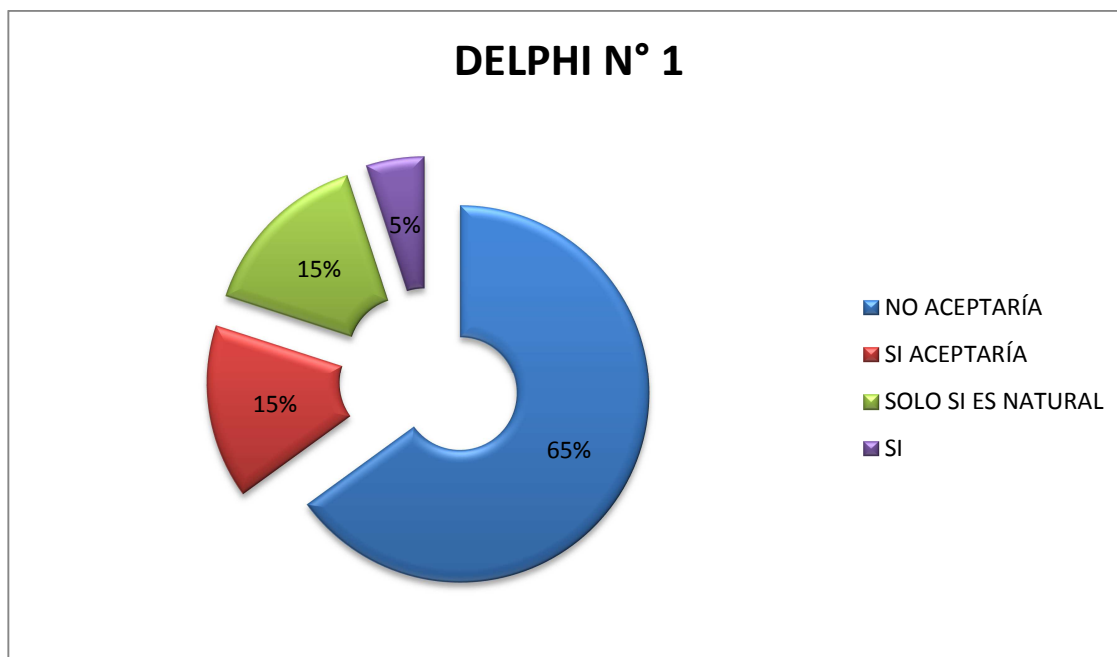
80% afectados y facilitadores.

La pregunta de este Delphi fue:

Si existiera un sistema de aire acondicionado que funcionara a partir de bacterias (no de energía eléctrica) que viven en la naturaleza (particularmente en el suelo) ¿aceptarías que este fuera instalado tu departamento, casa, oficina, o despacho?

| SI | RAZONES | NO |
|--------|---------|----|
| | | |
| FECHA: | | |

13 personas (65%) contestaron a esta pregunta con una negativa y la razón que dan a esta respuesta tiene que ver con una cuestión de salubridad ya que consideran que las bacterias existentes en este prototipo podrían ser causantes de enfermedades y tener afectaciones a la salud humana.



15% de los encuestados (3 personas) contestaron de forma positiva si es que el sistema era “completamente natural”

15% restante (3 personas) considerarían colocar el sistema si es que obtienen resultados favorables económicamente.

5% (una persona) contesto a la pregunta de forma positiva sin razón

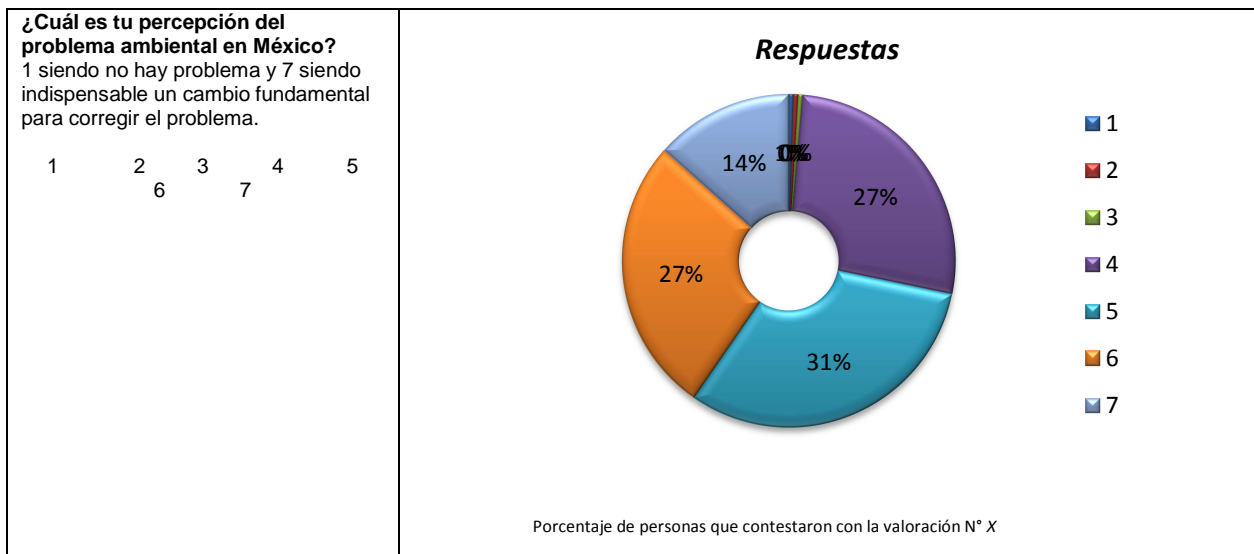
Con lo anterior podemos deducir la enorme importancia que tiene para el público en general su Salud.

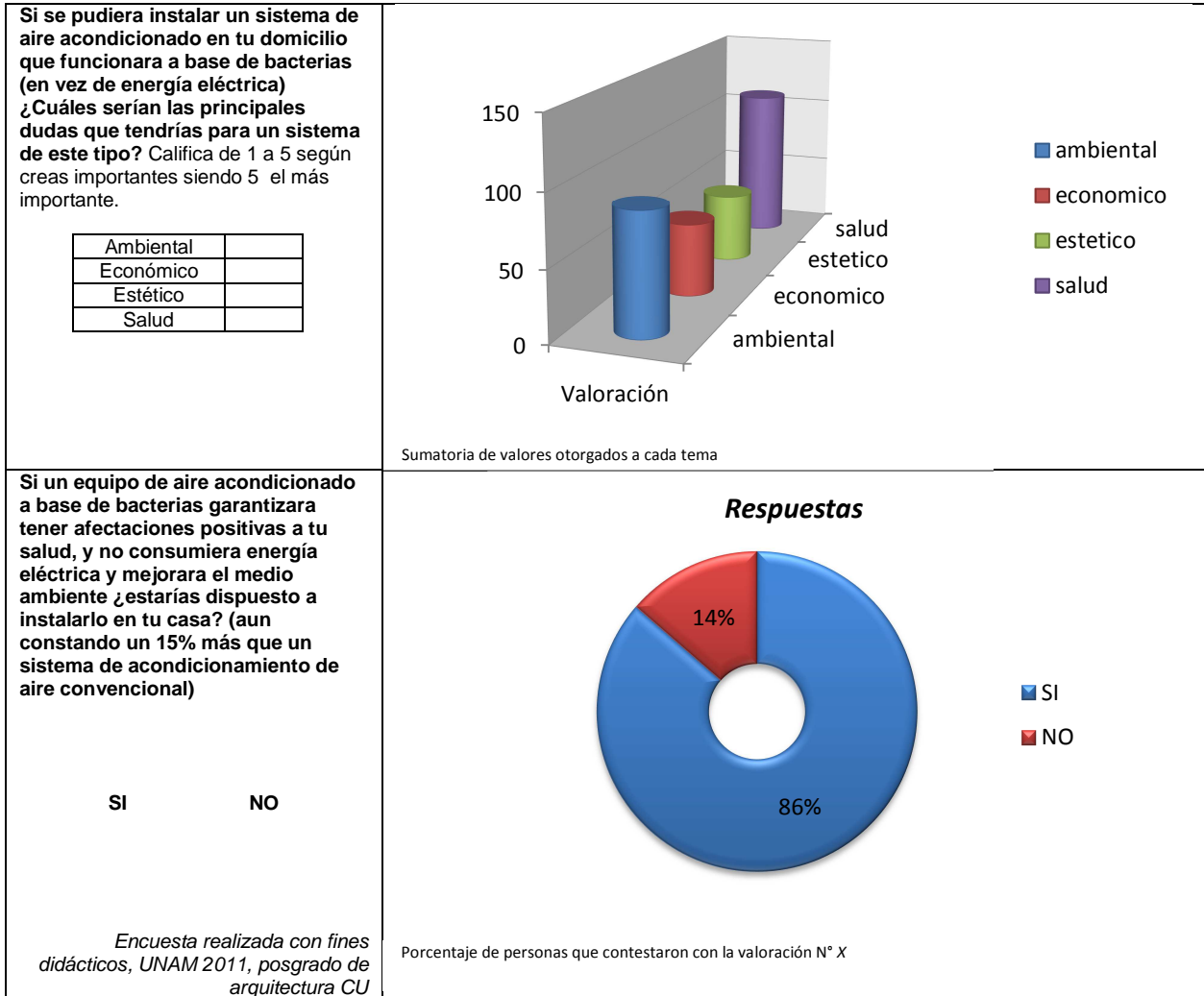
Podemos observar también que la principal reticencia del público a adoptar este nuevo elemento en sus construcciones es que causase afectaciones a la salud. Por tanto y dado que el 65% de nuestra población considera que este factor es el fundamental es que tenemos que brindar un estudio que asegure que este sistema no tiene ninguna afectación a la salud.

VII.3 SEGUNDO DELPHI: ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

Con el primer Delphi se pudo realizar una aproximación de la aceptación que tendría un sistema y se realizó con este un segundo Delphi el cual ayudaría a que la variable cualitativa (nivel de aceptación) pudiera ser evaluada de forma cuantitativa para su análisis.

El Delphi realizado es el siguiente:





VII.4 CONCLUSIONES AL DELPHI.

1. El 100% de la población (20 individuos) seleccionada admite que existe una afectación entre importante y muy importante en el medio ambiente en el que vive.
2. El 81% de la población está dispuesta a realizar cambios entre grandes y radicales para mejorar el ambiente en el que vive
3. El 78% de la población considera que las bacterias son agentes poco saludables o patógenos.
4. Extrañamente casi el 98% de la población considera a las bacterias muy importantes o indispensables en el medio natural.
5. Nuevamente recuperamos que el factor más importante para aceptación de un sistema novedoso que incluya bacterias es de tipo “salubridad” pero rescatamos a su vez que resulta más importante para el público que no afecte al ambiente que el factor económico.
6. Quizás por ello la respuesta de la última pregunta es evidente, al plantearle a nuestra población que el aire accionado a partir de bacterias no representa ningún riesgo para la salud, que mejoraría el medio ambiente y no consume energía eléctrica. El 86% de las personas contestan que estarían en total disposición de adquirir un sistema de este tipo aun constando un 15% más que el convencional.

VII.5 Análisis de resultados de encuestas y categorización de datos por método ZOOP-WELLINGER.

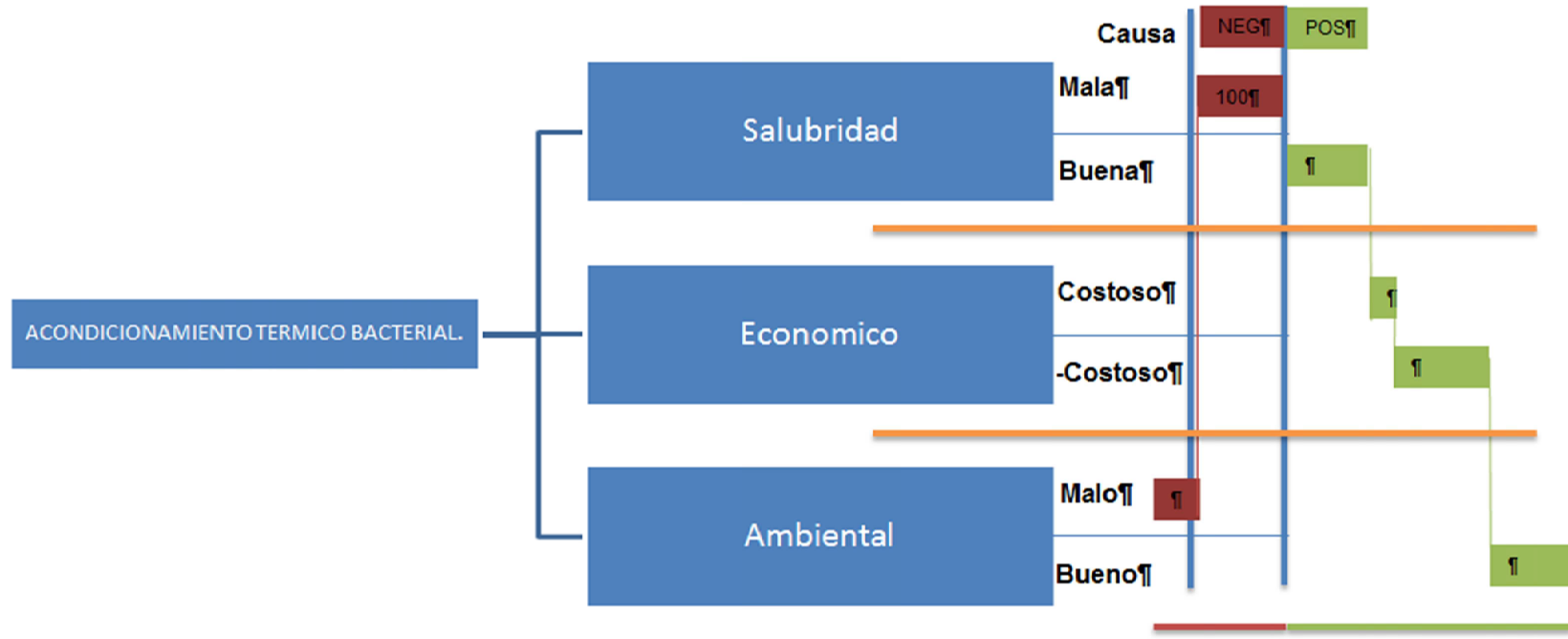
Valoración cuantitativa de las variables según importancia.

Ha quedado demostrado que la variable más importante en el proyecto es la de salubridad, a esta se le otorga el valor máximo de wellinger de 1.

Y dado que los valores resultantes de nuestro Delphi han sido:

| Variable | Valor | Wellinger |
|------------|-------|-----------|
| Ambiental | 86 | 0.78 |
| Económica | 52 | 0.47 |
| Estética | 50 | 0.46 |
| Salubridad | 110 | 1 |

Con estos valores desarrollaremos el esquema zoop grafico para visualizar mejor cada una de las variables. Con estos datos podemos decir que al 100% de la población le interesa por sobre todas las variables la salud, por lo que sí existe un problema en este aspecto el factor negativo será de 100% así se desarrolla cada una de las variables para generar el siguiente esquema y poder medir gráficamente el problema.



VII.6 CONCLUSIONES AL PROCESO DE ANÁLISIS:

De acuerdo a los resultados arrojados por el análisis podemos concluir que:

1. Hemos identificado el componente significativo para la aceptación del prototipo, el aspecto salubridad, y dado que resulta fundamental para la aceptación del proyecto será necesario la realización de un estudio de impacto a la salud sobre el prototipo, el cual brindará una base cierta fundamental para demostrar que no existen afectaciones negativas en el usuario final.
2. Resulta fundamental también el análisis de la afectación al medio para de esta forma demostrar fehacientemente las ventajas que tiene el dispositivo de forma rigurosa al usuario.
3. Con el presente trabajo queda demostrado que se requiere también educar al público en general acerca de los microorganismos y bacterias en su vida cotidiana ya que el desconocimiento de estos organismos puede (como lo demuestra el 78% de nuestra muestra) generar no solo malos entendidos sino errores serios en la labor que estos organismos tienen en el medio natural, reconociendo inclusive después de realizar las encuestas que parte importante de la fijación del público por la salud no es sino por la palabra bacteria que está asociada en el intelecto social como patógeno. Por lo cual resulta también fundamental la educación y el entendimiento de estos organismos.

CAPITULO VIII.

ANALISIS DE RIESGOS DEL SISTEMA.

Como resultado del capítulo anterior determinamos la importancia de evaluar y determinar los riesgos que representa un sistema innovador como el aquí tratado, por tanto este capítulo genera un análisis de riesgos para demostrar que la implementación de este es segura y no representa ningún riesgo ambiental o de salud para el usuario.

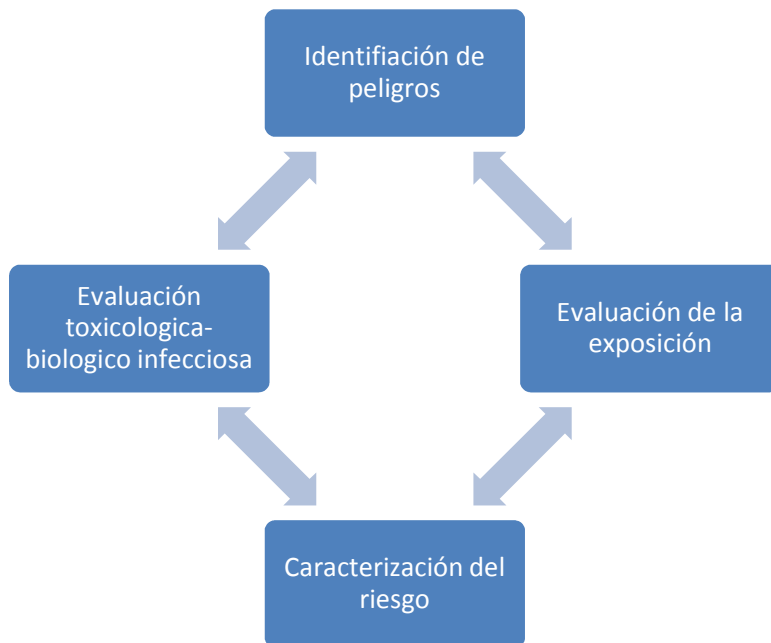
VIII.1 ANÁLISIS DE RIESGOS AMBIENTALES EN EL SISTEMA INNOVADOR: CELULA DE ENFRIAMIENTO BACTERIAL.

El diseño de nuevos sistemas, herramientas o tecnologías siempre conlleva con ellas mismas un riesgo inherente, para con el medio ambiente, el medio económico, político o ideológico, dado que estas se generan en una atmosfera que había evolucionado durante todo el tiempo sin su presencia; por ende la introducción de un nuevo elemento al entorno resultara en una adecuación de todos los elementos del sistema donde este se introduzca. La evaluación de esos cambios en el sistema global se conoce como análisis de riesgo. La evaluación de este tipo de riesgos tiene que ser medida y considerada antes que estos nuevos sistemas puedan ser aplicados en el medio; para ello resulta fundamental la evaluación objetiva de afectaciones que tendrá en cada uno de los niveles del sistema.

En el caso del estudio presente se hace énfasis en la caracterización del riesgo ambiental que genera el proyecto: célula de enfriamiento bacterial por esta razón la evaluación de riesgos ambientales será la metodología utilizada en este estudio de riesgo. Esta evaluación supone que el nuevo proyecto generara nuevas condiciones en el ecosistema y evaluara la exposición a sustancias tóxicas, organismos o productos introducidos en el medio o generados por el sistema innovador, y cuya concentración puede ser dañina para las personas o los ecosistemas que lo rodean. Por tanto es el caso adecuado de análisis para el sistema innovador aquí planteado.

VIII.2 ESQUEMA DE DOOBEN SOBRE ANÁLISIS DE RIESGO BIOLÓGICO INFECCIOSOS.

Dado que el elemento innovador es aplicado directamente sobre cuerpos urbanos, el análisis de riesgos ambientales será específicamente realizado sobre la afectación que tiene este elemento sobre la salud del ser humano; este tipo de análisis consta de cuatro etapas, las cuales se resumen en: Evaluación de riesgos, Evaluación Toxicológica, Evaluación de Exposición y Caracterización de riesgo.



A través del esquema de Dooben es como iniciaremos nuestro análisis de riesgos en este sistema innovador.

VIII.3 Descripción del proyecto.

Células de enfriamiento Bacterial

El sistema innovador se basa en la capacidad que tienen los microorganismos (bacterias) para la generación de enfriamiento o calentamiento en sus ecosistemas naturales.

El planteamiento de la célula de enfriamiento bacterial hace uso de esa capacidad natural promoviendo el crecimiento de estos organismos en celdas especiales y generando un intercambiador térmico entre ellas y el medio. que junto con un sistema de control técnico genera un acondicionamiento biotécnico de los espacios arquitectónicos a partir de biosistemas integrados por poblaciones de bacterias y microorganismos debido al proceso bioquímico (exotérmico o endotérmico) que estos organismos desarrollan en su medio natural.

Las bacterias en estas celdas corresponden principalmente a las de las familias de Azotobacter, Clostridium, nitrobacter y *T. thiooxidans*)

VIII.4 Identificación de peligros

A través del ENKAMAT⁴¹, y por la cantidad de espacios generados por esta membrana, esta tecnología puede aumentar la densidad de bacterias, permitiendo generar espacios bacteriales de mayores dimensiones y con poblaciones 40 veces superiores en el mismo espacio que de forma natural, lo cual aumentaría sus capacidades homeotermicas, pero también por ello es posible que se generará una fuente de riesgo biológico dado que en el medio natural es complicado encontrar este tipo de concentraciones bacteriales. El análisis e identificación de peligros debe ser realizado para comprobar si esta densidad de organismos presenta riesgos biológico infecciosos para la salud humana. Considerando las cualidades medioambientales y peligros infecciosos que pudiesen generarse en base a esta densidad bacteriana o a los productos bioquímicos generados por estos organismos.

Si consideramos entonces que la población bacteriana puede extenderse hasta 40 veces encontraremos que suelos con poblaciones bacterianas de 292000 individuos por microlitro de bacteria *T. thiooxidans* (Ecología microbiana y microbiología ambiental, Bartha, R. 2002) poseen concentraciones de ácido sulfúrico entre los 53 y 61 mg/l. pero dado que en este caso particular la concentración de ácido sulfúrico en el terreno la estimaremos en los 63 mg/l cantidad 40 veces superior de la registrada en el suelo convencional. Con esto damos un margen de seguridad mayor a nuestro análisis.

VIII.5 Identificación de nuevos riesgos:

Densidad bacterial elevada: 40 veces superior a la encontrada en los análisis de suelo (estimado calculado en base al área real natural edáfica VS área artificial creada (por ENKAMAT))

Concentración y acidificación edáfica por procesos bioquímicos de las bacterias (concentraciones 40 veces superiores)

Contaminantes básicos creados: Ácido Sulfúrico resultante de la oxidación del azufre elemental
 $2S + 3O_2 + 2H_2O \rightarrow 2H_2SO_4$

A continuación se desarrolla un modelo conceptual de emplazamiento de acuerdo con los Estándares de Gerencia de Riesgos de FERMA (2005-AGERS) y sus respectivas matrices de riesgo

| Matriz MSDS | | Matrizados |
|-----------------------------|---------------------------|------------|
| fuelle de contaminación | Urbana | A96 |
| Liberación de contaminantes | Bioquímico | A3 |
| transporte de contaminantes | Aéreo y acuoso | A |
| Receptores de contaminación | Humano | 10 |
| Rutas de exposición | Inhalación, oral, cutánea | 10 |

⁴¹ Se trata de la geomembrana utilizada en el prototipo para maximizar el área habitable por bacterias en el prototipo.

Dado que en este caso cumplimos con el llenado total de la matriz MSDS y las vías de exposición no carecen de elementos de transmisión se considera posible la evaluación de riesgo

VIII.6 Evaluación toxicológica

Esta etapa consiste en la evaluación de la relación dosis-respuesta existente entre la sustancia tóxica y un organismo expuesto a la misma. Esta relación representa la correspondencia entre la cantidad de tóxico y la magnitud del efecto y se realizan ensayos de toxicidad para las tres vías de exposición posibles: oral, cutánea o por inhalación. Dado que la sustancia a estudiar tiene una evaluación toxicológica anterior, ocuparemos las tablas de la “Agency for Toxic Substances and Disease Registry⁴²” para evaluar la toxicidad del ácido sulfúrico. Con ellas, podremos determinar las dosis que representan un riesgo para la salud de organismos vivos y el hombre.

| | | | | |
|---|---------------------------------|-----------------------------|----------------------|-------------------|
| 2. Composición/información sobre los componentes | | | | |
| Nr.-CAS: | 7664-93-9 | Número de índice CE: | 016-020-00-8 | |
| PM: | 98.08 g/mol | Número CE: | 231-639-5 | |
| Fórmula molecular: (según Hill) | H ₂ O ₄ S | | | |
| Fórmula química: | H ₂ SO ₄ | | | |
| <i>Componentes peligrosos</i> | | | | |
| <i>Denominación según Directivas de la CEE:</i> | | | | |
| <i>Número CAS:</i> | <i>Número CEE:</i> | <i>Número de índice CE:</i> | <i>Clasificación</i> | <i>Contenido:</i> |
| Ácido sulfúrico | | | | |
| 7664-93-9 | 231-639-5 | 016-020-00-8 | C; R35 | 95 - < 98 % |
| (texto de las frases R en el apartado 16) | | | | |
| 3. Identificación de peligros | | | | |
| Provoca quemaduras graves. | | | | |

⁴² The Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), based in Atlanta, Georgia, is a federal public health agency of the U.S. Department of Health and Human Services. <http://www.atsdr.cdc.gov/> 5 NOV 2010

| |
|--|
| <p>11. Información toxicológica</p> <p><i>Toxicidad aguda</i></p> <p>LC₅₀ (inhalativo, rata): 510 mg/m³ /2 h (referido a la sustancia pura). LD₅₀ (oral, rata): 2140 mg/kg (Al emplear una solución del 25 %).</p> <p>Síntomas específicos en ensayos sobre animales: Ensayo de irritación ocular (conejo): quemaduras. Ensayo de irritación cutánea (conejo): quemaduras. En base a otras características peligrosas del producto, no se presentan otros valores toxicológicos.</p> <p><i>Toxicidad subaguda a crónica</i></p> <p>Para el/los componentes parciales:</p> <p>Mutagenicidad bacteriana: test de Ames: negativo. No teratógeno en experimentos con animales.</p> <p><i>Informaciones adicionales sobre toxicidad</i></p> <p>Características probables a causa de los componentes del producto: Tras inhalación de aerosoles: lesión de las mucosas afectadas. Tras contacto con la piel: graves quemaduras con formación de costras. Tras contacto con los ojos: quemaduras, lesiones de la córnea. Tras ingestión: fuertes dolores (peligro de perforación!), malestar, vómitos y diarrea. Tras un periodo de latencia de algunas semanas, posibilidad de estrechamiento de la salida del estómago (estenosis del piloro).</p> <p><i>Información complementaria</i></p> <p>El producto debe manejarse con las precauciones apropiadas para los productos químicos.</p> |
|--|

Las tablas presentadas enumeran los factores de toxicidad del ser humano a sustancias específicas (en este caso ácido sulfúrico) y serán usadas en el análisis de riesgos aquí presentado para determinar si las concentraciones de sustancias producidas por los prototipos pueden generar daños en la salud del ser humano o del medio ambiente.

VIII.7 Evaluación de la exposición

En esta etapa se van a determinar las dosis diarias de exposición para cada contaminante o conjunto de contaminantes a las que van a estar sometidos los organismos receptores. Esta dosis diaria representa la magnitud de la exposición y se expresa en unidades de masa de contaminante expuesta por unidad de masa corporal y día. Para su cálculo es necesario determinar la concentración de cada compuesto tóxico en cada uno de los medio (agua, suelo...) y se realizará para cada una de las vías de exposición (oral, cutánea, por inhalación).

En la siguiente tabla se muestran los valores que tomaremos por defecto para el cálculo de exposición de estas variables y que son utilizadas de acuerdo al protocolo de la USEPA (united States Environmental protection agency)

| VALORES ESTÁNDAR DE VARIABLES UTILIZADAS EN EL CÁLCULO DE LA EXPOSICIÓN | | |
|---|-------------------------|----------|
| Variable | Valor por defecto | |
| Tasa de ingestión de agua potable (l/día) | 2.5 | |
| Tasa de ingestión de suelo (mg/día) | Adulto | 140 |
| | Infantil | 230 |
| Tasa de inhalación en interior (adultos) (m ³ /día) | 14.8 | |
| Frecuencia de exposición (residencial) (días/año) | 350 | |
| Duración de exposición (residencial) (años) | 30 (6 niño + 24 adulto) | |
| Peso corporal (kg) | Adulto | 75 |
| | Infantil | 15 |
| Tiempo promedio (días) | Cancerígeno | 25550 |
| | No cancerígeno | 365 · ED |

La dosis diaria de exposición se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$E = (C \cdot I \cdot EF \cdot ED) / (BW \cdot AT)$$

En donde:

- **E:** dosis diaria de exposición (mg · kg⁻¹ · día⁻¹)=
- **C:** concentración de contaminante en el medio considerado (mg/kg, mg/l)
- **I:** tasa de consumo por ingestión, absorción o inhalación accidental (mg/día)
- **EF:** frecuencia de la exposición (días/año)
- **ED:** duración de la exposición (años)
- **BW:** peso corporal del individuo (kg)
- **AT:** tiempo promedio sobre el cual se promedia la exposición.
 - Para contaminantes no cancerígenos: AT = 365 · ED

- Para contaminantes cancerígenos se considera una vida completa de 70 años: $AT = 365 \cdot 70 = 25550$ días.

Dada la formula anterior tenemos que:

$$E = \frac{63 \cdot 28 \cdot 350 \cdot 30}{75 \cdot 1950} = 22.55 \frac{mg}{kg} / dia$$

La exposición tanto por inhalación como cutánea del ácido sulfúrico producido por las bacterias en el sistema de reactor bacterial, es menor al 5% de los valores seguros ofrecidos por la “Agency for Toxic Substances and Disease Registry⁴³” lo cual hace seguro su uso y aplicación conforme a las normas de la USEPA, por esta sustancia en particular, dado que expone a los individuos a una dosis de ácido sulfúrico de 22.5mg/kg/día y el máximo aceptable para esta sustancia es de 408mg/kg/día (80% del valor absoluto considerado en las tablas de la “Agency for Toxic Substances and Disease Registry” para nuevos desarrollos tecnológicos)

VIII.8 Conclusiones y Caracterización del riesgo

Las conclusiones o caracterización de riesgo es la última fase del análisis de riesgos; aquí se van a integrar los resultados de las dos etapas anteriores, es decir, la información toxicológica de los contaminantes presentes y la valoración estimada de la dosis de exposición de cada uno, con el objetivo de determinar de manera cuantitativa el riesgo que supone la situación evaluada.

Esta combinación de resultados es independiente de la sustancia considerada y de la vía de exposición:

Dado que el ácido sulfúrico en la tabla de la “Agency for Toxic Substances and Disease Registry” aparece como un químico no cancerígeno:

- **Contaminantes no cancerígenos:** se utiliza el índice de peligro o hazard index (HI), que relaciona la dosis de exposición con la dosis de referencia para la ruta de exposición y el período de exposición correspondiente:

$$HI = E / RfD$$

$$HI = \frac{22.5}{408} = 0.0551470$$

⁴³ The Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), based in Atlanta, Georgia, is a federal public health agency of the U.S. Department of Health and Human Services. <http://www.atsdr.cdc.gov/> 15 NOV 2010

Dado que H_i resulta menor a 1 podemos considerar que el riesgo de exposición es aceptable bajo los estándares de la USEPA, y que nuestro proyecto de innovación se validará bajo las normas ambientales para riesgos a la salud, con ello descartamos que el riesgo de exposición a este nuevo sistema tenga repercusiones en la salud humana aun teniendo concentraciones de ácido sulfúrico 40 veces superiores a las naturales.

Podemos también determinar partir de este estudio, que nuestro sistema podría explotar las capacidades de las bacterias, *T. thiooxidans* (la que presenta mayores riesgos para la salud humana del grupo de bacterias en nuestro prototipo) de forma segura hasta en concentraciones 700 veces mayores que las encontradas en el análisis realizado en los suelos naturales de este documento.

Con lo anterior podemos determinar que:

- El prototipo y las bacterias que este contiene no generan ningún riesgo para la salud de ser humano o del medioambiente.
- No existe riesgos de tipo infeccioso en el prototipo.

CONCLUSIONES

A través del estudio antes presentado se puede comprobar la hipótesis de trabajo presentada en este documento

Hipótesis:

Es posible el aprovechamiento de las capacidades homeotermicas de microorganismos (bacterias) como medio para controlar la temperatura (enfriamiento o calentamiento) dentro de los espacios.

Ya que:

Las bacterias presentan un comportamiento homeotermico en su ambiente el cual es posible aprovechar para el acondicionamiento térmico en los edificios como queda demostrado con base en el experimento realizado.

El desarrollo de esta clase de sistemas por tanto puede funcionar como una alternativa al uso de sistemas de aire acondicionado tradicionales. Sin embargo me gustaría hacer una reflexión importante, hago uso de las palabras de Gunther Moewes cuando menciona que:

“La idea de que los edificios de bajo consumo energético son sustentables o respetuosos con el medio ambiente y de que, a través de la construcción de más edificios de este tipo, cumpliremos las promesas hechas en la Cumbre de Río (...), es naturalmente, una estupidez. Un nuevo edificio nunca ahorra energía, sino que genera nuevas necesidades energéticas, y la calificación de nuevo suelo para urbanizar es fundamentalmente antiecológica.”

El concepto de sustentabilidad actual que se nos vende como panacea y que está en boca de todos “y” que tiene como objetivo reducir el consumo de energía, materia, recursos etc.... “y” que se ha convertido en la palabra de moda “y” que se menciona en economía, política, ciencia y deportes “y” en todas las esferas (mediática o verdaderamente) el concepto de la eficiencia energética y la innovación tecnológica para corregir el impacto de la mano del hombre en el planeta. ¿Es realmente la solución para un futuro a largo plazo? Yo digo que no; este concepto en el mejor de los casos trata de reducir nuestra huella, pero para el 2050 seremos un tercio más de personas en el planeta ¿el concepto de sustentabilidad actual y su concepción del planeta como proveedor serán suficientes para mantener a esa población? ¿Y cuando seamos el doble para el año 2070?

Como ya lo he dicho antes, en esa clase de sustentabilidad no creo.

Aproximaciones personales al futuro sustentable

Hoy en día cuando comenzamos a entender el impacto de la huella que hemos dejado sobre este planeta, nos enfrentamos a una disyuntiva, que en realidad no lo es: continuar con nuestras actividades tal cual lo hemos venido haciendo hasta el momento o entender que nuestro papel y relación con el medio debe cambiar idealmente hacia una relación ecológica.

Sin embargo para realizar este cambio debemos (como humanidad) concebir al planeta de otra forma; pasar de la óptica actual la cual concibe al planeta como un proveedor (inagotable) de todas las necesidades humanas, hacia una mentalidad donde se considere a este como un multisistema inter-activo autosustentable pero temporalmente limitado y así comprendernos a nosotros mismos dentro de estas limitaciones para formar así una biosfera de continuidad.

Pero esta clase de cambios requieren de una evolución cultural a nivel global, este proceso como cualquier desarrollo educativo es siempre inacabado, perfectible y continuo, y aunque resulta la respuesta definitiva hacia un futuro ecológicamente viable, (dado que así comprenderemos las capacidades del planeta y nos ceñiremos a estas) la posibilidad de su aplicación a corto e inclusive mediano plazo es un proceso imposible.

Desde el polo realista denominado en ocasiones *regeneración ecológica*, se pretende un objetivo bastante más modesto en espectacularidad mediática, pero probablemente mucho más difícil de llevar a cabo: introducir sensatez en el ciclo de producción y uso del alojamiento parando, para empezar, la expansión urbana, que en primer lugar tiene que ver con el aumento de la superficie de suelo afectada *per cápita* —huella ecológica—, y sólo en segundo lugar con la expansión de la propia población humana.

¿Qué clase de tecnología nos dará este tiempo? ¿Una de bajo consumo energético?, ¿de emisiones contaminantes muy limitadas o nulas? Considero que sobre estos dos importantes factores esta la premisa de una tecnología de tipo ecológico, donde el individuo, la tecnología y el medio formen un ecosistema, y todos ellos se entrelacen, sean continuos, autorregulados, regenerativos y sostenibles con los cual formaran organismos que actúen de manera recíproca.

El camino para aspirar a esta clase de tecnología también es largo; sin embargo contamos hoy día con este tipo de sistemas: los sistemas naturales ecológicamente viables han demostrado su sustentabilidad a lo largo de miles de millones de años, y por ende son el marco de referencia ideal para la nueva tecnología. Si nosotros logramos entender sus relaciones con su medio y emularlas generaremos un avance considerable en el desarrollo de una tecnología realmente ecológica.

Por tanto yo quiero concluir que para mí, la sustentabilidad “real” es:

- si la reducción del ritmo de consumo.

Porque resulta infinitamente importante entenderse dentro de un planeta con recursos limitados y la única forma de habitarlo es limitar igualmente el consumo de estos recursos.

- Si el ahorro de combustibles.

Ya que resulta uno de los puntos neurálgicos del problema, optimizar el consumo de estos genera en el corto plazo un cambio considerable y representa un paso necesario para el cambio deseado.

- Si la búsqueda de alternativas energéticas renovables.

Porque nos darán el tiempo necesario para un cambio en la conciencia del hombre.

Nuevas tecnologías limpias, libres de emisiones de CO₂ o libres de desechos etc; son elementos que sirven para apalejar (por un tiempo) los resultados producidos por una sociedad que no ha sabido entender su papel en el medio.

Desde mi punto de vista no se trata solo de cambiar la forma en que obtenemos los recursos si no de cambiar nuestra necesidad de recursos

Busquemos alternativas energéticas menos contaminantes si, pero no para mantener y aumentar el “nivel de vida” que actualmente deseamos.

No, para sustituir carboelectricas por centrales de energía solar, y así mantener el mismo ritmo de consumo.

Porque al final de cuentas, esa falsa sustentabilidad que nos han vendido es quizás solo para un mediano plazo.

Así que más importante que la reducción, conversión y uso de energía eficiente, lo que nos lleve a un cambio hacia la sustentabilidad real será la educación y la relación ecológica que guardemos como humanidad (en el estricto sentido biológico) con nuestro planeta. Si logramos comprender esto, nos entenderemos dentro de las limitaciones de nuestro medio y actuaremos en consecuencia.

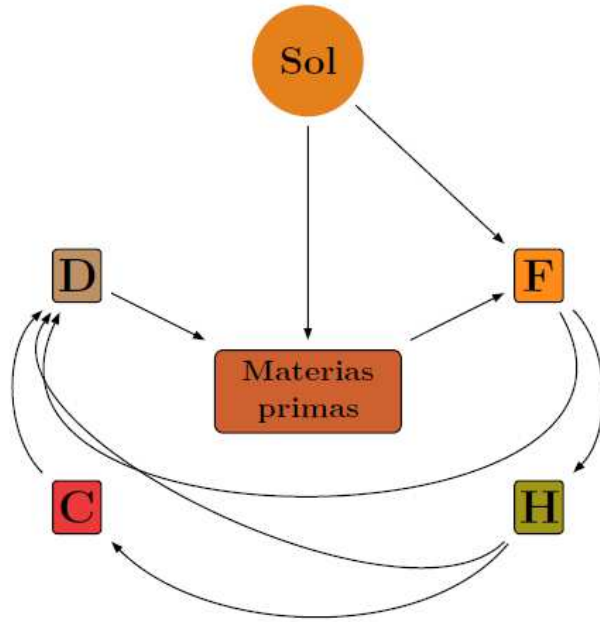
¿Cómo comprender el futuro de la sustentabilidad?

¿Cómo debemos llegar a la sustentabilidad? ¿Resulta esta de consumir menos recursos? ¿Consumirlos más eficientemente? Sí, pero no solo eso:

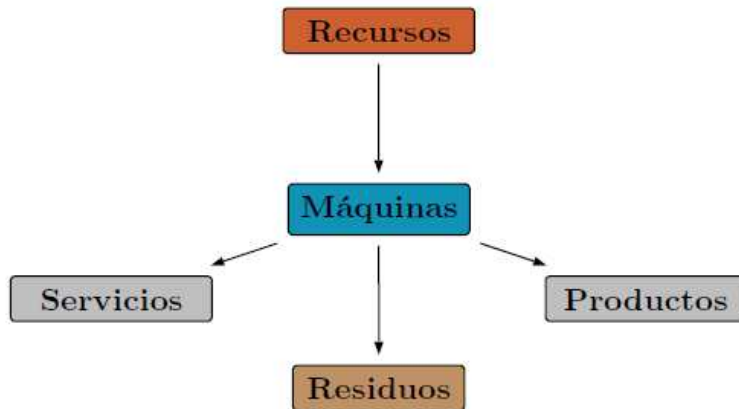
Según el Informe Brundtland de 1987, la sostenibilidad consiste en satisfacer las necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades. Esta es como mencione anteriormente, tener una visión del planeta de proveedor, Evidentemente con un cambio sustancial dado que plantea la explotación de un recurso por debajo del límite de renovación del mismo. Por lo cual no existiría una destrucción del recurso, pero si un desecho por el modo de ocupar el recurso además de que no se plantea la retribución de este al medio es decir el medio también se degrada. Y aunque por supuesto, es un primer paso; el ideal a largo plazo sería el poder integrar las actividades humanas dentro de un ecosistema; es decir, que se obtuviera un producto y como desechos, subproductos que pudiesen reintegrarse dinámicamente de vuelta al ecosistema, pero la diversidad de la actividad humana no permite, sin tecnología este proceso, por lo cual debemos encontrar nuevos métodos que nos permitan la integración de nuestras actividades al entorno.

Pero cuál es la diferencia fundamental entre un sistema ecológico y uno generado por el hombre:

Simple, en un sistema ecológico, los elementos, organismos o productos elaborados se emplean en ciclos cerrados, así que no existen como tal ni *recursos ni residuos*: el residuo de una especie es un recurso para otra. En cambio los sistemas desarrollados por el hombre (Las excepciones son raras) son de ciclo abierto y dan lugar a la acumulación de 'residuos' para la generación de los recursos.



MODELO BIOLÓGICO



MODELO INDUSTRIAL

Para explicar mejor el concepto quizás la metáfora del molino resulte esclarecedora: un molino es movido por el viento, pero el movimiento no requiere consumir el recurso (el aire) sino que este solo requiere aprovechar parte de la energía potencial que tiene el viento. Esa construcción ha sido 'sustentable' dado que no consume el recurso y no produce tampoco desechos.

A nosotros como humanidad nos falta entonces buscar esas tecnologías de Molino. Pero no solo ello, debemos también asumir que debemos retribuir el recurso hacerlo circular al medio para así realmente generar un ecosistema, es decir generar actividades humanas ecológicas (en el estricto sentido de la palabra) y para esto la única herramienta con la que contamos es con la tecnología, y más específicamente con lo que yo he dado en llamar en este documento la Tecnotrofia.

En pocas palabras el término "tecnotrofismo" se refiere a la técnica con la que nos integramos en una cadena alimenticia con ciclo cerrado, y que retribuye al ambiente generando un trabajo.

Esta por tanto genera una sustentabilidad natural y por supuesto real dado que no hay desechos, y los recursos siempre son devueltos al medio.

¿Cuál es el futuro sustentable que yo observo?

Una tecnología que aproveche las cualidades de los organismos vivos. Generando híbridos que dadas sus cualidades sustituyan procesos que hasta la fecha sean realizados por tecnología tradicional. Al generar estos híbridos (mezcla de organismos vivos y tecnología) aprovecharemos las cualidades que nos interesen de los seres biológicos conservando sus propiedades y relaciones ecológicas con el medio natural. De esta forma aceleraremos el desarrollo de sistemas aprovechando los diseños que ha perfeccionado la selección natural a lo largo de millones de años. Con esta clase de organismos (biológico-tecnológicos) Generemos una nueva clase de nivel trófico en la biosfera. El tecnotrófico.

¿Cómo hace este proyecto ciudades sustentables?

Debemos volver nuestras actividades tecnocráticas: todos los procesos, técnicas, elementos, edificios y ciudades deben buscar cabida en un ecosistema (para integrarse al medio natural) generando “unidades ecosistema”.

Se trata de generar unidades ecosistema para solucionar una necesidad humana, el confort térmico.

¿Por qué?

Porque esta sería una verdadera sustentabilidad.

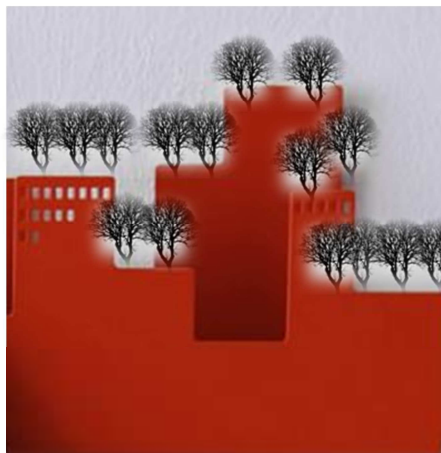
Se trata de que la naturaleza retome los espacios que ha ido perdiendo a lo largo de la construcción de las ciudades, espacios que antes eran bosques, llanos, pastizales etc. Y que hoy día son ciudad. Evidentemente, no podemos destruir la ciudad que tenemos (aún no tenemos esa educación) por lo que la solución es en palabras llanas, elevar el nivel de tierra a la azotea de cada edificio, como si este (el edificio) fuera simplemente un nivel más de la tierra.



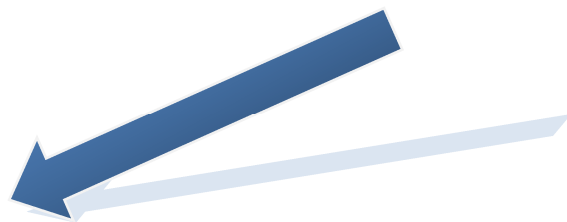
Así este era el perfil antes de la ciudad...



Este es nuestro perfil actual...



Esto es lo que debemos aspirar



Y permitir que la naturaleza continúe su labor en cada espacio.

Aportación y crítica.

La sustentabilidad como concepto resulta una idea más que interesante, sin embargo su planteamiento llevado al extra largo plazo es imposible, nada es sustentable, ni siquiera el medio natural, es decir; la base de la cadena alimenticia (las plantas) sintetizan “energía” del sol, la cual como sabemos no es por ningún motivo renovable, sin embargo creo que todos estamos tras la idea de la sustentabilidad porque (unos más que otros) sabemos que es la única alternativa para nuestro futuro a mediano plazo.

El problema de la sustentabilidad es que no existe una, sino muchas clases de esta. Haciendo una analogía con el medio natural, tal vez lo que al ser humano le hace falta es buscar la energía en la diversidad.

No estoy del todo de acuerdo con el concepto de que la sustentabilidad es un proceso, dado que por definición los procesos son una serie de pasos lógicos que llevan siempre a un mismo resultado; yo en cambio creo que esta es una evolución, en la cual nos vamos adaptando a las condiciones del medio y debemos de entender a este para poder aprovecharlo de la manera más eficiente (por ello hablo de la diversidad en analogía al medio natural)

Y por ello creo que en primer lugar para acceder a la sustentabilidad (ya sea de una ciudad o de un edificio) es necesario darle el espacio que requiere la naturaleza dentro de este. Utilizar el suelo, SI, pero compensarlo con suelo, no en otro lugar, no en otra condición, sino en su lugar en “el lugar”

Para evolucionar en la sustentabilidad primero hay que dejar y seguir el camino que la naturaleza ya ha andado en esta dirección, debemos devolver las cualidades del espacio como era antes de la llegada de la ciudad. Dado que ese camino ha demostrado su viabilidad durante 400 millones de años de vida sobre la tierra.

Este documento en todo caso, es mi pequeña aportación a esa, la que creo es... mi evolución.

BIBLIOGRAFÍA.

Libros digitales.

- *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Rusell* Autor Alan Wild, España 1992.
- Buol et al. (1991) "Génesis y clasificación de suelos". Edit. Trillas
- *Prácticas de atmosfera suelo y agua*, Llorca, Bautista, Valencia, 1999
- *Ingeniería ambiental*, Henry, Heinke. 1999
- *Análisis químico de suelos y agua*, Marín, Aragón. Valencia, 2002
- *Los suelos y su fertilidad*, Thomson, Toher, 1988
- *Análisis experimental de distribución y abundancia*, krebbbs, 1988
- Duchaufour (1984) "Edafología vol. 1 Edafogénesis y clasificación" Edit. Masson
- Brookes, p. C. 1985. Microbial biomass and activity measurements in soil. Journal of science food agricultural

Biblioteca Central UNAM

- ***Sustentabilidad y desarrollo ambiental.*** José Luis Calva, Francisco Aguayo, localización. HC140.E5 S87 año 2007
- ***Hábitat: del riesgo a la sustentabilidad = Habitat: from risk to sustainability.*** Víctor Toledo, Ofelia Martínez. Localización HD75.6 H325. año 2007
- ***La Sustentabilidad y las ciudades hacia el siglo XXI.*** Guadalupe Milian Avila localización: HT241 S874 año1999
- ***Sustentabilidad: desarrollo económico, medio ambiente y biodiversidad***
David M. Rivas localización HC79.E5 S874 año 2005

- QUADRI, NESTOR Pedro. **Energía solar: agua caliente, energía fotovoltaica, calefacción, energía eólica, refrigeración, biomasa** Buenos Aires. Ed. Alsina, año 2003
- MANUEL JIMÉNEZ José **Ingenios solares: manual práctico para la construcción de aparatos sencillos relacionados con la energía solar.** , Pamplona-Iruña 1999 ed. Pamiela Argitaletxea localización Año 1999
- CANTARELL LARA Jorge. **Geometría, energía solar y arquitectura.** México. Ed. Trillas 1990
- BRUCE Y WELLS. **Guía fácil de la energía solar pasiva: Calor y frío natural.** México, ed. Gustavo Gili. año 1984
- ETCHEVERS Y AGUILAR SANTELISES. **Los análisis físicos y químicos: su aplicación en agronomía.** México, edita Universidad de Chapingo, año 1992
- PRENTIS Y CUELLO. **Biotecnología: Una revolución industrial.** Barcelona, ed. Salvat. año 1986
- MONROY Y VINIEGRA **Biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos.** México, Ed. A.G.T. año 1981
- LLORCA Y BAUTISTA. **Prácticas de atmósfera, suelo y agua.** México, Ed. Alfaomega. año 2004
- COYNE Y RASSKIN **Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio.** Madrid, Ed. Paraninfo. 2006
- BUCKMAN, HARRY oliver **Naturaleza y propiedades de los suelos: Texto de edafología para enseñanza.** México, ed. limusa. año 1993
- W. MILLER, Y T. GARDINER. **Soils in our environment.** New Jersey, ed Prentice Hall. año 1998

BESTRATÉN M., 'Los análisis de peligros y de operabilidad en instalaciones de proceso', *Notas técnicas de prevención*, NTP-238, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Barcelona (1999)

CASAL J., 'La evaluación del riesgo en la industria química', *Química e Industria*, (1991)

DGPC-a, 'Guía técnica. Metodologías para el análisis de riesgos. Visión general'. Dirección General de Protección Civil. Ministerio de Justicia e Interior. Madrid (1994)

DGPC-c, 'Guía técnica. Métodos cuantitativos para el análisis de riesgos'. Dirección General de Protección Civil. Ministerio de Justicia e Interior. Madrid (1994)

PIQUÉ T., CEJALVO A., 'Análisis probabilístico de riesgos: metodología del árbol de fallos y errores', *Notas Técnicas de Prevención*, , Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Barcelona (1994)

US Environmental Protection Agency www.epa.gov/

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) www.atsdr.cdc.gov/

- BS 8444/1996: Risk Management Part 3 – Guide to risk analysis on technological systems
- CAN/CSA-Q850/1997: Risk Management Guideline for Decisión-Makers. National
- General Guidelines for principles and implementation of Risk Management (Proposer JICS Japan)
- ISO/IEC Guide 73/2002 (E/F) Risk Management Vocabulary Guidelines for use in Standards
- Estándares de Gerencia de Riesgos de FERMA (2003-AGERS)
- Guía para la realización del análisis del riesgo ambiental en al ámbito del R.D. 1254/1999 (Seveso II) - Dirección General de Protección Civil y Emergencias (2004)
- Norma UNE 150008 (versión experimental aprobada como norma en Marzo 2008)

- ALEXANDER, M. **Introducción a la microbiología del suelo**, México. D.f. año 1980
- BARTHA, R. **Ecología microbiana y microbiología ambiental**. Madrid, año 2002
- BAREA, J.M.; OLIVARES, J. **Manejo de las propiedades biológicas del suelo**. 1998. Agricultura sostenible.
- FERRERA, CERRATO, PÉREZ MORENO, **Agromicrobiología, elemento útil en la agricultura sustentable**. Colegio de postgraduados en ciencias agrícolas. México. Año 1999
- GARCÍA, SOTRES, HERNÁNDEZ, CEPEDA, **Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana**. Madrid. Ed. Mundi prensa. Año 2003

REVISTAS, ARTICULOS, Y REPORTES DE INVESTIGACIÓN.

1. Differential Scanning Calorimetry of Bacteria
By CHRISTOPHER A. MILES,* BERNARD M . MACKEY AND
SUSAN E . PARSONS
*Agricultural and Food Research Council, Food Research Institute - Bristol, Langjord,
Bristol BS18 7DY, UK*
(Received 13 June 1985 ; revised 17 October 1985)
2. Heat Production by Ruminant Bacteria in Continuous Culture and
Its Relationship to Maintenance Energy
JAMES B. RUSSELL
Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, and Department of Animal
Science, Cornell University,
Ithaca, New York 14853
Received 23 April 1986/Accepted 13 August 1986
3. *intercambiadores tierra-aire en la climatización de construcciones. Joan Escuer, geotermia
Esp. num 11. 2005*
4. Flores Larsen, Lesigo G. Modelización de intercambiadores tierra-aire para
acondicionamiento térmico de edificios. Año 2000, LATCYM, México

RECURSOS DE INTERNET.

Biblioteca digital SEMARNAT, visita mayo 2009

http://cecaedesu.semarnat.gob.mx/biblioteca_digital/desarrollo_sustentable

Página WEB de la organización UN HABITAT, visita junio 2009

<http://www.unhabitat.org/>

Reporte Electronico GEO-4 ONU, mayo 2009-06-09

http://www.unep.org/geo/geo4/report/GEO-4_Report_Full_ES.pdf

MARCO REFERENCIAL.

ⁱ **Homeotermico** Se dice de los organismos que pueden regular su temperatura corporal con independencia de la temperatura ambiental, mediante diversos mecanismos químicos o biológicos que activan su sistema nervioso, digestivos o por trabajo y generan un gasto energético importante.

ⁱⁱ **Entalpía** (del prefijo *en* y del griego "enthalpos" (ενθαλπος) calentar) es una magnitud de termodinámica simbolizada con la letra H, la variación de entalpía expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, o, lo que es lo mismo, la cantidad de energía que tal sistema puede intercambiar con su entorno.

ⁱⁱⁱ **Biomasa** es el nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente que haya derivado de animales y vegetales como resultado del proceso de conversión fotosintético. La energía de la biomasa deriva del material de vegetal y animal, tal como madera de bosques, residuos de procesos agrícolas y forestales, y de la basura industrial, humana o animales.

El valor energético de la biomasa de materia vegetal proviene originalmente de la energía solar a través del proceso conocido como fotosíntesis. La energía química que se almacena en las plantas y los animales (que se alimentan de plantas u otros animales), o en los desechos que producen, se llama *bioenergía*. Durante procesos de conversión tales como la combustión, la biomasa libera su energía, a menudo en la forma de calor, y el carbón se oxida nuevamente a dióxido de carbono para restituir el que fue absorbido durante el crecimiento de la planta. Esencialmente, el uso de la biomasa para la energía es la inversa de la fotosíntesis.

^{iv} **Bioteconología:** Según el Convenio sobre Diversidad Biológica de 1992, la biotecnología podría definirse como "*toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos*"

^v **confort térmico** según **norma ISO 7730**, la cual lo define como "esa condición de mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico".

^{vi} La **edafología** (del griego ἔδαφος, *edafos*, "suelo", -λογία, *logía*, "estudio", "tratado") es una rama de la ciencia del suelo que estudia la composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas y el entorno que le rodea. Dentro de la edafología aparecen varias ramas teóricas y aplicadas que se relacionan en especial con la física y la química.

El estudio científico del suelo se origina en la escuela geográfica rusa. Tiene como precedente al llamado padre de la ciencia rusa; M. Lomonosov (1711- 1765), quien escribió y enseñó sobre el suelo entendido como un cuerpo en evolución más que como un cuerpo estático, pero sin diferenciarlo de un estrato geológico, sin embargo se considera fundador de la pedología al geógrafo ruso Vasily Dokuchaev (1846 – 1903), quien puso los fundamentos de la Geografía del suelo.

^{vii} **Edafización.** procesos de intemperismo y erosión mediante los cuales las rocas o sedimentos se convierten en suelo.

^{viii} **Biogeoquímica** estudia la interacción entre los compuestos geoquímicos y los organismos vivos. La biogeoquímica es necesaria para comprender el funcionamiento de los seres vivos, desde el nivel de organización celular hasta el ecosistema que conforman. Además, esta ciencia nos permite comprender el porqué de muchos de los problemas ambientales actuales (cambio climático, destrucción de la capa de ozono, contaminación), y de procesos esenciales para nuestra sociedad (producción de cultivos, reciclaje de residuos, depuración). El desarrollo de la biogeoquímica se adapta muy bien a aquellas regiones que presentan una vegetación muy densa y donde la cartografía geológica es difícil de ser llevada a cabo por ausencia de afloramientos.

El término proviene del griego “bios” que significa vida, “geos” que significa tierra y “química” la unión de estas tres ciencias desató una alianza que formó la biogeoquímica como una rama de ellas, haciendo referencia a la vinculación de la composición de la tierra (y sus elementos químicos orgánicos e inorgánicos) con la vida.

^{ix} Se denomina **horizontes del suelo** a una serie de niveles horizontales que se desarrollan en el interior del mismo y que presentan diferentes caracteres de composición, textura, adherencia, etc. El *perfil del suelo* es la ordenación vertical de todos estos horizontes.

Clásicamente, se distingue en los suelos completos o evolucionados tres horizontes fundamentales que desde la superficie hacia abajo son:

Horizontes del suelo.

- Horizonte O, "Capa superficial del horizonte A"
- Horizonte A, o zona de lavado vertical: Es el más superficial y en él enraíza la vegetación herbácea. Su color es generalmente oscuro por la abundancia de materia orgánica descompuesta o humus elaborado, determinando el paso del agua arrastrándola hacia abajo, de fragmentos de tamaño fino y de compuestos solubles.
- Horizonte B o zona de precipitación: Carece prácticamente de humus, por lo que su color es más claro, en él se depositan los materiales arrastrados desde arriba, principalmente, materiales arcillosos, óxidos e hidróxidos metálicos, carbonatos, etc., situándose en este nivel los encostramientos calcáreos áridos y las corazas lateríticas tropicales.
- Horizonte C o subsuelo: Está constituido por la parte más alta del material rocoso in situ, sobre el que se apoya el suelo, más o menos fragmentado por la alteración mecánica y la química (la alteración química es casi inexistente ya que en las primeras etapas de formación de un suelo no suele existir colonización orgánica), pero en él aún puede reconocerse las características originales del mismo.
- Horizonte D u horizonte R o [[material rocoso]]: es el material rocoso subyacente que no ha sufrido ninguna alteración química o física significativa. Algunos distinguen entre D, cuando el suelo es autóctono y el horizonte representa a la roca madre, y R, cuando el

suelo es alóctono y la roca representa sólo una base física sin una relación especial con la composición mineral del suelo que tiene encima.

^x **Transmisividad térmica:** cantidad de calor transmitido a través de un elemento constructivo, es la herramienta mas útil para el análisis del comportamiento estático. Hace referencia a la propiedad de los componentes del material.

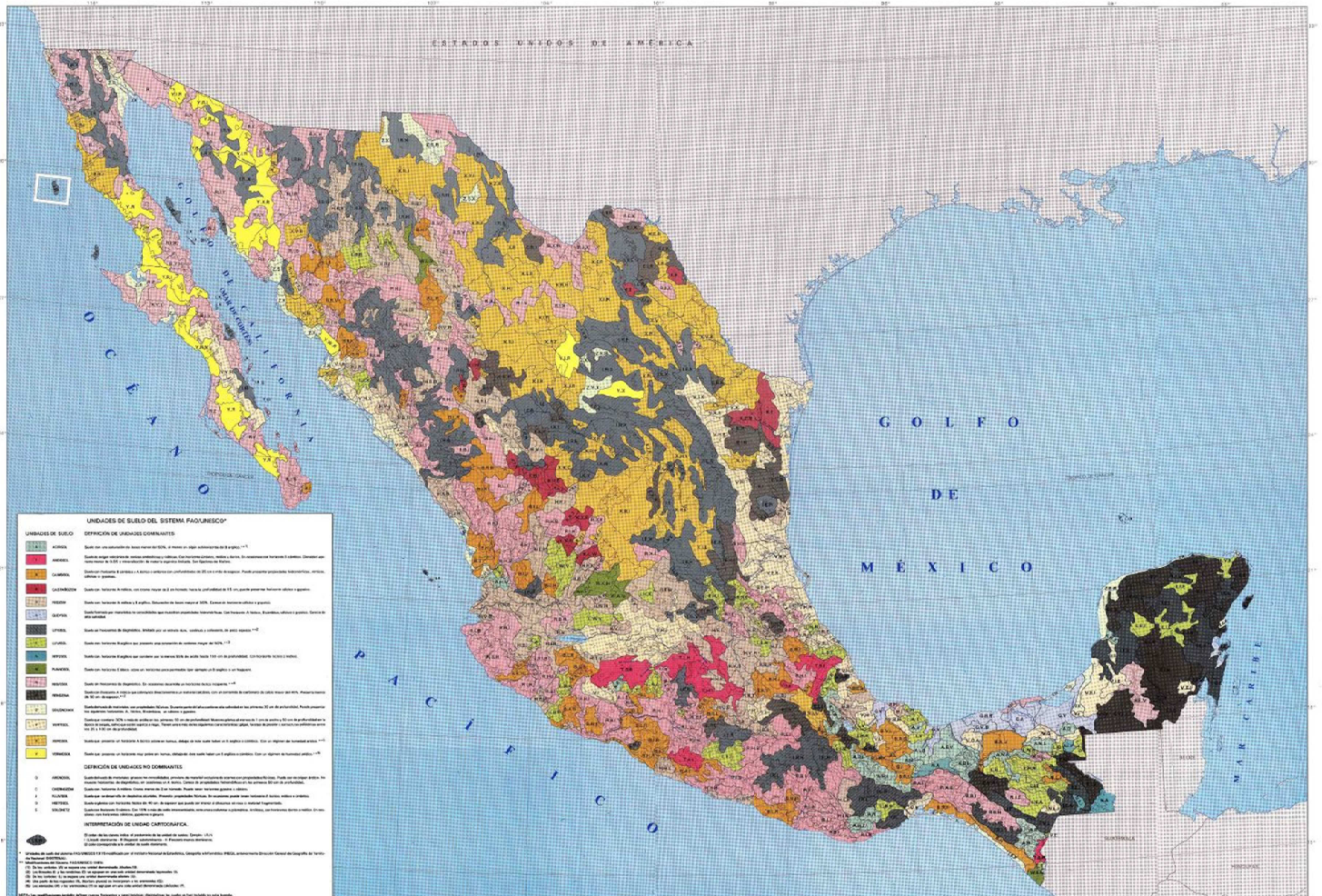
$$U=W/m^2K$$

^{xi} **Difusividad térmica (α):** caracteriza la rapidez con la que varía la temperatura del material ante una solicitud térmica, por ejemplo, ante una variación brusca de temperatura en la superficie. Se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$\alpha = k / (\rho \cdot C) \quad (m^2/s)$$

^{xii} La **termorregulación** es la capacidad del cuerpo para regular su temperatura. Los animales homeotermos tienen capacidad para regular su propia temperatura.

UNIDADES TAXONÓMICAS DE SUELOS



RECURSOS BIOTECNOLÓGICOS PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL CLIMA EN EL VALLE DE MÉXICO Y SUS APLICACIONES EN LA ARQUITECTURA.

^{xiv} La columna de Winogradsky es una demostración clásica de cómo los microorganismos ocupan "microespacios" altamente específicos de acuerdo con sus tolerancias medioambientales y sus necesidades vitales (requerimientos de carbono y energía) y que, además, ilustra cómo diferentes microorganismos desarrollan sus ciclos, y la interdependencia que llega a existir entre ellos (las actividades de un microorganismo permite crecer a otro y viceversa). Esta columna es un sistema completo y autónomo de reciclamiento, mantenido sólo por la energía de la luz.

^{xv} Una **comunidad clímax** es aquella comunidad que puede desarrollarse estable y sosteniblemente bajo las condiciones climáticas y edáficas que prevalecen en un estado avanzado de sucesión ecológica.

El clímax de una comunidad se da cuando ésta llega al estado de desarrollo estable en que hay poco crecimiento biomásico y donde los organismos están más especializados, mejor adaptados y más organizados; es decir, la comunidad está madura y hace un uso óptimo del espacio y la energía, estableciéndose un equilibrio dinámico entre los organismos y el medio ambiente. Normalmente presenta una amplia variedad de especies y nichos ecológicos. Asimismo, una comunidad madura presenta mayor tolerancia a los cambios producidos por los fenómenos naturales. En cambio, una comunidad joven, recién instalada es más susceptible a los cambios y fácilmente puede ser alterada en su composición.

^{xvi} La **Termogénesis** es la capacidad de un organismo de generar calor en debido a las reacciones metabólicas. La disipación de calor equilibra esta generación interna dando lugar a una homeostasis térmica (equilibrio térmico). A veces se define la termogénesis como la energía sobrante por encima de la consumida en el metabolismo basal. La termogénesis explica la activación del calor típica de los mamíferos.

El calor en algunos los organismos vivos surge de las características exotérmicas de las reacciones metabólicas oxidativas, esta liberación de calor tiene como efecto un aumento de la temperatura en los tejidos cercanos,