

UNIVERSIDAD DE BARCELONA
FACULTAD DE FARMACIA

DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGIA

EL SUELO EN LA REUTILIZACION DE AGUAS RESIDUALES:

MODELO LISIMETRICO DE ESTUDIO

Memoria presentada para optar al
Grado de Licenciado en Farmacia
por Catherine Vidal Ortega

Barcelona, febrero 1981

BIBLIOTECA DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA



0701740879

Esta tesina ha sido realizada bajo la autorización y dirección del Dr. D. José Cardus Aguilar.

Expreso mi agradecimiento

Al Dr. D. José Cardus Aguilar por la confianza que siempre ha depositado en mi y que, con sus valiosos consejos y orientaciones, ha facilitado mi labor.

A D. Miquel Salgot de Marçay por la ayuda que me ha brindado, sin la cual no hubiese podido llevar a cabo este trabajo.

A todos los que me han animado durante su realización.

A MIS PADRES

	Págs.
2.1.3.3.c - Porcentaje de sodio inter- cambiable y SAR	48
2.1.3.3.d - Salinidad	50
2.1.3.3.e - Nutrientes de las plantas	51
2.1.3.3.f - Elementos traza y contami- nantes	52
2.1.3.3.g - Principales análisis	55
2.2 - EFLUENTES	57
2.2.1 - PROCEDENCIA	58
2.2.2 - TOMA DE MUESTRAS	59
2.2.3 - ANALISIS	71
CORRELACIONES INTERPARAMETRICAS	72
2.2.3.1 - CARACTERISTICAS FISICAS	74
2.2.3.1.a - Color	
2.2.3.1.b - pH	
2.2.3.1.c - Conductividad	75
2.2.3.1.d - Sólidos en agua	76
2.2.3.2 - CARACTERISTICAS QUIMICAS	77
2.2.3.2.a - Cloruros	
2.2.3.2.b - Fosfatos solubles y fósforo total	78

	Págs.
2.2.3.2.c - Nitratos, nitritos, nitrógeno total y amoníaco	79
2.2.3.2.d - Sulfatos	81
2.2.3.2.e - Carbonatos y bicarbonatos	81
2.2.3.2.f - Sodio, calcio y magnesio. Salinidad	82
2.2.3.2.h - Metales pesados	84
2.2.3.2.i - Demanda química de oxígeno	85
2.2.3.3 - CARACTERISTICAS BIOLÓGICAS	86
2.2.3.3.a - Coliformes fecales	
2.3 - LISIMETROS	89
2.3.1 - GENERALIDADES	90
2.3.2. - TIPOS DE LISIMETROS	92
L.1 - CAJAS LISIMÉTRICAS	93
1.a - Definición y construcción	94
1.b - Estudios realizados: casos en la bibliografía	96
1.c - Relación de autores Microlisímetros	100
1.d - Esquemas	103
L.2 - LISIMETROS-MONOLITO	107
2.a - Definición y construcción	108

	Págs.
2.b - Estudios realizados: casos en la bibliografía	110
2.c - Relación de autores	112
2.d - Esquemas	114
L.3 - LISIMETROS DE PESADA	116
3.a - Definición y construcción	117
3.b - Estudios realizados: casos en la bibliografía	120
3.c - Relación de autores	121
3.d - Esquemas	123
L.4 - LISIMETROS DE TENSION	127
4.a - Definición y construcción	128
4.b - Estudios realizados: casos en la bibliografía	129
4.c - Relación de autores	130
4.d - Esquemas	131
L.5 - COLUMNAS LISIMETRICAS	133
5.a - Definición y construcción	134
Medidas del cilindro	135
Material del cilindro	140
Técnicas de llenado de las columnas	151
5.b - Estudios realizados: casos en la bibliografía	168
5.c - Relación de autores	170
5.d - Esquemas	171

	Págs.
2.3.3 - TIPO DE INSTALACION LISIMETRICA ELEGIDA	176
2.3.3.1 - MONTAJE	183
Altura de la columna lisimétrica	185
Volumen y peso de suelo necesario	189
Volumen de agua necesario	190
2.3.3.2 - LUGAR DE COLOCACION DE LAS COLUMNAS LISIMETRICAS	191
2.4 - VEGETACION	193
2.4.1 - CULTIVOS PRINCIPALES EN LAS ZONAS OBJETO DE ESTUDIO	194
2.4.2 - VEGETACION EN LISIMETROS	212
2.5 - PERCOLADO: TOMA DE MUESTRAS Y ANALISIS	214
3 - MODELO MATEMATICO	215
4 - CONCLUSIONES	230
5 - BIBLIOGRAFIA	232

1 - INTRODUCCION Y OBJETO DE LA TESINA

Ante la escasez y la necesidad cada día mayor de agua, se viene estudiando con interés creciente la reutilización de las aguas residuales.

En nuestro Departamento, se lleva a cabo desde hace unos años - una línea de trabajo sobre este tema, donde incluimos el presente estudio.

Este estudio sienta las bases para la realización de un posterior trabajo experimental y trata de la aplicación al suelo de las aguas residuales depuradas (efluentes), con vistas a su utilización como agua de riego y/o su tratamiento terciario.

Para ello, necesitamos un sistema capaz de permitirnos recoger el efluente aplicado tras su paso a través del suelo (percolado); por lo cual decidimos emplear unas instalaciones del tipo de las denominadas lisímetros.

Dividiremos el trabajo en 4 partes:

1) Suelos: buscaremos los que, potencialmente, podrán destinarse a dicho tratamiento e indicaremos los parámetros esenciales que deberemos determinar para conocer si los suelos son teóricamente adecuados para ello;

2) Efluentes: tras indicar los posibles lugares de obtención de los efluentes, y el procedimiento de toma de muestras, justificaremos los análisis que nos proponemos realizar tanto para per

mitirnos prever las interacciones entre los constituyentes del agua, el suelo y la vegetación, como para estudiar los cambios producidos en el percolado;

3) Lisímetros: ante la variedad existente de tipos de lisímetros, realizaremos un estudio detallado de cada tipo, que nos permitirá elegir el más adecuado para llevar a cabo nuestra investigación;

4) Vegetación: consideraremos los tipos de cultivos y aprovechamientos de las zonas con posibilidad de recibir los efluentes como agua de riego; a continuación, buscaremos el tipo de vegetación más adecuado para la instalación lisimétrica.

Con todo ello, podremos iniciar la parte experimental cuya finalidad es establecer un modelo matemático para la aplicación de aguas residuales a suelos de cultivo.

2 - MATERIALES Y METODOS

2.1 - SUELOS

2.1.1 - SUELOS PROXIMOS A LAS PLANTAS DEPURADORAS

Hemos realizado una recopilación de datos y posterior clasificación de los suelos próximos a las plantas depuradoras cuyos efluentes serán objeto de estudio para su posible reutilización.

El hecho de trabajar sólomente con suelos de la zona cercana a una depuradora, es óbvio: en el caso de demostrarse que los efluentes pueden aplicarse al terreno sin peligro y se desee realizarlo a gran escala, dichos efluentes no podrán ser transportados a mucha distancia, sino únicamente a las zonas próximas, debido a los condicionantes económicos.

Para conocer "a priori" las características de estos suelos, hemos consultado diversas publicaciones (001, 002, 003, 004, 005, 006).

A continuación, para cada depuradora, indicaremos los suelos de su zona, ateniéndonos a las clasificaciones FAO y Soil Taxonomy (USDA).

Consideraremos 9 depuradoras de la Costa Brava (Gerona) y la de Reus (Tarragona).

Depuradora de Portbou

- Cambisol cálcico (FAO)
- Eutrochrept (USDA)

Depuradora de Colera

- Cambisol cálcico (FAO)
- Eutrochrept (USDA)

- Cambisol eútrico (FAO)
- Xerochrept eútrico (USDA)

Depuradora de Llançà

- Cambisol eútrico (FAO)
- Xerochrept eútrico (USDA)

Depuradora de Port de la Selva

- Cambisol eútrico (FAO)
- Xerochrept eútrico (USDA)

Depuradora de Roses

- Cambisol eútrico (FAO)
- Xerochrept eútrico (USDA)

- Cambisol dístrico (FAO)
- Dystrochrept (USDA)

- Fluvisol calcáreo (FAO)
- Fluvent (USDA)

Depuradora de L'Estartit

- Cambisol cálcico (FAO)
- Xerochrept eútrico (USDA)

- Fluvisol calcáreo (FAO)
- Fluvent (USDA)

Depuradora de Begur

- Fluvisol calcáreo (FAO)
- Fluvent (USDA)

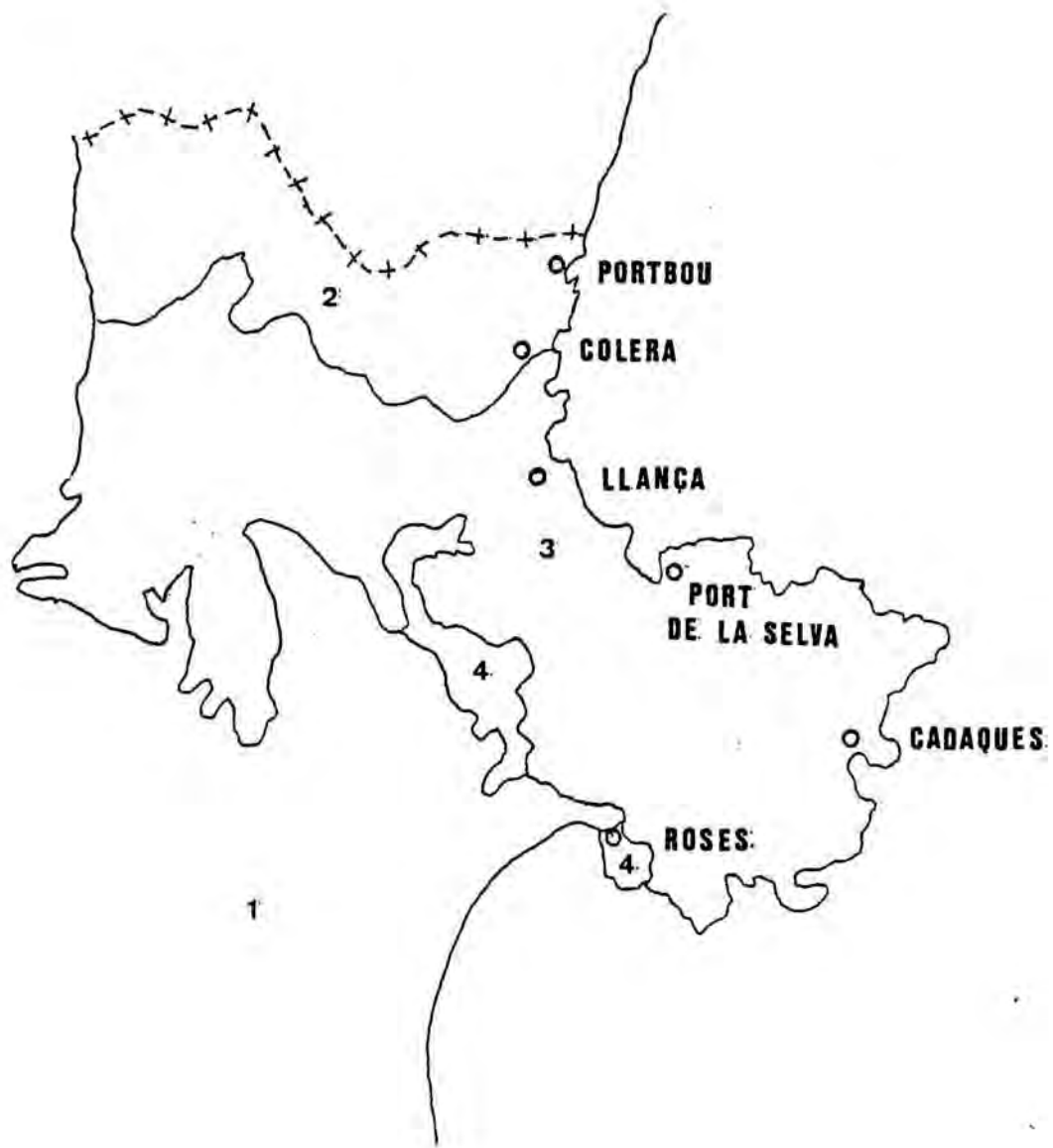
Depuradora de Blanes

- Cambisol dístrico (FAO)
- Dystrochrept (USDA)

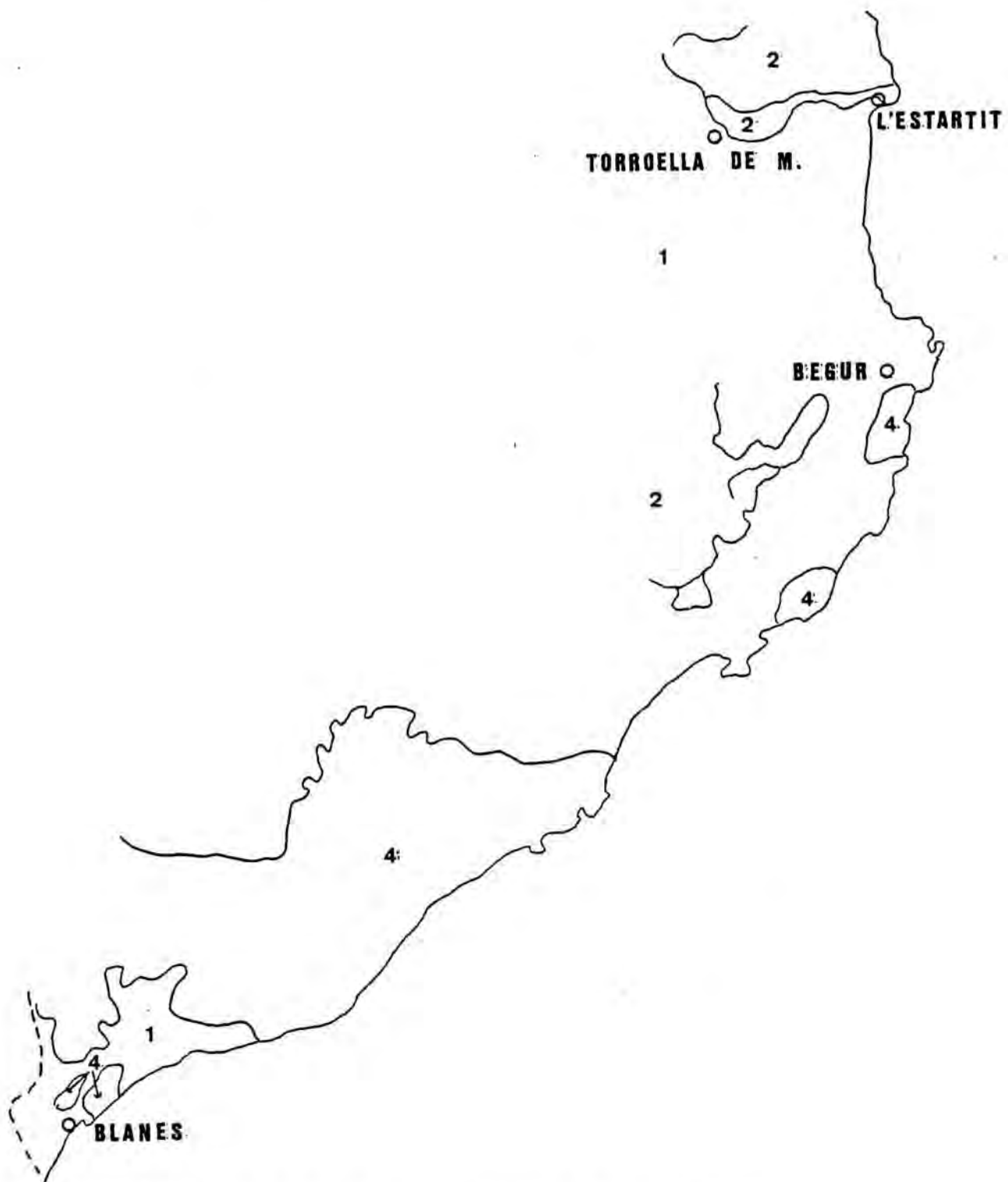
- Fluvisol calcáreo (FAO)
- Fluvent (USDA)

Depuradora de Reus

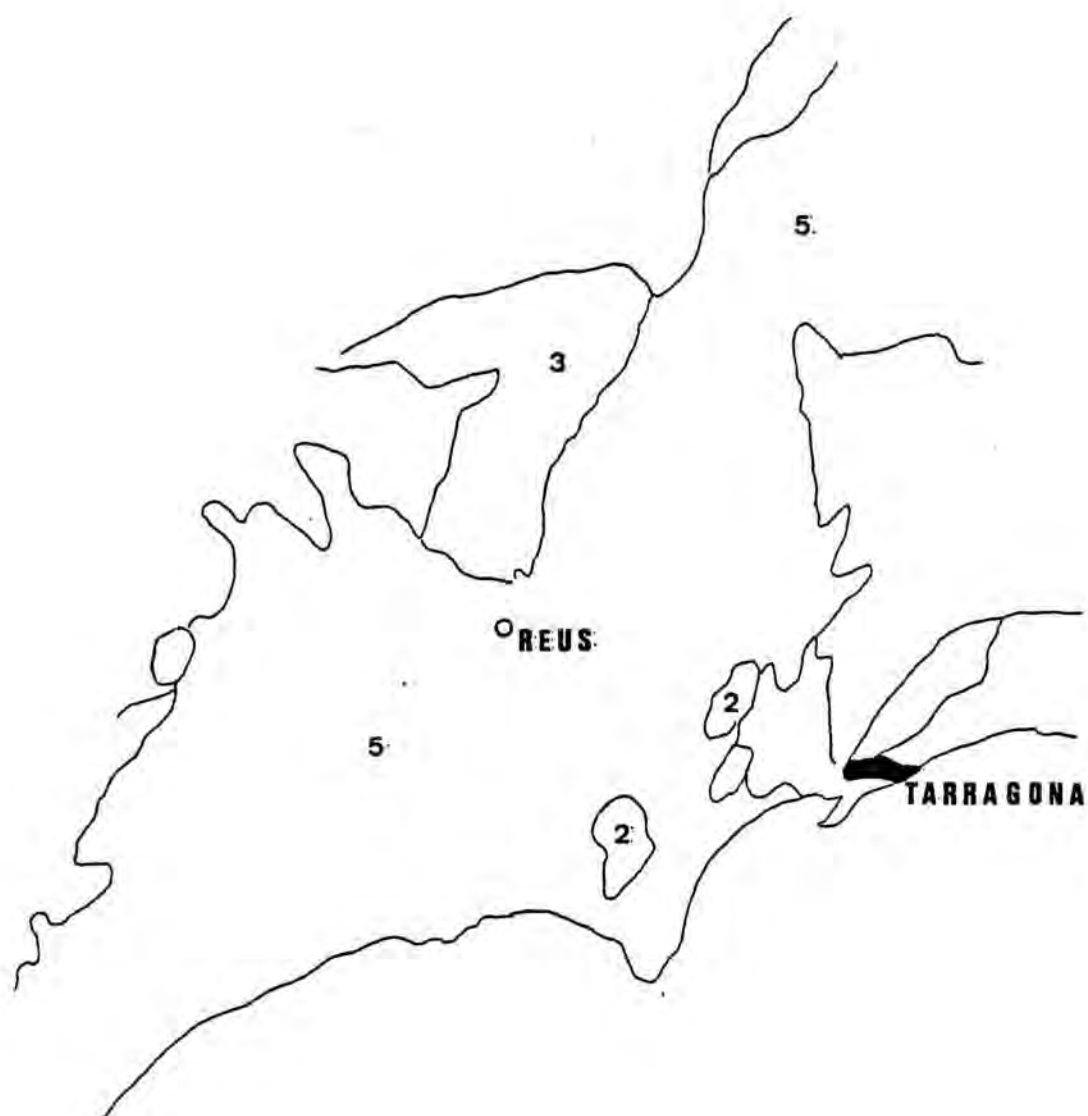
- Asociación de Fluvisoles y Cambisoles (FAO)
- Asociación de Fluvents y Eutrochrepts (USDA).



TIPOS DE SUELOS ZONA SUPERIOR COSTA BRAVA



TIPOS DE SUELOS ZONA INFERIOR COSTA BRAVA



TIPOS DE SUELOS ZONA DE REUS

LEYENDA

- 1 - Fluvisól calcáreo (FAO); Fluvent (USDA)
- 2 - Cambisol cálcico (FAO); Eutrochrept (USDA)
- 3 - Cambisol eútrico (FAO); Xerochrept eútrico (USDA)
- 4 - Cambisol dístrico (FAO); Dystrochrept (USDA)
- 5 - Asociación de fluvisoles y cambisoles (FAO); asociación de Fluvents y Eutrochrepts (USDA).

FLUVISOL CALCAREO (FAO); FLUVENT (USDA)

Este tipo de suelos presenta un perfil sin horizontes de edafogénesis diferenciados. Las variaciones que se observan corresponden a la superposición de capas de sedimentación fluvial.

El estrato superior consiste en un horizonte Ap, de aproximadamente 35 cm. de espesor, sometido a la influencia del hombre y altamente mineralizado debido al cultivo intensivo, pero bien estructurado.

Por debajo de este horizonte, se halla el resto de los depósitos aluviales, no afectados por el hombre y que puede considerarse como un horizonte C1, a pesar del hecho que las raíces de muchos cultivos penetran en profundidad dentro de esta capa. El subsuelo consiste en gravas, algo de arena y arcilla y es también estructural. Se considera como horizonte C2 y ejerce gran influencia en el drenaje de estos suelos.

Los fluvents (USDA) son entisols que tienen textura arenosa fina o muy fina en algún horizonte bajo el horizonte Ap o bajo una profundidad de 25 cm.; no muestran fragmentos de horizontes de diagnóstico que puedan ser identificados; tienen un contenido en materia orgánica que decrece irregularmente con la profundidad o se mantiene por encima del 0,2% a una profundidad de 1,25 m.; no están permanentemente saturados por agua.

Aprovechamiento:

Suelos eminentemente agrícolas, de gran productividad.

CAMBISOL CALCICO (FAO); EUTROCHREPT (USDA)

Se trata de suelos que presentan un perfil A(B)C.

El horizonte de humus es rico en materia orgánica; corresponde a un mull cálcico, con un grado de humificación bastante elevado. En suelos forestales se presenta un horizonte Aoo constituido por restos vegetales frescos y a medio descomponer. El total de los horizontes orgánicos puede alcanzar los 20-25 cm. de espesor.

Los horizontes minerales pueden alcanzar una profundidad de 60-80 cm.; su textura varía con la naturaleza de la roca; si se forma sobre areniscas, es más ligera; pero si lo hace sobre pizarras, lo que es el caso más frecuente, es limosa, con buen desarrollo de la estructura y de color pardo. Tras una pequeña transición, aparece el material originario.

El pH es siempre superior a 7, aunque raras veces sobrepasa el 7,5. El carbonato cálcico ha sido lavado en todo el perfil. Son suelos ricos en bases y elementos nutritivos; su evolución por lavado está muy atenuada por la naturaleza generalmente pizarrosa de la roca y, a veces, por la presencia de carbonatos en el perfil.

Aprovechamiento:

Son suelos eminentemente forestales cuando el material originario es caliza dura; en los otros casos, el bosque alterna con el pastizal.

CAMBISOL EUTRICO (FAO); XEROCHREPT EUTRICO (USDA)

Se trata de suelos de escasa o media profundidad, de perfil -- A(B)C, asociado a litosuelos.

En condiciones naturales, se observa por debajo de un horizonte Aoo de poco espesor, un horizonte A de humus mull, de 10-15 cm. de profundidad, grumoso, limo-arenoso, que pasa con un ligera - transición al horizonte (B), pardo claro, limoso o limo-arenoso de estructura poliédrica muy poco desarrollada e inestable.

Por debajo de este horizonte, aparece la pizarra más o menos al terada. Son suelos que se erosionan con facilidad.

Alternando con frecuencia con pizarras, se presentan bancos de cuarcitas que ocupan las zonas topográficamente superiores.

Son suelos moderadamente ácidos con valores de pH alrededor de 6 en la capa superficial y mayor en los horizontes inferiores. Sin carbonatos, el contenido en materia orgánica oscila entre - el 2 y 3%, en el horizonte A de los perfiles naturales y menos del 1% en el (B).

Aprovechamiento:

Se encuentran, en gran parte, encinas y alcornoques alternando con pastizales. Estos suelos retienen bastante bien la humedad aunque no son muy profundos; son muy pobres en P y N por lo que, abonados convenientemente, dan lugar a excelentes cosechas.

CAMBISOL DISTRICO (FAO); DYSTROCHREPT (USDA)

Se trata de suelos con un perfil A(B)C.

El horizonte A abarca entre los 5 y los 10 cm., es rico en materia orgánica y presenta descomposición lenta y humificación; el humus es de tipo mull, moder mulliforme en los suelos más ácidos. El horizonte Ao no existe, pero, en ocasiones, puede hallarse un Aoo.

El horizonte (B) alcanza los 30 cm. de profundidad.

Bajo él, puede encontrarse un (B)/C de textura areno-limosa.

Son suelos completamente descarbonatados. Están bien desarrollados sobre una base de granito.

Aprovechamiento:

Son suelos forestales, sobre todo de árboles de hoja perenne y de robles, alternando con algunas áreas aisladas de cultivo.

2.1.2 - TOMA DE MUESTRAS

El primer paso en el análisis de un suelo consiste en obtener una muestra que represente exactamente la tierra en cuestión.

Es costumbre tomar muestras de distintos puntos del campo y reunir las para formar una muestra compuesta. El número de muestras así obtenido variará con el grado de exactitud deseado (007).

Herramientas para la toma de muestras

La selección de herramientas para la toma de muestras de suelo depende de la textura y consistencia del suelo, de la presencia o ausencia de fragmentos de rocas, de la profundidad a muestrear y del grado de alteración que se desee de la superficie del suelo (008).

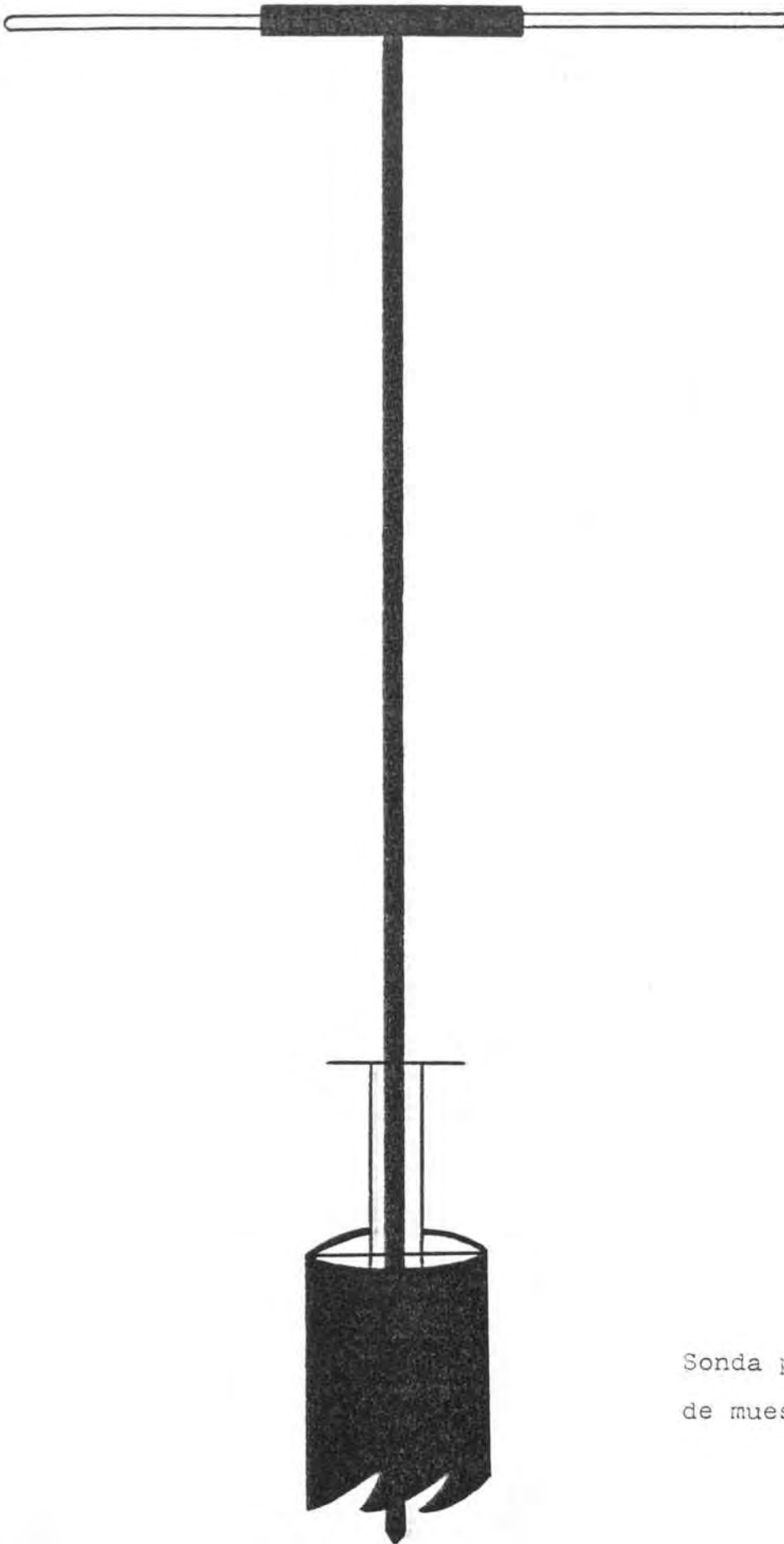
Para tomar las muestras de suelo se utiliza normalmente el método de la sonda. Esta se introduce suavemente en el suelo con ayuda de un movimiento de torsión, hasta alcanzar la profundidad requerida; se saca la herramienta y la muestra interior de tierra que se ha extraído se pasa a una bolsa. Véase pág. 18.

Cuando las muestras llegan al laboratorio, se extienden en bandejas poco profundas, para que se sequen; proceso que se puede acelerar calentando suavemente, no pasando de los 40° C (007, 008).

A continuación se separan las piedras por un tamiz de luz de malla de 2 mm; el material que no pasa por el tamiz se desmorona

suavemente en un mortero, con la ayuda de un pistilo de madera, teniendo cuidado de no romper las piedras, creta, etc., sino solamente los terrones de tierra.

El material que pasa a través del tamiz se extiende de nuevo en capas delgadas en una bandeja ordinaria, hasta que la superfi--cie tenga el mismo color que las capas inferiores. Dicho mate--rial se denomina fracción tierra fina (009) con la cual se lle--van a cabo los análisis.



Sonda para obtención
de muestras de suelo

2.1.3 - ANALISIS

El propósito general del análisis de los suelos es dar una expresión cuantitativa de la constitución y propiedades de los mismos.

Su finalidad es caracterizar el material con el cual estamos tratando (O10).

Determinaremos las características físicas, hidráulicas y químicas de los suelos, así como la presencia de nutrientes y contaminantes en ellos.

2.1.3.1 - CARACTERISTICAS FISICAS

Las propiedades físicas de los suelos incluyen como más importantes textura y estructura.

Antes de aplicar agua a un suelo deben conocerse estas propiedades debido a los importantes efectos que ejercen sobre sus características hidráulicas, como expondremos a continuación.

También trataremos de otras características físicas tales como porosidad y densidad aparente, potencial matricial y pF, capacidad de campo y punto de marchitamiento.

2.1.3.1.a - Textura

La primera información requerida acerca de un suelo es su textura.

La textura o composición granulométrica se define de acuerdo -- con la proporción de elementos del suelo, clasificados por categorías en función de su tamaño, una vez destruidos los agrega-- dos.

Las partículas elementales que se encuentran en un suelo, clasificadas por tamaños, son:

- . Gravas, fracción superior a 2 mm de diámetro
- . Arenas gruesas, de 2 mm a 0,2 mm
- . Arenas finas, de 0,2 mm a 20 micras
- . Limos, de 20 a 2 micras
- . Fracción fina o arcillas, inferior a 2 micras (011).

La determinación de la textura, además de ser útil para el conocimiento de la constitución de un suelo, es importante por la - influencia que ejerce sobre su permeabilidad y su tasa de infiltración.

Para aplicar agua a un suelo, hay que tener en cuenta que:

- . los suelos de textura fina no drenan bien y retienen grandes cantidades de agua durante largos períodos de tiempo;
- . los suelos de textura gruesa pueden aceptar grandes cantida--

des de agua y no la retienen mucho tiempo (012);

. los suelos de textura media combinan un mejor drenaje que los suelos de textura fina y una mayor retención del agua que los de textura gruesa.

Por lo tanto, para conocer el tiempo de retención teórico del agua en un suelo, interesa conocer su textura.

Un suelo de textura gruesa, debido a las propiedades que presenta, es más conveniente que los otros cuando se desea una rápida infiltración de un agua prácticamente limpia, con el fin, por ejemplo, de recargar acuíferos (013).

En el caso que se trabaje con aguas que contengan componentes tales como fósforo, metales pesados o virus, como puede ocurrir con determinados efluentes secundarios, deberá considerarse lo siguiente:

la retención de tales componentes en un suelo es función del tiempo de permanencia del agua residual en éste y del grado de contacto entre los coloides del suelo y los componentes del agua residual (012).

Los suelos que permiten un tiempo de permanencia adecuado para tal retención son los de textura fina, debido a sus propiedades expuestas anteriormente.

Las características de los suelos de textura media son las ade-

cuadas en el caso de querer utilizar estos mismos efluentes para riego, a la par que la infiltración a través del suelo sirve de tratamiento terciario.

En efecto, un suelo de textura gruesa no permite un tiempo de retención suficiente del agua para que las raíces de las plantas puedan captar el agua y nutrientes adecuadamente.

Un suelo de textura fina proporciona un contenido elevado de agua que hace que las raíces queden sumergidas, lo cual puede representar un inconveniente para ciertos cultivos.

Un suelo de textura media que proporciona un buen drenaje, pero también una cierta retención del agua, reúne las dos condiciones necesarias para nuestro propósito.

Técnica analítica:

El análisis mecánico permite determinar la textura de un suelo.

Se basa en la sedimentación de las partículas o ley de Stockes.

El procedimiento seguido es el método internacional (014).

2.1.3.1.b - Estructura

La estructura completa la noción de textura y, como ésta, es -- una característica física importante de un suelo.

Se refiere a la agregación de las partículas de un suelo, es de cir la forma con que las partículas se unen entre sí, dando lugar a unidades mayores o agregados, gracias a la presencia de - material coloidal (012,015).

Está, pues, ligada al estado de los coloides del suelo que pueden estar floculados formando parte de agregados elementales -- más o menos estables, o, por lo contrario, dispersos, como en - el caso de la estructura particular, en la cual los granos es-- tán aislados sea cual fuere su tamaño (016).

Algunos suelos, tales como los constituidos enteramente por arena no tienen estructura debido a la falta de elementos de unión (017).

La importancia de la estructura es considerable: influye en la aireación del suelo, en la resistencia a la penetración de las raíces, juega un papel contra la erosión y, finalmente y lo que más nos interesa, es su intervención en el lavado de los suelos y en su permeabilidad (016).

Por consiguiente, en cuanto se desea tener un conocimiento previo de la permeabilidad de un suelo, se debe conocer su estructura, aunque se necesite también comprobar los otros factores - influyentes sobre esta característica hidráulica (apartado 2.1.

3.2.a).

Hay que considerar que:

. los suelos con estructura grumosa, estable, se lavan poco y - su permeabilidad es elevada; sin embargo, pueden conservar re-- servas de agua en el interior de los grumos;

. los suelos con estructura dispersa, pero pobres en elementos finos ofrecen una permeabilidad media, están sujetos al lavado y están faltos de cohesión (estructura particular de grano suel to);

. los suelos con estructura dispersa, pero ricos en elementos - finos tienen una permeabilidad pequeña y el lavado es reducido como consecuencia del hinchamiento de los coloides en presencia de agua (estructura maciza o fundida) (018).

Por lo tanto, antes de aplicar un agua a un suelo deberá deter- minarse la estructura de este último, para poder deducir, según lo expuesto, su permeabilidad teórica.

Aunque a simple vista parezca que con la determinación sólo de la estructura o sólo de la textura (apartado 2.1.3.1.a), se pue- de conocer el comportamiento del agua en el suelo, esto no es - totalmente cierto, puesto que estructura y textura están rela-- cionados.

Así, por ejemplo, los suelos con materiales gruesos tienen gene- ralmente las conductividades hidráulicas más elevadas; pero una

arcilla (textura fina), bien estructurada, con buena estabilidad, puede tener una permeabilidad mayor que un suelo de textura mucho más gruesa (019).

Como conclusión acerca de la estructura y teniendo en cuenta -- que nos interesa que el agua residual permanezca retenida cierto tiempo en el suelo para su mejor depuración (tratamiento terciario de efluente secundario), es más conveniente un suelo de estructura fundida que un suelo de estructura particular y éste más que uno de estructura grumosa, considerando las propiedades de cada tipo.

Técnica analítica:

Para valorar, en el laboratorio, el estado y la estabilidad de una estructura, se puede utilizar:

- . un método directo: determinación del tanto por ciento de agregación

- . un método indirecto: medición de la porosidad (020).

2.1.3.1.c - Porosidad y densidad aparente

La porosidad es el volumen de espacios vacíos del suelo, expresado en tanto por ciento del volumen total.

Este valor se subdivide en dos partes:

. la porosidad no capilar o macroporosidad, que corresponde al volumen de los poros más gruesos (poros superiores a 8 micras) ocupados por el aire después de escurrir el agua aplicada al suelo;

. la porosidad capilar o microporosidad, que corresponde al volumen de los poros capilares que retienen el agua, después del escurrido (poros inferiores a 8 micras).

La porosidad total equivale a la porosidad no capilar más la porosidad capilar (021).

Resulta interesante determinar la porosidad total de un suelo - debido a que es una forma indirecta de conocer el estado de la estructura del suelo y de su estabilidad. Por consiguiente, la porosidad está también relacionada con las características hidráulicas del suelo.

En efecto, los suelos con estructura grumosa estable ofrecen - siempre una porosidad total elevada. Recordemos que en este caso la permeabilidad del suelo es alta.

La porosidad es mucho más pequeña en los suelos con estructura

destruída (particular o fundida). En ellos la permeabilidad es menor (apartado 2.1.3.1.b - estructura).

Así, cuanto mayores son los poros o vacíos del suelo, tanto más rápidamente fluye el agua aplicada a este suelo (porosidad no - capilar) (022).

Esta característica es importante ya que podemos deducir, según la porosidad del suelo estudiado, si el efluente secundario que aplicaremos al suelo para su tratamiento terciario y utilización como agua de riego, permanecerá retenido en el suelo mucho o poco tiempo. Recordemos que a mayor tiempo de permanencia del agua residual en un suelo, mayor depuración.

Finalmente, habrá que tener también en cuenta que existe una relación entre la tasa de infiltración del agua en un suelo con la porosidad de éste.

Una disminución en la tasa de infiltración en un suelo al aplicarle agua residual, podrá considerarse debida a la colmatación de los poros del suelo por algún constituyente del agua, aunque no sea éste el único factor posible (apartado 2.1.3.2.b - tasa de infiltración).

Densidad aparente

La densidad aparente de un suelo se define como la masa de suelo secada a estufa por unidad de volumen de suelo (g/cm^3) (023, 024).

El volumen incluye el volumen de las partículas y el volumen de vacío (aire más agua) (023).

La densidad aparente, para un tipo de suelo dado, se halla en estrecha relación con la porosidad total; si se conoce esta correlación con una precisión suficiente, es inútil medir la porosidad, pudiendo informarnos la apreciación de la densidad aparente sobre el estado de la estructura (025).

No es una propiedad constante; tiende a decrecer a medida que se hinchan las partículas de arcilla al humedecer el suelo y a incrementarse a medida que se encogen las partículas de arcilla, al secar el suelo (023).

La relación entre la densidad real, D (sólo incluye el volumen de las partículas), y la densidad aparente, d , con el espacio poroso es evidente según las siguientes consideraciones. Si el porcentaje de poros es P , entonces el volumen real de 100 cm^3 de suelo será $100 - P$; el peso será $(100 - P)D$.

La densidad aparente será, por tanto $\frac{(100 - P)D}{100} = d$

de lo cual se deduce el espacio poroso: $P = \frac{D - d}{d} \cdot 100$ (026).

2.1.3.2 - CARACTERISTICAS HIDRAULICAS

Antes de pretender verter un efluente secundario a un suelo, en un proceso de tratamiento terciario o de utilización como agua de riego, es imprescindible conocer las siguientes características hidráulicas del suelo:

- . permeabilidad
- . tasa de infiltración
- . potencial matricial y pF
- . capacidad de campo y punto de marchitamiento.

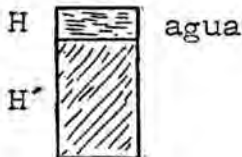
En los tres apartados anteriores, hemos comprobado que la textura, la estructura y la porosidad de un suelo ejercen gran influencia sobre sus características hidráulicas. A continuación, estudiaremos más detalladamente éstos y otros factores relacionados con ellas.

2.1.3.2.a - Permeabilidad

Aunque el término permeabilidad de un suelo ha sido ampliamente utilizado para describir la facilidad con la cual los líquidos y los gases pasan a través de él, nosotros lo consideraremos -- únicamente como sinónimo de conductividad hidráulica (027,028).

La permeabilidad se expresa por K, velocidad de filtración por unidad de pendiente.

Si se considera una columna de suelo de altura H y de sección S a través de la cual el agua fluye bajo una carga constante -- (H + H'), el caudal Q viene dado por la ley de Darcy:



$$Q = K \cdot \frac{H + H'}{H} \cdot S$$

K se expresa en metros por segundo: es la altura de la columna de agua infiltrada por segundo, cuando H' es nulo (029).

La permeabilidad se define, por lo tanto, como una constante de proporcionalidad. Sin embargo, no es una verdadera constante, -- sino una función del contenido de agua y cambia rápidamente. -- Aún bajo condiciones de contenido constante de agua, como la sa turación, K puede variar con el tiempo, debido al creciente -- hinchamiento de las partículas de arcilla, al cambio en el tama^o ño de poro debido a la ordenación de las partículas y al cambio en la naturaleza química del agua del suelo.

Sin embargo, para un suelo dado, la permeabilidad, en la satura

ción (K_s), puede considerarse constante (030).

Sobre la permeabilidad influyen:

- . textura del suelo
- . estructura del suelo
- . naturaleza iónica del agua en el suelo,

como principales factores.

Las propiedades físicas e hidráulicas de los suelos, como ya hemos mencionado, están relacionadas. La principal razón de determinar la textura y la estructura de un suelo es para conocer su capacidad hidráulica. Los detalles de esta relación pueden encontrarse en los apartados 2.1.3.1.a y 2.1.3.1.b .

El factor "naturaleza iónica del agua en el suelo" tiene importancia para nuestro trabajo si se considera que cada uno de los efluentes residuales que verteremos a los suelos tiene una naturaleza iónica distinta.

A continuación, damos una explicación de este efecto:

Las partículas de arcilla en el suelo están negativamente cargadas debido a la sustitución de átomos de valencia más baja por átomos de mayor valencia (ej. Al^{3+} por Si^{4+}) en la estructura cristalina. Debido a la carga, las partículas de arcilla se repelen unas a otras y permanecen dispersas en el suelo hasta que la carga es neutralizada por cationes procedentes del agua (031).

Por lo tanto, siempre que trabajemos con un suelo que contenga partículas de arcilla, habrá que tener en cuenta que, al aplicar agua con un contenido elevado de sales, hay suficientes cationes para anular las cargas negativas de la arcilla y producir su floculación que, a su vez, da lugar a poros mayores en el suelo y, por consiguiente, a un incremento de la permeabilidad.

El tipo de ión en el agua también afecta a la permeabilidad del suelo (031).

En efecto, la actividad de los diferentes cationes varía con su carga o su grado de hidratación: la acción floculante de los cationes bivalentes y trivalentes es mucho más enérgica que la de los monovalentes (032).

Consideremos el caso de un catión monovalente como es el Na^+ .

Un suelo con elevados porcentajes de sodio puede originar una permeabilidad reducida. Esto ocurre porque el ión Na^+ en su estado hidratado, es mucho más grande que cualquier otro ión, Ca^{2+} y Mg^{2+} , en particular.

Así, la capa de iones sodio necesaria para neutralizar las cargas negativas es demasiado gruesa para permitir que se junten y floculen las partículas de arcilla que, de este modo, permanecen dispersas. El resultado es una menor permeabilidad del suelo. Si hay cantidad suficiente de otras sales en el agua, la capa de iones sodio se suprime hasta el punto que las partículas de arcilla floculan y la permeabilidad es la adecuada (031).

Considerando lo anterior, se deduce que deberá conocerse detalladamente el contenido en sales de las aguas que pretendemos aplicar a los suelos para tener una idea de su permeabilidad, sin olvidarse de la determinación de la textura ni de la estructura.

2.1.3.2.b - Tasa de infiltración

La tasa o velocidad de infiltración del agua en un suelo es la cantidad de agua que penetra a través del suelo desde la superficie, por unidad de tiempo.

Igual que ocurre con la permeabilidad, la tasa de infiltración está afectada por la textura, estructura y porosidad del suelo.

Cualquier acondicionamiento de la superficie del suelo también la afecta (033).

Previamente a la aplicación del efluente secundario a un suelo para su posible utilización como agua de riego, es preciso conocer el contenido inicial de agua en el suelo.

Un suelo seco tiene una tasa de infiltración inicial más alta que un suelo húmedo. Esto es debido a que el agua penetra a través de fisuras y grandes poros. Con el tiempo, estos poros se colmatan y las partículas de arcilla se hinchan, disminuyendo la tasa de infiltración hasta un valor constante (033).

La tasa de infiltración también depende:

- . del tipo de riego
- . de la duración de la aplicación del agua
- . del período entre aplicaciones
- . de la calidad del efluente aplicado (034).

En este último caso es necesario conocer la naturaleza iónica - del agua por las mismas razones que ya se han estudiado en el - caso de la permeabilidad (033).

Algunos factores que tienden a reducir la tasa de infiltración son:

- . colmatación de los poros del suelo por sólidos orgánicos al - aplicar agua residual;
- . colmatación de los poros del suelo debida a crecimiento bioló - gico y a gases producidos por los microorganismos del suelo - - (034).

Por otra parte, cuando se establece la curva "tasa de infiltra - ción en función del tiempo" de un suelo al que se le aplica - - agua, se observa que esta curva está compuesta por tres fases - distintas:

1. la tasa de infiltración declina rápidamente en el período -- inicial de aplicación de agua al suelo hasta que se alcanza un mínimo;
2. se eleva luego hasta un máximo que, en la mayoría de los ca - sos es mayor que la tasa de infiltración inicial;
3. luego declina de nuevo hasta un punto en que se establece -- una tasa de equilibrio.

El decrecimiento inicial rápido de la tasa (1) se atribuye a -- los cambios estructurales en el suelo; son debidos, en parte, - al hinchamiento y dispersión del suelo seco después de humede-- cerse y, en parte, a la dispersión de las partículas de arcilla

por intercambio de iones entre el suelo y el líquido de percolación.

La fase (2) -un incremento de la tasa de infiltración- es, aparentemente, función de la disolución de los gases atrapados en la estructura del suelo en el líquido de percolación.

Finalmente, en la fase (3), la tasa disminuye bajo la acción -- continuada de las bacterias que producen polisacáridos que obturan los poros del suelo. Esta fase no existe si la investigación se lleva a cabo en columnas de suelo estériles (034).

Considerando lo anteriormente expuesto, deducimos que para poder determinar el efecto de los constituyentes del agua residual que aplicaremos a los suelos, sobre la infiltración, es necesario establecer previamente la conducta de cada suelo al -- aplicarle agua no residual y considerar los factores que controlan la tasa de infiltración (034).

Después de realizado el mismo proceso con agua residual, cualquier cambio en los resultados podrá considerarse debido a los constituyentes del agua residual aplicada.

2.1.3.2.c - Potencial matricial y pF

En el apartado sobre la porosidad indicamos que los poros capilares o microporos del suelo retienen el agua después del escurrido.

El hecho de que parte del agua del suelo pueda escapar a la acción de la gravedad significa que su energía libre ha disminuido con relación a la del agua libre.

Se llama potencial matricial a esta disminución de energía que es debida a fenómenos tales como acciones capilares, presión osmótica, efectos de adhesión, presión debida a la curvatura, etc.

Dicho de otra manera, el potencial matricial es la presión negativa con la que el agua está retenida por las partículas del suelo.

Este potencial matricial, cuya notación es Ψ , se expresa en g/cm^2 . (035).

El potencial matricial tiene importancia por su relación inversa con la permeabilidad que, recordemos, interesa conocer antes de querer aplicar al suelo agua residual.

La permeabilidad de suelos arenosos, aunque sea mucho mayor que la de los suelos limosos en el estado de saturación (potencial matricial = 0) decrece más rápidamente a medida que el potencial matricial se vuelve negativo. Así, en muchos casos, la permeabilidad de suelos arenosos es menor que la de suelos de

textura media. Esto explica el porque un frente de agua se mueve más despacio en suelos arenosos que en suelos de textura media o fina después de detener el riego (036).

El potencial matricial también está relacionado con las propiedades físicas del suelo.

Los suelos de textura gruesa (arenosos), que tienen poros grandes de un mismo tamaño drenan prácticamente toda el agua, para un potencial matricial muy pequeño. Por otra parte, los suelos de textura media con una porosidad y una variedad de tamaños de poro mayores que las arenas, retienen más agua que éstas, en el estado de saturación y la drenan mucho más gradualmente a medida que aumenta el potencial matricial (037).

El potencial matricial puede tomar valores muy elevados; por ello se expresa por su logaritmo cuya notación es pF:

$$pF = \log \Psi$$

El contenido en agua del suelo, para un pF dado, depende enormemente de su constitución: estructura, contenido en materia orgánica y en sesquióxidos. Sin embargo, el comportamiento del agua en el suelo y sus relaciones inmediatas con las plantas dependen esencialmente del pF. De ahí la necesidad de conocer las -- curvas de pF (pF = f(contenido en agua en % del peso de materia seca)) cuando se desea estudiar un sistema suelo/planta/agua. -- Este es nuestro caso puesto que pretendemos aplicar agua resi-- dual a suelos con vegetación.

Fenómeno de histéresis

A un mismo contenido en agua pueden corresponder dos valores - de pF en un suelo, según que esté en vías de desecación o de humidificación, siendo el más elevado el pF correspondiente a la fase de desecación.

La mayor parte de las técnicas de medida del pF sitúan el suelo en fase de desecación, lo que es normal si se piensa que uno de los fines principales del estudio de las relaciones del agua y el suelo es prever la utilización de las reservas por las plantas (038).

La técnica analítica que nosotros seguiremos para determinar el pF de los suelos mide el contenido en agua de la muestra de suelo problema por desecación. Esta técnica se llama técnica de Richards y utiliza un extractor de presión-membrana, tal como se indica en el manual de Edafología de Duchaufour (038).

2.1.3.2.d - Capacidad de campo y punto de marchitamiento

La capacidad de campo y el punto de marchitamiento son dos valores particulares del contenido en agua del suelo.

Antes de pasar a definirlos, indicaremos los distintos estados del agua del suelo:

. agua higroscópica: es el agua absorbida por el suelo a expensas de la humedad atmosférica; forma una delgada película alrededor de las partículas del suelo, está enérgicamente retenida por éstas y no es susceptible de ningún movimiento; no es absorbible por las raíces;

. agua capilar no absorbible: llena los espacios capilares más finos del suelo. Esta agua circula difícilmente en el suelo y todavía es retenida demasiado enérgicamente para poder ser absorbida por las plantas;

. agua capilar absorbible; es el agua retenida por el suelo escurrido, que llena los poros de tamaño intermedio. Constituye la fuente esencial de la alimentación en agua de las plantas durante la estación seca. Es susceptible de moverse por difusión capilar;

. agua de gravitación: corresponde al agua que llena momentáneamente - después de los períodos de lluvia o el riego- los poros más gruesos del suelo. Obedece a la gravedad y fluye tanto más rápidamente cuanto mayor es el volumen de los poros más gruesos (porosidad no capilar) (039).

Después de una fuerte precipitación o de un riego, el agua tiene una velocidad de drenaje rápido (agua de gravitación). Luego esta velocidad decrece. En este momento, se dice que el suelo ha alcanzado la capacidad de campo (037). El agua que subsiste después de la primera fase de drenaje se llama agua de gravitación de flujo lento y la humedad del suelo correspondiente se llama capacidad de campo (040).

En ausencia de fenómenos de evaporación o transpiración puede alcanzarse la capacidad de campo en pocas horas en suelos puramente arenosos; en suelos de textura gruesa se necesitan de dos a tres días, en suelos de textura media y fina, una semana o más y en arcillas mal estructuradas, mucho más tiempo (037).

La capacidad de campo presenta un interés agronómico evidente puesto que determina las reservas de agua del suelo utilizables por las plantas (agua capilar absorbible), las cuales nos interesa conocer debido a que los suelos a los que aplicaremos agua residual depurada tendrán vegetación.

Punto de marchitamiento

Es la cantidad de agua que corresponde al límite inferior del agua capilar absorbible por las raíces; cuando se alcanza este límite, el vegetal se marchita rápidamente debido a que el suelo no puede suministrar a las plantas agua con la suficiente rapidez para compensar las pérdidas por transpiración (041,042).

El punto de marchitamiento es independiente de la planta y caracteriza, por lo tanto, el tipo de suelo. Corresponde a un pF

de 4,2-

El contenido en agua en el punto de marchitamiento es tanto más elevado cuanto mayor es la superficie de las partículas del suelo. Es mayor para suelos arcillosos que para suelos de textura gruesa (041).

Otros datos a tener en cuenta son:

. existe una diferencia relativamente pequeña en el contenido - en agua del suelo entre el punto en el que se alcanza la capacidad de campo y en el que se llega al punto de marchitamiento, - para los suelos arenosos; la diferencia es bastante grande en - el caso de los suelos de textura media y fina;

. en los suelos de textura gruesa se alcanza muy rápidamente el punto de marchitamiento con pequeños cambios en el contenido en agua del suelo. Así, las plantas que crecen en tales suelos pueden presentar síntomas de marchitamiento casi repentinamente. - Los suelos de textura media y fina alcanzan más gradualmente el punto de marchitamiento y las plantas muestran signos graduales de marchitarse (043).

Por consiguiente, deberán determinarse los valores de capacidad de campo y punto de marchitamiento para poder evaluar las posibilidades de alimentación en agua de las plantas, para cada suelo con vegetación al que aplicaremos efluentes depurado como - agua de riego.

2.1.3.3 - CARACTERISTICAS QUIMICAS

La composición química del suelo es el principal factor que - -
afecta al crecimiento vegetativo y que determina la capacidad -
del suelo para renovar el agua residual.

Las propiedades químicas más importantes del suelo incluyen:

- . pH (actual y potencial)
- . capacidad de intercambio catiónico
- . porcentaje de sodio intercambiable y SAR
- . salinidad
- . nutrientes de las plantas
- . elementos traza y contaminantes (044).

Analizaremos igualmente:

- . nitrógeno total
- . carbonatos
- . materia orgánica
- . fósforo asimilable
- . calcio y magnesio asimilables
- . potasio asimilable.

2.1.3.3.a - pH

El pH del suelo es un parámetro muy útil porque es de determinación fácil e indica las condiciones del suelo. Una acidez o alcalinidad elevada puede convertir un suelo en estéril y destruir su estructura (044).

Por debajo de un pH de 6,5, la capacidad de los suelos para retener metales se reduce significativamente; un suelo con pH superior a 9,5 indica generalmente un contenido elevado de sodio y posibles problemas de permeabilidad. Si las aguas residuales aplicadas a los suelos contienen concentraciones elevadas de sodio, el pH del suelo puede incrementarse a largo término (045).

Hay que distinguir entre la acidez actual y la total o potencial.

pH actual: nos da la concentración de iones H^+ actualmente disociados en el suelo en solución. Se determina añadiendo agua hasta consistencia pastosa.

pH potencial: se determina mediante KCl 1N, el cual extrae todos los elementos intercambiables de la muestra de suelo. El ión K^+ desplazará los iones H^+ del suelo que sean desplazables, lo cual hará disminuir el pH del medio; por lo tanto, este pH nos dará una idea de la concentración de H^+ posible del suelo.

El pH potencial generalmente es inferior al pH actual.

El pH del suelo se determina mediante un pHmetro, generalmente

constituido por dos electrodos, uno de vidrio y otro de referencia, de calomelanos (046).

Para comprobar los efectos de distintos valores de pH actual en los cultivos, véase la tabla 1 página 53 .

2.1.3.3.b - Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CEC, del inglés "Cation Exchange Capacity") es la cantidad de cationes intercambiables que el suelo es capaz de adsorber (044).

La cantidad de iones intercambiables depende de:

- 1) el tipo de arcilla
- 2) el porcentaje de arcilla
- 3) el contenido de coloides orgánicos (047).

Nos interesa determinar la CEC ya que es una medida de la reactividad química del suelo y es, generalmente, una indicación de la efectividad del suelo en la adsorción de contaminantes catiónicos del agua residual tales como metales pesados.

Los suelos con grandes cantidades de arcillas y materia orgánica tendrán mayor capacidad de intercambio que los suelos arenosos con bajo contenido en materia orgánica.

Hay que tener en cuenta también que la CEC varía con el pH del suelo (044).

La CEC se expresa en meq/100 g de suelo.

Véase la interpretación de valores distintos de la CEC, en la tabla 1 pág. 53.

Para la determinación de la CEC utilizaremos el método de percolación con acetato amónico N, indicado por Duchaufour (048).

2.1.3.3.c - Porcentaje de sodio intercambiable y SAR

El porcentaje de CEC ocupado por el sodio intercambiable se denomina porcentaje de sodio intercambiable (ESP, del inglés "Exchangeable Sodium Percentage") y es importante en el mantenimiento de la permeabilidad del suelo (049).

Se considera que un suelo es sódico cuando el ESP excede del 15%. Tales niveles de sodio provocan dispersión de las partículas de arcilla en el suelo debido a la naturaleza química del ión sodio. Las partículas de arcilla dispersadas originan una baja permeabilidad del suelo, una aireación pobre y dificultades en la emergencia de las semillas (050).

Este es un dato a tener en cuenta a la hora de elegir los suelos más adecuados para la realización de nuestro trabajo experimental. No nos interesarán aquellos que posean un ESP demasiado elevado.

Estos problemas citados anteriormente, también dependen de la textura del suelo. Un suelo de textura fina puede estar afectado por un ESP superior a 10%, en cambio uno de textura gruesa puede no estarlo un valor del ESP del 20% (050).

Véase la tabla 1 pág. 53.

Partiendo de determinaciones empíricas, el "U.S. Salinity Laboratory Staff" (051) obtuvo una ecuación que permitía determinar los valores de ESP basados en los valores de SAR de un agua en equilibrio con este suelo. La expresión de la fórmula es la siguiente:

$$ESP = \frac{100 a + b(SAR)}{1 + a + b(SAR)}$$

siendo $SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$ (concentraciones en meq/l)

a: convención representando el error experimental

b: pendiente de la recta de regresión.

Estas dos constantes fueron determinadas estadísticamente por diferentes investigadores, que encontraron que "a" era del orden de -0,06 a 0,01 y "b" era del orden de 0,014 a 0,016. Esta relación puede visualizarse gráficamente en un nomograma que permite pasar de un valor a otro (de SAR a ESP y viceversa) (051,052). Este nomograma puede consultarse en un gran número de publicaciones, pero es el mismo relacionado por el "U.S. Salinity Laboratory" (051).

2.1.3.3.d - Salinidad

Es interesante conocer la salinidad de un suelo debido a que la existencia de sales en la solución de suelo restringe el crecimiento vegetativo.

El nivel de salinidad de un suelo se mide generalmente por la conductividad eléctrica del extracto salino del suelo (relación suelo/agua de 1/5) (053,054).

Se denominan suelos salinos aquellos cuya conductividad eléctrica es superior a 4.000 micromhos/cm, a 25° C (053).

Los efectos provocados en los cultivos por distintos valores de salinidad vienen indicados en la tabla 1 pág. 53.

2.1.3.3.e - Nutrientes de las plantas

Los nutrientes esenciales para las plantas, además de C, H y O, incluyen N, P, K, S, Mg, Ca, Fe, Zn, Cu, Mn, Mo, Cl y B. El Na y el Co son necesarios para algunas plantas.

Macronutrientes

Así se denominan los elementos N, P, K, S, Mg y Ca debido a que son necesarios en cantidades altas.

Micronutrientes

Son los elementos Fe, Zn, Cu, Mn, Mo, Cl, B, Na, Co (estos dos últimos en ciertas ocasiones); la falta de alguno de ellos afecta negativamente al crecimiento vegetativo.

Los objetivos del análisis de los suelos en cuanto a nutrientes de las plantas son principalmente el indicar el estado de fertilización de un suelo y, por consiguiente, recomendar el fertilizante necesario para la producción de un determinado cultivo -- (053).

2.1.3.3.f - Elementos traza y contaminantes

Los elementos traza son aquellos que se encuentran en los suelos en concentraciones inferiores al mg/l, y normalmente a los 100 microgramos/litro.

Los micronutrientes de las plantas que hemos citado en el apartado anterior son indispensables en estado de trazas; por ejemplo, algunos son imprescindibles para la actividad de ciertas vitaminas (055); pero, por el contrario, una concentración excesiva puede ejercer un efecto tóxico (fitotóxico), principalmente una concentración excesiva de B, Zn, Cu y Mn (053).

En el suelo, además, pueden existir ciertos elementos que no son nutrientes, sino contaminantes. Citaremos el Pb que puede hallarse en los suelos procedente de la combustión de la gasolina de los automóviles (056). Otros elementos contaminantes son: As, Cd, Hg y Cr (053).

La determinación de los metales pesados en los suelos se realizará por espectrofotometría de absorción atómica (057).

INTERPRETACION DE PRUEBAS QUIMICAS DE SUELOS (058)

TABLA 1

<u>Resultado de la prueba</u>	<u>Interpretación</u>
<u>pH</u> inferior a 4,2	Demasiado ácido para la mayoría de cultivos
4,2 - 5,5	Adecuado para los cultivos que toleran la acidez
5,5 - 8,4	Adecuado para la mayoría de cultivos
superior a 8,4	Demasiado alcalino para la mayoría de cultivos; indica un posible problema de exceso de sodio
<hr/>	
<u>CEC</u> (meq/100 g)	
1 - 10	Suelos arenosos (adsorción limitada)
12 - 20	Suelos limosos (moderada adsorción)
superior a 20	Suelos arcillosos y orgánicos (elevada adsorción)
<hr/>	
<u>Cationes intercambiables</u>	
% de la CEC (valores deseables)	
Sodio	Inferior o igual a 5
Calcio	60 - 70
Potasio	5 - 10

ESP

% de la CEC

inferior a 5

Satisfactorio

superior a 10

Permeabilidad reducida en suelos de textura fina

superior a 20

Permeabilidad reducida en suelos de textura gruesa

Salinidad

Conductividad eléctrica

(micromhos/cm, a 25° C)

inferior a 2.000

Sin problemas de salinidad

2.000 - 4.000

Restringe el crecimiento de los cultivos muy sensibles a las sales

4.000 - 8.000

Restringe el crecimiento de muchos cultivos

8.000 -16.000

Restringe el crecimiento de todos los cultivos excepto de los que toleran las sales

superior a 16.000

Sólo unos pocos cultivos que toleran las sales producen rendimientos satisfactorios.

2.1.3.3.g - Principales análisis

Nitrógeno total

Lo determinaremos mediante el método de Kjeldhal (059,060,061).

Carbonatos

Los determinaremos mediante el método del calcímetro de Bernard (009,061,062,063,064).

Materia orgánica

La determinaremos mediante el método de Walkley-Black (051,061,065,066).

Fósforo asimilable

Lo determinaremos mediante el método de Osmond-Bray (067,009, - 061).

Calcio y magnesio asimilables

Los determinaremos por complexometría, previa extracción con NH_4OAc (067,068,009,061).

Potasio asimilable

Lo determinaremos mediante fotometría de llama, previa extracción con NH_4OAc (067,068,009,061).

Fecha de la observación

Autores

Características generales: Altitud
 Forma del terreno
 Pendiente
 Vegetación y uso de la tierra
 Clima

Tipo de perfil

ANALISIS Fecha:

PARAMETROS	VALORES
a. Físicos Textura Estructura Porosidad/densidad aparente	
b. Hidráulicos Permeabilidad Tasa de infiltración Valores para la curva de pF	
c. Químicos pH CEC ESP SAR Salinidad (conductividad eléctrica) N total P asimilable K asimilable Ca y Mg asimilable Materia orgánica Carbonatos Otros	
OBSERVACIONES	

2.2 - EFLUENTES

2.2.1 - PROCEDENCIA

La procedencia de los efluentes depurados que aplicaremos a los suelos como agua de riego o en un proceso de tratamiento terciario, no ha sido decidida todavía en el momento actual de nuestro trabajo.

La elección estará condicionada por la facilidad de obtención de las muestras, y, a ser posible, por las características casi exclusivamente urbanas de las aguas residuales, lo que eliminará bastantes factores de incertidumbre (069).

Un trabajo previo de nuestro Departamento (069), ha sido realizado con los efluentes de 9 depuradoras de aguas residuales urbanas ubicadas en la Costa Brava, provincia de Gerona. Begur, Blanes, Cadaqués, Colera, L'Estartit, Llançà, Portbou, Port de la Selva y Roses son las poblaciones a las que pertenecen las depuradoras cuyos efluentes han sido estudiados.

Para nuestra investigación tenemos la opción entre estas 9 depuradoras (alguna o todas) y otras dos, también en la provincia de Gerona, de nueva construcción, las de Tossa de Mar y Figueres. En la provincia de Tarragona, tenemos también la depuradora de Reus.

2.2.2 - TOMA DE MUESTRAS

Debemos considerar la forma en que tomaremos las muestras de efluente para su posterior análisis en el laboratorio.

Las muestras pueden ser:

. sencillas o individuales: muestras tomadas en un tiempo y en un lugar. Teóricamente representan sólo la composición de la fuente en ese tiempo y lugar. Sin embargo, si se posee la certeza de que dicha fuente es usualmente invariable durante un tiempo considerable, puede ampliarse su representatividad.

Como ejemplo, están los efluentes de depuradoras de aguas residuales;

. compuestas: en general, se refieren a mezclas de muestras sencillas tomadas en distintos tiempos, en el mismo lugar. Normalmente se utilizan aparatos automáticos para su obtención, pero son de elevado costo;

. integradas: formadas con las muestras tomadas en un mismo tiempo, pero en lugares distintos.

Nos decidimos por las primeras, considerando que el tiempo de retención del agua en la depuradora es suficiente para uniformar las variaciones que se pueden detectar en el agua de entrada.

Sin embargo, y para eliminar los efectos que podría producir la toma de muestras en distinto día de la semana y a distinta hora se procederá a uniformar las tomas de muestras, efectuándolas - en el mismo día y en la misma hora aproximada, excepto si nos - viéramos obligados a cambiar el día de toma de muestras por imperativos ajenos a nuestra voluntad.

Será imprescindible llevar un registro de las muestras una por una, especificando las condiciones de muestreo (día, hora, incluso contratiempos que pudieran suceder) y las características necesarias para una identificación cierta de la muestra con posterioridad, así como cualquier dato que creamos necesario.

Todas las muestras serán tomadas a la salida de los decantado--res secundarios de las plantas depuradoras (ver diagrama pág. - 62). En ningún caso se tomarán muestras cloradas.

En cuanto a la manipulación de las muestras, éstas no deberán - deteriorarse durante la toma ni durante el transporte hasta el laboratorio ni durante la conservación hasta el momento en que las analicemos.

Una vez ya decidida la manera de proceder a la toma de muestras deberemos calcular los volúmenes necesarios para los análisis y los tipos de recipientes. Para algunos casos también será necesario determinar el tipo y la cantidad de conservador que ten--dremos que añadir al tomar ciertas muestras, para garantizar -- que lleguen al laboratorio en las condiciones más similares posible a las del momento de la toma. En otros casos convendrá esterilizar la muestra para evitar la acción de los microorganismos.

mos sobre algunos de los componentes o bien enfriarla para cumplir el mismo propósito.

En la tabla 2, indicamos, según el parámetro a determinar en el efluente depurado, el volumen de muestra necesario (en ml), el tipo de recipiente, el tipo de conservador cuando ello sea preciso y el tiempo máximo que podrá transcurrir hasta el análisis (070,071,072,073,074,075,076).

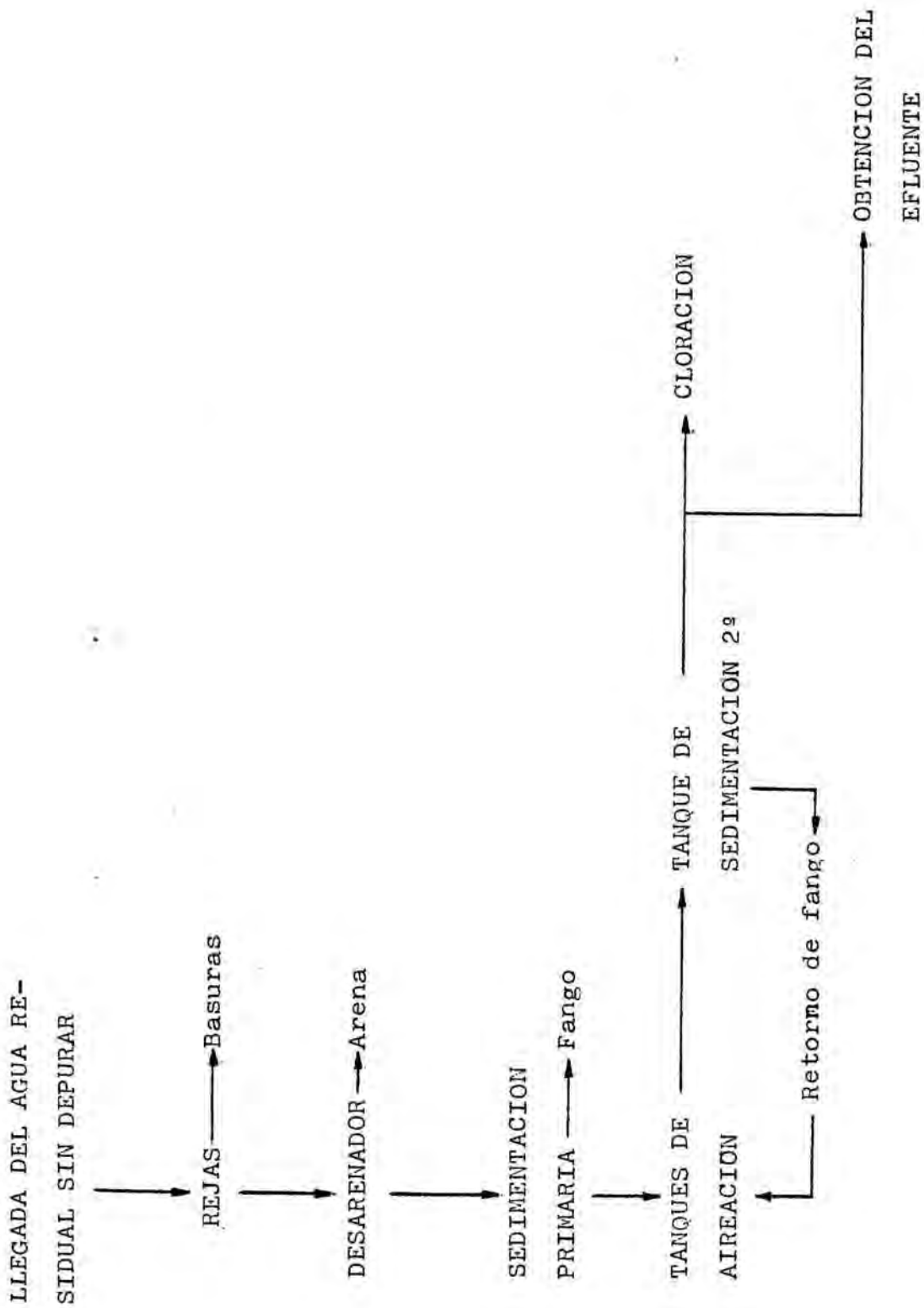


Diagrama de flujo de una planta típica de tratamiento
fangos activados (077).

PARAMETRO A DETERMINAR	VOLUMEN (ml)	RECIPIENTE	CONSERVADOR	TIEMPO MAX. ANALISIS
Alcalinidad	300	P, V (B)	4°C	24 h
Boro	500	P	---	---
Cloruros	100	P, V	(2)	7 días
Color	500	V	---	---
Conductividad	50	P, V	4°C	48 h/medida preferible "in situ"
Microbiología	500 (1)	P, V (estéril)	4°C	48 h
DOO	100-500	P, V	(4)	7 días
Fosfatos	100	V (A)	4°C/-10°C y/o (3)	disueltos: separar inme- diat. filtrando. 6 días
Fósforo	50	V (A)	4°C (3) o (5)	6 días
Metales (por absorción atómica)	(1)	P, V	(6)	6 meses a 1 año
Nitrógeno nitritos	100	P, V	4°C/-20°C y (3)	24 h
nitratos	100	P, V	4°C (4)	24 h
orgánico	500	P, V	4°C (4)	24 h
amoniacal	500	P, V	4°C	24 h
pH	50	P, V	4°C	24 h/medida preferible "in situ"
Residuo seco	100/1000	P, V (B)	---	Agitar antes
Sodio	50	P	---	7 días
Sulfatos	100	P, V	4°C	7 días

TABLA 2

Signos empleados:

P = plástico

V = vidrio

(A) = vidrio limpiado con HNO_3 1:1

(B) = vidrio borosilicatado

(1) según método empleado

(2) innecesario

(3) H_2O_2 40 mg/l

(4) H_2SO_4 hasta pH = 2

(5) cloroformo 5 ml/l

(6) HNO_3 5 ml/l

Vista la cantidad de análisis a realizar, agrupamos las muestras para permitirnos reducir al mínimo el número de recipientes y sus conservadores.

Grupo de muestras sin conservador:

- . determinaciones microbiológicas
- . cloruros
- . conductividad
- . pH
- . residuo seco
- . sólidos en suspensión
- . sulfatos

Todas estas determinaciones podremos efectuarlas con una muestra tomada en botella de cristal, conservada a 4°C, no representando ningún problema que la botella sea estéril. Se tomará un volumen de muestra de 2500 ml. volumen superior al total necesario, pero útil en el caso de tener que repetir algún análisis. Será tomada en botella de vidrio esteril.

La esterilización se efectuará al horno Pasteur durante 2 horas a 160°C, en vez de 1 hora a 180°C, puesto que se ha comprobado que las botellas sometidas a varias esterilizaciones a 180°C, pueden mostrar cierta fragilidad (069).

Tampoco será necesario conservador para boro y sodio, sin embargo, en este caso, no podrán utilizarse botellas de vidrio por peligro de contaminación de la muestra. Se tendrán que tomar --

muestras separadas en botellas de cloruro de polivinilo (PVC), bien lavadas y secadas convenientemente en estufa a 40° C. Se hará el lavado con agua destilada sin detergente, puesto que los detergentes del comercio contienen cantidades de boro suficientes para falsear los resultados.

La cantidad necesaria será de 600 ml en total, pero tomaremos 1.000 ml por las mismas razones que el caso anterior.

Grupo de muestras con conservador

- . DOO
- . nitratos
- . nitrógeno orgánico y amoniacal

requieren adición de ácido sulfúrico hasta $\text{pH} = 2$. El volumen total necesario será de 1 litro. Se utilizarán botellas de vidrio de buena calidad de 250 ml de capacidad.

Basándose en las experiencias previas, calculamos que la cantidad necesaria para alcanzar el pH de 2 en la muestra es de 0,8 ml de H_2SO_4 reactivo por litro de muestra. Por ser las botellas en que emplearemos este conservador de 250 ml la cantidad total de sulfúrico concentrado será de 0,2 ml. Para no tener que pipetear cantidades tan reducidas ni transportar sulfúrico concentrado, se diluirá éste con agua destilada hasta 5 ml. El error introducido, 5 ml sobre 250, será del 2%, lo que tendremos en cuenta al efectuar los cálculos.

. Nitritos

requieren adición de $HgCl_2$, 40 mg/l. Se seguirá el mismo criterio empleado para el sulfúrico, diluir la cantidad necesaria en agua hasta 5 ml. para las muestras de 250 ml. También se calculará el error del 2% en los resultados analíticos.

. Fosfatos y fósforo total

requieren conservador, igual que el anterior. Se usarán idénticas botellas de vidrio.

. Metales

requieren adición de HNO_3 , 5 ml/l. Para poder reducir el número de botellas, la muestra para metales se extraerá al llegar al laboratorio, lo cual nos evitará además el transportar tantos conservadores. Al llegar se añadirá la cantidad necesaria de HNO_3 , que será, para las botellas de 150 ml. empleadas en el laboratorio, de 0,75 ml. No será necesario hacer diluciones del reactivo.

Todas las botellas serán identificadas inmediatamente después de tomar la muestra. La identificación se efectuará por duplicado:

mediante una etiqueta autoadhesiva, tapada con cinta plástica autoadhesiva transparente, en la que irá rotulado lugar y fecha de la toma. Al mismo tiempo, y en el registro del cual ya hemos tratado se anotará fecha y lugar, asignando a cada botella un

número.

En los tapones, y con rotulador resistente al agua, se rotulará el número asignado a la botella, el lugar y fecha de la toma.

Esta forma de proceder (por duplicado), se seguirá para evitar riesgos tales como que la etiqueta de la botella se moje quedando las indicaciones no legibles. En un caso así, tendremos las del tapón. Podría ocurrir que se perdiera el tapón, pero nos quedarían las indicaciones de la etiqueta.

Las botellas se transportarán en neveras portátiles convenientemente rotuladas.

El frío se asegurará con bolsas refrigerantes de plástico rígido, colocadas en el congelador de un frigorífico dos días antes de ser utilizadas.

Todas las botellas serán tapadas con tapones de plástico rígido mantenidas en alcohol hasta el momento de la toma de muestras. Luego, para evitar interferencias del alcohol, se airearán y lavarán tres veces con el agua a muestrear.

Las botellas se llevarán hasta el lugar de la muestra en las mismas condiciones en que serán esterilizadas, es decir con papel de aluminio sujeto con un cordel tapando la boca del recipiente; se destaparán en el mismo momento de proceder a la operación de muestreo.

Antes de proceder al llenado definitivo de las botellas, éstas se enjuagarán con la misma agua a muestrear, dos veces, tras lo cual se llenarán procurando hacer mínima la cantidad de aire - en el interior de la botella.

El conservador, transportado en una botella aparte, se introducirá en la botella de muestra después de los enjuagues, y antes de la toma, para asegurar una buena mezcla, agitando ligeramente después de la operación.

Para la determinación del color, tomaremos una muestra en una botella de 500 ml. Compararemos su color con una escala especial de colores.

Consideramos aparte la toma de muestras para la posterior determinación de carbonatos y bicarbonatos: deberá realizarse con -- precaución para evitar la pérdida de CO_2 ; deberá protegerse de cambios de temperatura y analizarse lo antes posible. Las botellas se llenarán completamente, procurando que no quede aire en su interior; deberán estar bien cerradas.

En general, los valores de bicarbonatos medidos en el laboratorio son algo menores que los reales (078).

Todos los resultados obtenidos de los análisis anteriormente citados se inscribirán en una hoja-registro (véase en la página - siguiente).

FECHA/S DE TOMA DE MUESTRA: DE A (día)
DE A (hora)

PARAMETROS	VALORES HALLADOS	UNIDADES ^x	VALORES		
			(1)	(2)	(3)
a. Físicos					
Color		sin unidades			
pH		unidades de pH			
Conductividad		mmhos/cm			
Sólidos					
b. Químicos					
Cloruros					
Fosfatos					
P total					
Nitratos					
Nitritos					
Amoníaco					
N total					
Carbonatos					
Bicarbonatos					
Calcio					
Magnesio					
Sodio					
Boro					
Aluminio					
Cadmio					
Cobalto					
Cobre					
Cromo					
Hierro					
Manganeso					
Molibdeno					
Níquel					
Plomo					
Zinc					
Mercurio					
DQO					
c. Microbiológicos					
Coliformes fecales		colonias/100ml.			
<u>OBSERVACIONES</u>			Estimación de valores: (1) normales (2) bajos (3) altos		
x: en mg/l, si no se indica lo contrario					

2.2.3 - ANALISIS

Para establecer los análisis que practicaremos en los efluentes de depuradora de aguas residuales que estudiaremos, nos basamos en los siguientes criterios:

- . análisis en cuestión descritos en la bibliografía como de uso corriente;
- . disponibilidad de los aparatos necesarios para poder efectuar los análisis, en nuestro Departamento;
- . trabajos anteriores de nuestro Departamento.

Dichos análisis deben justificarse, puesto que ciertos parámetros tendrán importancia a la hora de aplicar los efluentes al ecosistema suelo/planta o al suelo desnudo, mientras que otros no.

NOTA:

Todos los análisis se realizarán en paralelo con el agua de suministro que también aplicaremos a los suelos, como patrón.

CORRELACIONES INTERPARAMETRICAS

En un trabajo realizado en nuestro Departamento (069), se determinaron coeficientes de correlación entre distintos parámetros del análisis de efluentes de depuradoras con tratamiento secundario, con el fin de establecer si era posible renunciar a la determinación de alguno de los distintos parámetros, en el caso de que existiera una relación adecuada con otro u otros de los analizados.

Pudo observarse que en casi todas las plantas depuradoras estudiadas solían darse las mismas correlaciones.

Pudieron citarse como valores presuntamente intercambiables o sustituibles los de:

- . SAR por conductividad
- . cloruros por SAR
- . cloruros por conductividad
- . cloruros por sodio
- . cloruros por potasio
- . cloruros por sodio y potasio
- . conductividad por sodio
- . conductividad por potasio
- . conductividad por sodio y potasio
- . conductividad por sodio más potasio más calcio más magnesio
- . sodio por potasio
- . DBO por DQO
- . $S_{calc.}$ por S_{110}

. coliformes totales por coliformes fecales.

En cuanto a los parámetros de salinidad, el más representativo es la conductividad por su intervención en casi todas las correlaciones; además su determinación resulta de gran facilidad.

Sin embargo, se determinará también el sodio, a pesar de no ser necesario, puesto que es imprescindible para el cálculo de la - SAR, índice de calidad del agua del cual trataremos más adelante.

Se determinarán igualmente cloruros para poder obtener valores acerca de aniones en el agua residual depurada.

En cuanto a la demanda de oxígeno y a los sólidos, determinaremos:

. D₀₀, en lugar de D₅₀, por resultar más fácil y más rápida la determinación de la primera (079)

. S₁₁₀ en lugar de S_{calc.}, por ser más sencillo el método analítico de determinación de S₁₁₀.

En el caso de las determinaciones microbiológicas, la información obtenida acerca de los coliformes totales en el agua residual es comparable a la de los coliformes focales (080). Determinaremos éstos últimos (081).

2.2.3.1 - CARACTERISTICAS FISICAS

2.2.3.1.a - Color

El color no tiene efecto sobre la utilización de un agua para el riego, pero puede ser una indicación de que contiene materia orgánica (082).

El color se determinará comparándolo con una escala o atlas de colores.

Se comparará igualmente el color del efluente a aplicar a los suelos y el del percolado, después de su paso a través de ellos.

2.2.3.1.b - pH

El pH de las aguas residuales es un factor de muy poca importancia en la aplicación de efluentes a la tierra (081). Su uso principal es para hacer una rápida evaluación de la posibilidad de que el agua sea anormal (083).

El agua residual no está usualmente tamponada, pero sin embargo el suelo si lo está (excepto los suelos muy arenosos con poco contenido en materia orgánica (084)) y su pH no será cambiado significativamente por la adición de agua residual (085).

El intervalo normal para el agua de riego oscila entre pH = 6,5 y pH = 8,4. Las aguas de riego cuyo pH quede fuera de este intervalo pueden seguir siendo satisfactorias, pero son de temer

otros problemas de nutrición o de toxicidad (083). Pueden considerarse perjudiciales las aguas con valores extremos de pH, tales como los inferiores a 4,8 (sobre todo aplicadas a suelos -- ácidos durante largo tiempo) (086) o los superiores a 8,3 (087, 084,088).

Técnica analítica de determinación del pH:

utilizaremos el método de determinación electrométrico; para -- ello usaremos un electrodo convencional monotubo INGOLD conectado con un pHmetro de lectura digital CRISON DIGIT - 501, con -- una sensibilidad de 0,01 unidades de pH (069). Nos guiaremos -- por las instrucciones del fabricante del aparato.

2.2.3.1.c - Conductividad

La determinación de la conductividad es el método más rápido y también más fiable para conocer la cantidad de sales en el agua que se va a emplear para riego. Es el parámetro, que más aparece en las correlaciones interparamétricas (ver pág. 72).

En general, las aguas con una conductividad inferior a 750 micromhos/cm., no presentan problemas para el riego, en lo que a salinidad se refiere (087).

Explicaremos la importancia de la salinidad más adelante cuando tratemos del sodio.

Técnica analítica de determinación de la conductividad:

Utilizaremos un conductímetro CDM2e de RADIOMETER de lectura directa con electrodo o célula de lectura del tipo CDC - 104, también de Radiometer. Nos guiaremos por las instrucciones del fabricante del aparato.

2.2.3.1.d - Sólidos en agua

Los sólidos en suspensión en el agua tienen una acción de impermeabilización, afectando de este modo a la infiltración de agua en el terreno y por tanto a la cantidad de efluente aplicable - (087).

La precipitación de las partículas suspendidas o coloidales - - arrastradas por el agua también puede afectar a la emergencia - de las semillas y ocasionar una reducción de la aireación del - suelo (085,086,087,089).

Por otra parte, el contenido de materia orgánica de estas partículas, puede resultar beneficioso, lo que deberá estudiarse.

Nosotros determinaremos el residuo total secado a 103 - 105 °C y el residuo total no filtrable a 103 - 105 °C solamente, debido a que podemos prescindir a la determinación del residuo total volátil y fijado a 550 °C ($S_{calc.}$), por la correlación interparamétrica en la que interviene (ver pág. 72) (090,091).

2.2.3.2 - CARACTERISTICAS QUIMICAS

2.2.3.2.a - Cloruros

Los cloruros en agua de riego no presentan generalmente problemas de toxicidad ni efectos sobre el suelo, en las cantidades habitualmente presentes (082); no obstante, si se pretende aplicar el efluente a un suelo forestal, hay que tener en cuenta, - que la mayoría de los cultivos arbóreos y otras plantas leñosas perennes son sensibles a bajas concentraciones de cloruro (082).

De hecho, el mayor problema es que el cloruro suele estar asociado con sodio o potasio en las aguas que suelen emplearse para riego, siendo el problema dependiente de estos dos elementos (084).

Según las correlaciones interparamétricas existentes (ver pág. 72), se puede prescindir de la determinación de los cloruros, si se determina la conductividad; no obstante, los incluimos en los análisis a realizar para poder tener datos acerca de aniones en el efluente.

Técnica analítica de determinación de cloruros:

utilizaremos el método de Mohr, tomado de Sawyer (092) y de Geological Survey (093).

2.2.3.2.b - Fosfatos solubles y fósforo total

El fósforo es a menudo limitante para el crecimiento de las plantas, debido a que la concentración del fósforo accesible a las plantas-iones ortofosfato libres PO_4^{3-} - es a menudo baja.

Ellis (085), considera que el fósforo puede ser una de las claves para el éxito de las aplicaciones a largo plazo de aguas residuales depuradas en el suelo. Puede ser utilizado por los cultivos o adsorbido o precipitado en el suelo.

En la mayoría de los casos, al añadir P con el agua residual, se consiguen aumentos de rendimiento en las cosechas. No obstante, si la acumulación de fósforo llega a ser excesiva pueden observarse efectos perjudiciales.

Los fosfatos son importantes en el cálculo del aporte de nutrientes a los cultivos para determinar la cantidad de efluente aplicable.

Técnica analítica de determinación de los fosfatos:

utilizaremos el método colorimétrico de Osmond en una de las 4 modificaciones de uso general (094) consistente en la reducción con ácido 1,2,4 - aminonaftol sulfónico en medio perclórico o sulfúrico.

Técnica analítica de determinación del fósforo total:

previa digestión con persulfato, realizaremos la colorimetría

como en el caso de los fosfatos (095).

2.2.3.2.c - Nitratos, nitritos, nitrógeno total y amoníaco

El nitrógeno en el agua de riego actúa como el nitrógeno de fertilizante y un exceso causará problemas iguales a los que ocurren con los excesos de fertilizante (096).

Hay que tener en cuenta que cuando se riegan terrenos con aguas residuales de alto contenido en nitratos, la carga de N de un efluente aplicado no puede exceder la eliminación prevista de N con la cosecha en más de un 50% (097).

El N del nitrato es la forma más altamente oxidada de nitrógeno que se encuentra en las aguas residuales.

Determinaremos también el N como nitritos a pesar de tener relativamente poca importancia en los estudios sobre aguas residuales, ya que es inestable y se oxida fácilmente a la forma de nitrato (098).

Técnica analítica de determinación de nitratos:

utilizaremos el método del electrodo específico de nitratos -- (099). Nos guiaremos por las instrucciones del fabricante del aparato.

Técnica analítica de determinación de nitritos:

utilizaremos el método del electrodo específico de nitratos, según el procedimiento de Morie (100).

El electrodo selectivo de nitratos será de HNU Systems Inc., nº de referencia ISE-20-31-00 y el electrodo de referencia ISE-40-02-00 del mismo fabricante.

Técnica analítica de determinación del nitrógeno total:

utilizaremos el método de Kjeldhal (101).

Técnica analítica de determinación del amoníaco:

utilizaremos el método del electrodo específico de amoníaco - - (102); en nuestro caso será de HNU Systems Inc., nº de referencia ISE-10-10-00.

2.2.3.2.d - Sulfatos

Los sulfatos no representan ningún peligro para la reutilización de las aguas residuales. No obstante, se efectuará su análisis puesto que sino sería prácticamente el único catión importante que no se determinaría y, además, por su posible fitotoxicidad. Por otra parte, su presencia puede ser indicadora de entrada de agua de mar en las redes de alcantarillado (obviamente en lugares situados cerca del mar).

Su aplicación a los suelos no es citada en los tratados al respecto. Creemos que los cloruros estarían presentes en mayor cantidad antes de que resultase nociva la presencia del anión sulfato (103).

Técnica analítica de determinación de sulfatos:

utilizaremos el método turbidimétrico indicado en el Standard Methods (104).

2.2.3.2.e - Carbonatos y bicarbonatos

Son importantes en los criterios de determinación de la toxicidad por el sodio. Cuando el suelo se seca entre riegos, parte del CO_3 y del HCO_3 precipita en forma de carbonatos cálcico y magnésico (CaCO_3 -Mg), separando el calcio y el magnesio del agua del suelo y aumentando la proporción relativa de sodio que aumenta a su vez el peligro de este ión (105).

El bicarbonato, aún en concentraciones muy bajas, constituye un problema, a la hora de regar cultivos. En las hojas o en los -- frutos se forman depósitos blanquecinos que no desaparecen por el riego subsiguiente (106).

Técnica analítica de determinación de carbonatos y bicarbonatos:

los determinaremos en función de la alcalinidad del agua, con -- un error menor de 1 ó 2% (107).

2.2.3.2.f - Sodio, calcio y magnesio. Salinidad

El calcio y el magnesio son importantes en la nutrición de las plantas y en el equilibrio y acción del sodio en los suelos.

Por otra parte, la presencia de concentraciones relativamente -- altas de sodio afecta a la estructura y la permeabilidad del -- suelo y, al ser absorbido por las plantas, puede causar distintos tipos de enfermedades a las mismas.

Por estas razones es importante determinar estos elementos en -- el efluente a aplicar a los suelos.

Para medir la cantidad de sodio e iones relacionados, se ha establecido un sistema de medidas denominado SAR. El SAR (del inglés "Sodium Adsorption Ratio") expresa la velocidad o tasa de adsorción de sodio. La fórmula para la determinación de la SAR es la siguiente:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$$

Las concentraciones se expresan en meq/l.

Técnica analítica de determinación de Ca y Mg:

utilizaremos la espectrofotometría de absorción atómica que también haremos servir para los metales pesados (103).

Técnica analítica de determinación del Na:

utilizaremos la fotometría de llama a longitud de onda de 589 nm (108).

2.2.3.2.g - Boro

El boro es uno de los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, pero se necesita en cantidades relativamente pequeñas. Por ello deberemos determinarlo en los efluentes ya que si es excesivo se convierte en tóxico; es absorbido por el cultivo, acumulándose en las hojas y en otras partes de las plantas (109).

Las aguas residuales tienen cantidades variables de boro dependiendo de su origen que normalmente son detergentes.

Técnica analítica: método potenciométrico directo (110).

2.2.3.2.h - Metales pesados

La presencia de cualesquiera de los metales siguientes:

Mn, Ni, Pb, Cr, Cd, Zn, Cu, Fe y Hg,

en cantidades excesivas interferirá con muchos aprovechamientos del agua dada su toxicidad; por lo tanto, conviene que midamos y controlemos las concentraciones de dichos metales en los -- -- efluentes (111).

El análisis de metales pesados en los efluentes está relacionado con la determinación de la capacidad complejante del suelo, originada por la presencia de arcillas y ácidos húmicos (ver -- apartado 2.1.3.3.b).

Según los trabajos efectuados anteriormente en nuestro Departamento (112,103), los metales pesados presentes en los efluentes de depuradoras de la Costa Brava (Gerona) no están totalmente disueltos sino que, en parte, se encuentran ligados a la materia en suspensión.

La presencia de metales pesados en los efluentes es una de las causas principales que pueden limitar la reutilización y recuperación de estas aguas (113,114,115,116,117,118).

Técnica analítica de determinación de metales pesados:

utilizaremos la espectrofotometría de absorción atómica, guiándonos por las instrucciones del fabricante del aparato (119).

La técnica queda descrita en un trabajo previo (103).

2.2.3.2.i - Demanda química de oxígeno

Ofrece una estimación adecuada de la presencia de materia orgánica biodegradable y no biodegradable, así como la presencia de sustancias inhibidoras de los procesos de degradación biológica. Informa sobre el consumo de oxígeno de un agua utilizado para la oxidación de las sustancias orgánicas solubles en la misma, exceptuando una serie de compuestos nitrogenados y de hidrocarburos apenas solubles en el agua (120).

Técnica analítica de determinación de la DQO:

utilizaremos el método del dicromato potásico (121).

2.2.3.3 - CARACTERISTICAS BIOLOGICAS

2.2.3.3.a - Coliformes fecales

Las aguas residuales, aún las depuradas, contienen gran número de microorganismos. Por ello es muy importante determinarlos, - sobre todo los patógenos.

Técnica analítica de determinación de coliformes fecales:

utilizaremos el método de filtración por membrana que se demostró ser el más adecuado, en un trabajo previo realizado en nuestro laboratorio (122). Los filtros serán Millipore HC.

Para terminar con este apartado, mostramos una relación de problemas potenciales originados por las concentraciones de los principales componentes inorgánicos de las aguas de riego (123)

Problema y compuesto relacionado	Sin problemas	Problemas crecientes	Muchos problemas
Salinidad ^a			
C del agua, $\mu\text{mhos/cm}$	0,75	0,75 - 3,00	3,00
Permeabilidad			
C del agua, $\mu\text{mhos/cm}$	0,50	0,50	0,20
SAR ^b	6,00	6,00 - 9,00	9,00
Toxicidad específica de iones ^c			
Por absorción de raíces			
Sodio (tomar SAR)	3,00	3,00 - 9,00	9,00
Cloruros, meq/l	4,00	4,00 - 10,00	10,00
Cloruros, mg/l	142,00	142,00 - 355,00	355,00
Boro, mg/l	0,50	0,50 - 2,00	2,00 - 10,00
Por absorción foliar (aspersión) ^d			
Sodio, meq/l	3,00	3,00
Sodio, mg/l	69,00	69,00
Cloruros, meq/l	3,00	3,00
Cloruros, mg/l	106,00	106,00
Varios ^e			
HCO ₃ , meq/l	1,50	1,50 - 8,50	8,50
HCO ₃ , mg/l	90,00	90,00 - 520,00	520,00

pH

Valores normales = 6,5 - 8,4

Las interpretaciones se basan en los efectos posibles de los --
constituyentes en cosechas y/o suelos. Los valores sugeridos --
son flexibles y pueden ser modificados mediante experiencia lo-
cal o cuando hay condiciones especiales de cosecha, suelo o mé-
todo de riego.

a. Suponiendo que se aplique el agua para el cultivo más el - -
agua necesaria para el lavado. Es necesario tener en cuenta que
los diferentes cultivos tienen también diferente tolerancia a -
la salinidad. C= Conductividad eléctrica $\mu\text{mhos/cm.} \times 640 =$ Aprox.
igual STD (sólidos totales disueltos) en mg/l o ppm.

$$b.. SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Na= sodio, Ca= calcio, Mg= magnesio, todas las concentraciones
en meq/l.

c. La mayoría de los árboles de fruto y ornamentales son sensi-
bles al sodio y cloruros. Muchos cultivos anuales no lo son.

d. Los cultivos de hoja rezados por aspersion pueden mostrar -
quemaduras de hojas debidas a la absorción de sodio y cloruros
en condiciones de poca humedad y alta evaporación. (La evapora-
ción incrementa la concentración de iones en las películas de -
agua de las hojas entre dos pasadas del aspersor).

e. El HCO_3 en riego por aspersion puede originar un depósito --
blanco de carbonato en hojas y frutos.

2.3 - LISIMETROS

2.3.1 - GENERALIDADES

El interés actual en la reutilización de aguas residuales por aplicación a los suelos presenta dos puntos de vista claramente diferentes:

- . utilización como agua de riego;
- . tratamiento terciario de los efluentes;

esta división, en la práctica, no es tan clara. Sin embargo, en ambos casos, se presentan problemas complejos que dictan la necesidad de buscar una instalación adecuada para el estudio de las interacciones efluente-suelo.

La determinación del comportamiento de un suelo al aplicarle el efluente puede realizarse, a escala piloto, mediante unos aparatos llamados lisímetros. Con ellos se puede estudiar una muestra del suelo problema, y mediante los datos obtenidos, extrapolar los resultados a escala real.

Existen distintos tipos de instalaciones lisimétricas. Por lo tanto, según los casos descritos en la bibliografía y los recursos de que disponemos, buscaremos el más conveniente para llevar a cabo nuestro trabajo.

A continuación, tras una breve visión histórica, detallaremos las particularidades de cada tipo de lisímetro e indicaremos los estudios realizados y sus autores.

El primer lisímetro fue instalado en París por De la Hire, en 1686.

Al final del siglo 18, se introdujeron los "medidores de drenaje" para estudiar el movimiento de agua en suelos, bajo condiciones naturales. Posteriormente se conocieron como lisímetros (124).

El término "lisímetro" deriva del griego "lisis" que significa di solución y "metron", medida (125).

Se utilizaron lisímetros en Manchester (1795), Ginebra (1796), Orange (1821), Nash Mills (Gran Bretaña, 1836), Goerlitz (Alemania, 1853), Erlangen (1867), Munich (1868), Oude Vetering (Holanda, 1876). A partir de esta fecha las experiencias se multiplicaron en varios países (126,127).

Por lo general, los lisímetros se utilizan para obtener datos sobre transpiración y evapotranspiración y para estudiar el movimiento de agua, sales solubles, metales pesados, aguas residuales municipales, agrícolas e industriales, así como pesticidas, a través de los suelos.

2.3.2 - TIPOS DE LISIMETROS

L.1 - CAJAS LISIMETRICAS

L.2 - LISIMETROS-MONOLITO

L.3 - LISIMETROS DE PESADA

L.4 - LISIMETROS DE TENSION

L.5 - COLUMNAS LISIMETRICAS

L.1 - CAJAS LISIMETRICAS

1.a - Definición y construcción

1.b - Estudios realizados: casos en la bibliografía

1.c - Relación de autores

1.d - Esquemas

1.2 - Definición y construcción

Una caja lisimétrica es un tanque o cubeta, de paredes verticales, generalmente de cemento, enterrada en el suelo. Se llena con el suelo a estudiar hasta el nivel del terreno, con un lecho de grava en la base. La superficie del suelo está así sometida a los agentes atmosféricos y recibe las precipitaciones naturales.

Existe un sistema de drenaje instalado en el fondo o, a veces, a diversas alturas. El agua drenada es recogida en un depósito situado en una galería, y posteriormente medida.

En realidad, se trata del relleno artificial de un depósito con una muestra de suelo. Se puede efectuar con un suelo homogéneo, artificial o natural (127,128,129).

Después de realizado el llenado de la caja lisimétrica, se deja asentar el suelo hasta que alcance una densidad aparente comparable a la del campo (130).

Pasado un cierto tiempo, el terreno recupera su primitiva textura. Según Bastisse (131), al cabo de dos años, el suelo del lisímetro alcanza su densidad aparente inicial.

El cambio en la disposición de los suelos, a pesar de las precauciones que suelen tomarse es importante (127).

Para designar a las cajas lisimétricas, ciertos autores utilizan la denominación lisímetros "tipo-llenado" (132,133,134, - -

135).

Low (133) indicó que este tipo de lisímetros no era de construcción usual por conocerse la importancia del llenado de los tanques con suelo no alterado (lisímetros-monolito). No obstante, publicaciones posteriores muestran que siguieron utilizándose - (136,137,138,139,140,141,142,143,144).

Las cajas lisimétricas pueden llenarse únicamente mediante horizontes de suelo determinados, como por ejemplo:

. horizonte húmico labrado (antrópico), para la evaluación de los efectos de la inundación del suelo sobre el rendimiento del tabaco y el contenido de oxígeno, durante varios períodos de -- tiempo (138,145).

. horizontes (sin especificar) de igual altura que en el perfil original para la determinación del efecto de niveles de agua estáticos, de baja y moderada salinidad, en el uso total de agua y en el rendimiento del algodón (146).

1. b - Estudios realizados: casos en la bibliografía

En la bibliografía consultada hemos encontrado que numerosos estudios han sido llevados a cabo mediante cajas lisimétricas.

A continuación, daremos algunos ejemplos representativos, especificando, cuando ello sea posible, el tipo de llenado de las cajas:

- Estudio de la interacción del nitrógeno, en forma de urea, -- con la humedad del suelo y su efecto en el rendimiento de la -- gramínea *Phleum pratense* L.: lisímetros llenados parcialmente de grava; un lote, con la mitad de ellos, con 30 cm. de subsuelo más 15 cm. de suelo de superficie y otro lote, con el resto de lisímetros, con sólo 15 cm. de suelo de superficie (147).

- Estudio de reutilización de aguas residuales: los lisímetros fueron llenados sin compactación artificial, con suelo homogéneo (habiendo eliminado las partículas extrañas por tamizado) y dejado consolidar bajo la acción de su propio peso (148).

- Evaluación de las relaciones entre riego y drenaje: caja lisimétrica llenada con tres capas de suelo, de 0 a 30 cm., de 30 a 60 cm. y por debajo de 60 cm. extraídas por separado durante la excavación y colocadas en el orden adecuado para reconstituir el perfil natural.

Esta instalación, de 4,33 m. por 2,44 m. de profundidad tuvo la particularidad de ser lo suficientemente grande para poder realizar adecuadamente distintas plantaciones y utilizar sobre ella la maquinaria de labranza, siembra y cosecha. De esta forma, -- las plantaciones crecieron sin discontinuidad en el lisímetro y

en el campo circundante (143).

- Efecto de la calidad del agua de riego en la composición del suelo y en el crecimiento de las plantas (132).

Las cajas lisimétricas permiten también determinar el balance hidrológico de la muestra de suelo a estudiar. Suministran datos sobre la entrada y salida de agua (pluviometría y drenaje, respectivamente) con los cuales se puede calcular directamente la infiltración (128).

Existe un reducido número de investigaciones, principalmente de Rusia, sobre temas estrictamente edafológicos tales como la formación de distintos horizontes en los podzoles, realizados mediante cajas lisimétricas.

Se pueden estudiar las relaciones entre las características edafológicas y la composición del agua de drenaje, insertando horizontalmente unos mecanismos para recoger esta agua, a partir de las distintas capas de suelo (134,135,149).

1.c - Relación de autores

En la página siguiente, damos una relación de autores que han -
llevado a cabo investigaciones mediante el uso de cajas lisimé-
tricas..

Indicamos, igualmente, el año de publicación de los estudios y
el número de referencia bibliográfica.

INVESTIGACIONES MEDIANTE CÁJAS LISIMÉTRICAS

<u>AUTORES</u>	<u>AÑO</u>	<u>REF. BIBL.</u>
Allison y Reeve	1955	(132)
Eastisse	1951	(131)
Bielby et al.	1973	(136)
Bower et al.	1969	(150)
Bower et al.	1970	(151)
Burbank, Jr.	1975	(137)
Cambell y Seaborn	1972	(138)
Dugan et al.	1975	(139)
Magin et al.	1976	(140)
Hayman y Smith	1979	(141)
Iskandar	1972	(142)
Jones et al.	1968	(152)
Lal y Taylor	1969	(153)
Hamken et al.	1969	(146)
Orlob y Butter	1956	(148)
Quashu	1969	(154)
Reichman et al.	1979	(143)
Shalhevet y Yaron	1952	(145)
Soileau et al.	1974	(144)
Willely	1968	(156)
Willhite et al.	1965	(147)
Williamson	1963	(157)

MICROLISIMETROS

Las cajas lisimétricas suelen ser de gran tamaño. Pero existen ciertas excepciones tales como las instalaciones que denominaremos microlisímetros.

Debido a su tamaño están relacionados con las columnas lisimétricas que se estudiarán más adelante.

Consideramos como microlisímetro a aquellas cajas lisimétricas cuyo diámetro interior sea inferior o igual a 30 cm.

Los casos hallados en la bibliografía son:

- microlisímetros de 91,4 cm. de profundidad y 25,4 cm. de diámetro interior, de cloruro de polivinilo, con la base ligeramente inclinada hacia un tubo de desague. Fueron utilizados para el estudio de los efectos de la aplicación de excrementos de cerdo en el suelo.

Su llenado fue realizado de la forma siguiente:

. capa de grava de 1,5 cm. de altura en el fondo;
 . por encima, suelo secado al aire hasta 2,5 cm. del borde superior del lisímetro; este suelo fue colocado con la misma secuencia de horizontes que en el campo (158).

- microlisímetro de 30 cm. de diámetro y 43 cm. de profundidad, base inclinada con un desnivel de 5 cm.. En él, fueron estudiadas las pérdidas de nitrógeno por infiltración y volatilización tras la adición de urea marcada con N^{15} a un suelo forestal.

Para su construcción se establecieron, entre otras, las siguientes condiciones:

. mantener inalterada lo más posible la estratificación natural del perfil de suelo;

. paredes y base del lisímetro lo suficientemente resistentes - para soportar el peso total del bloque de suelo (124).

- microlisímetros de cloruro de polivinilo (PVC) rígido, de 92 cm. de profundidad y 25 cm. de diámetro, base ligeramente inclinada hacia un desagüe situado en el fondo, en uno de los lados y conectado externamente a un depósito colector.

Esta instalación sirvió para investigar el movimiento de nitrógeno mineral a través del suelo (159).

- microlisímetros de 20 cm. de diámetro interior y 60 cm. de altura.

Se utilizó para el estudio de las pérdidas de agua por transpiración y evapotranspiración, en arrozales (160).

INVESTIGACIONES MEDIANTE MICROLISIMETROS

<u>AUTORES</u>	<u>AÑO</u>	<u>REF. BIBL.</u>
Hewgill y Grice	1975	(158)
Overrein	1968	(124)
Overrein	1969	(161)
Shaw	1978	(159)
Thomas et al.	1966	(162)
Tomar y O'Toole	1980	(160)

1. d - Esquemas

A continuación, mostramos dos esquemas de cajas lisimétricas.

La figura 1 representa una caja lisimétrica con la base plana, mientras, que en la figura 2 la base es inclinada. La base inclinada permite un mejor drenaje y evita, que se produzcan estancamientos en el fondo del lisímetro (127).

En la página 106 mostramos también el esquema de un lisímetro - típico utilizado por Thomas et al., para investigar los cambios químicos del suelo y la reducción de la tasa de infiltración, - por colmatación de los poros del suelo al aplicar agua residual (162). Tiene una placa que permite mojar uniformemente toda la superficie del suelo. Su diámetro puede variar desde los 15 hasta los 90 cm.; cuando es menor de 30 cm. es un microlisímetro.

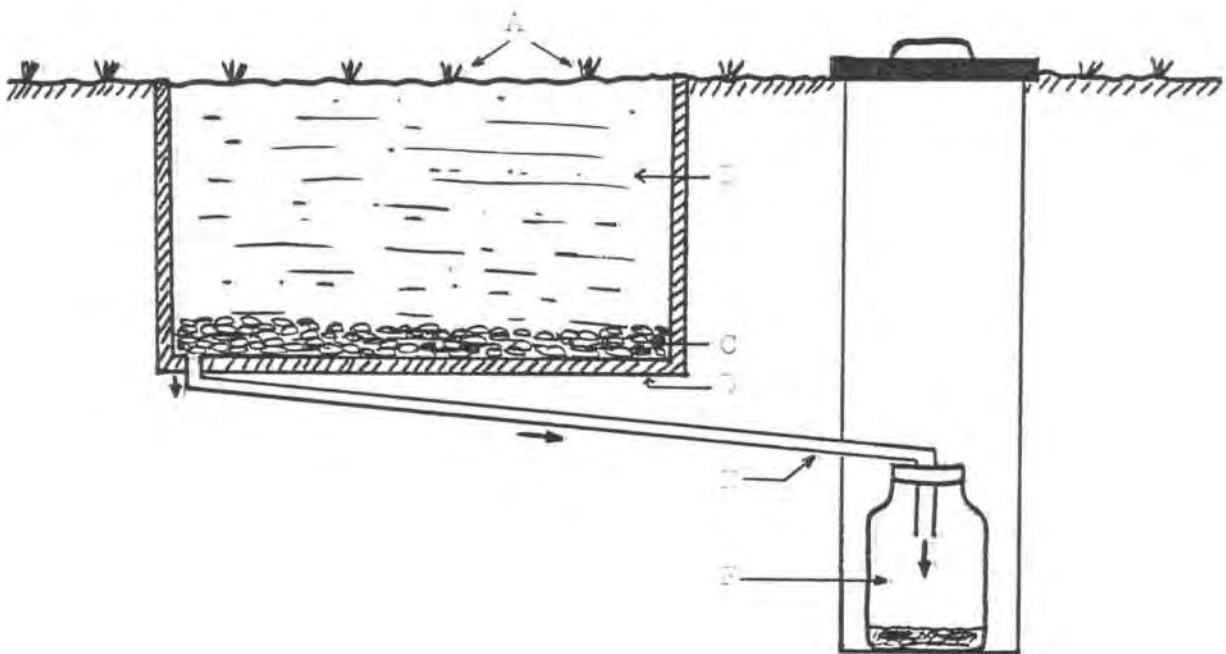


Figura 1

LEYENDA:

- A - Vegetación (puede no tenerla)
- B - Muestra de suelo problema
- C - Lecho de grava
- D - Base plana del tanque
- E - Tubo de salida del percolado
- F - Colector del percolado

ESQUEMA DE CAJA LISIMETRICA CON LA BASE PLANA

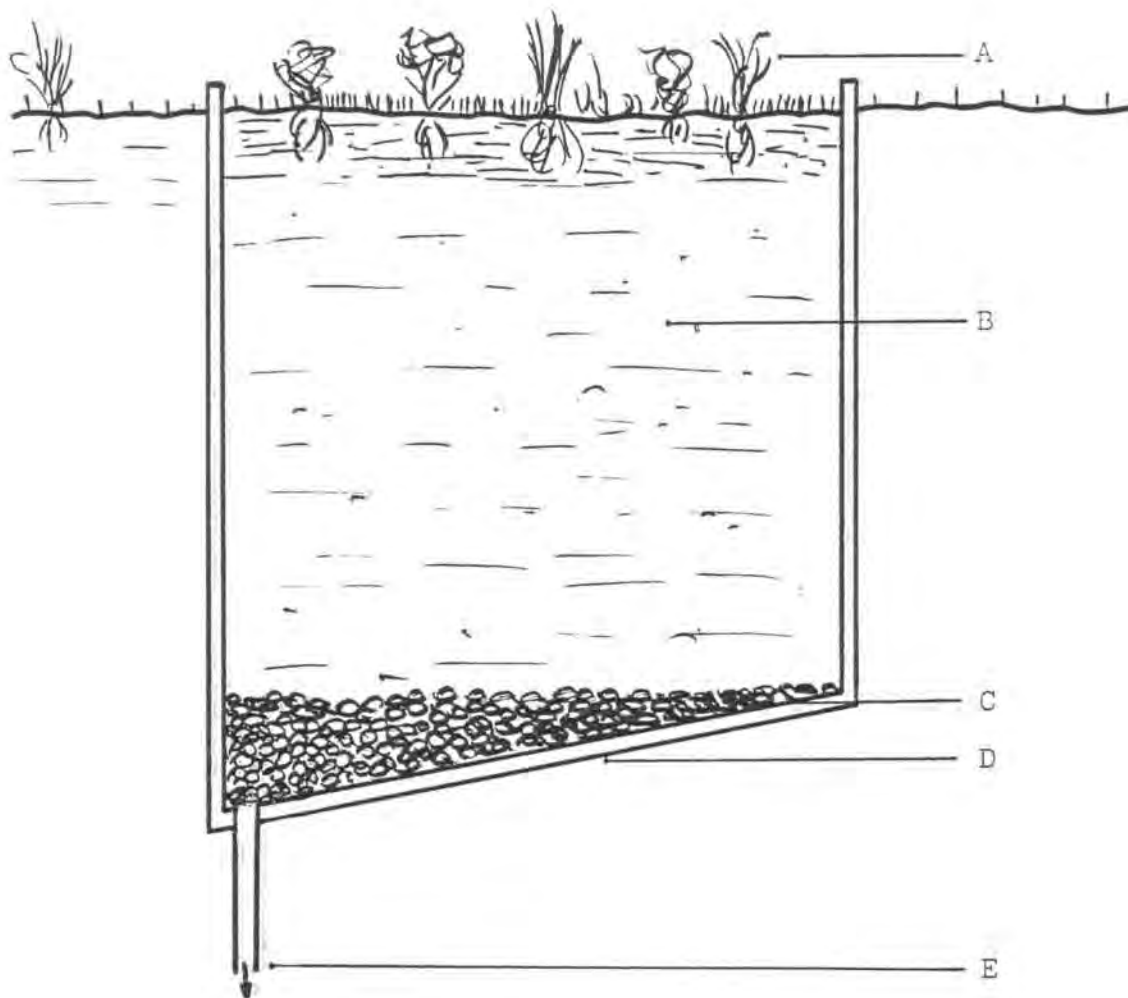
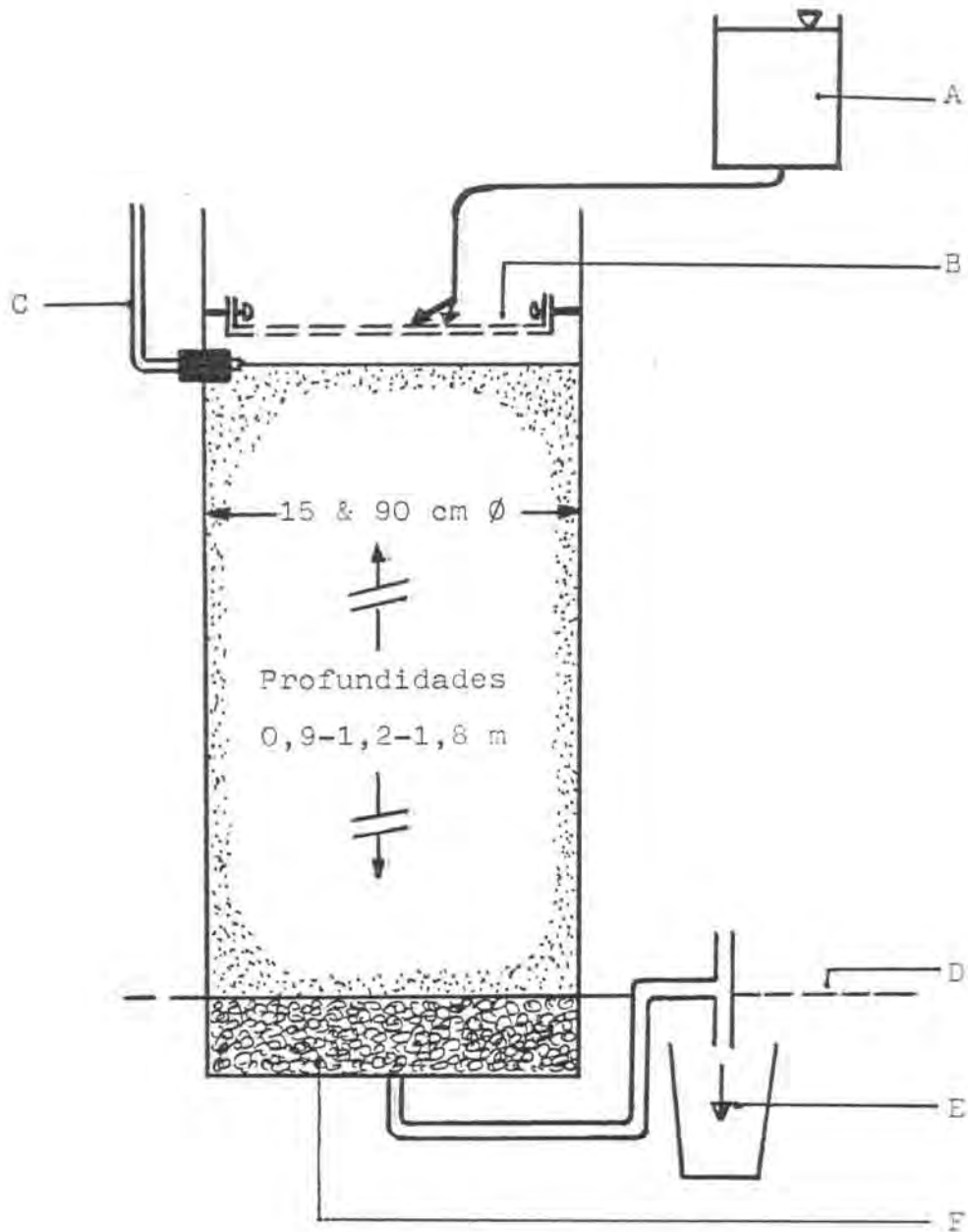


Figura 2

LEYENDA:

- A - Vegetación
- B - Muestra de suelo problema
- C - Lecho de grava
- D - Base inclinada
- E - Al colector

ESQUEMA DE CAJA LISIMETRICA CON LA BASE INCLINADA.



LEYENDA:

- A - Depósito
- B - Placa para mojar
- C - Tubo de respiro (pérdida de aire)
- D - Nivel de agua
- E - Percolado
- F - Grava

ESQUEMA DE UN LISIMETRO TIPICO (Thomas) (162)

L.2 - LISIMETROS-MONOLITO

2.a - Definición y construcción

2.b - Estudios realizados: casos en la bibliografía

2.c - Relación de autores

2.d - Esquemas

2. a - Definición y construcción

Los lisímetros-~~monolito~~ son al igual que las cajas lisimétricas cubetas llenadas con el suelo a estudiar; tienen un lecho de -- grava en la base y un sistema de drenaje hasta un colector del agua percolada.

Sólo se diferencia de aquellas en la técnica de llenado.

Los lisímetros-monolito pueden estar constituidos:

. o bien, por terreno no cambiado de lugar; el lisímetro se -- construye, en cierto modo, alrededor de un bloque de terreno -- "in situ"; de esta manera, se evita todo cambio en la disposi-- ción del suelo; pero esta técnica plantea delicados problemas -- de instalación.

. o bien, y por lo general, por un bloque de terreno o monolito levantado por medios mecánicos y colocado en la cubeta (127).

Tackett (163), desarrolló un método rápido para obtener grandes monolitos de suelo de 40 a 95 cm. de diámetro y de hasta 270 cm de profundidad, con un mínimo de trabajo.

Por otra parte, Brown (130), describió un sistema para colocar grandes monolitos de suelo en cubetas de 1,5 m. de profundidad por 3 m². de superficie.

Se pueden llegar a conseguir bloques de suelo no alterado para instalaciones lisimétricas de 100 m². de superficie (164).

Los lisímetros-monolito resultan útiles en muchos aspectos debido a la no alteración de la estructura del suelo natural.

Cuando se desean datos sobre transpiración y evapotranspiración y cuando se pretendan estudiar suelos con cultivos o estimar -- pérdidas de nitrógeno por percolación y desnitrificación en suelos, es conveniente utilizar los lisímetros-monolito (163,165,-166).

En efecto, para tales determinaciones, hay que tener en cuenta:

. que el agua y los iones se mueven de forma muy diferente en -- suelo alterado que en bloques de suelo no alterado (167,168,169)

. que la alteración de la estructura del suelo da lugar a una -- anormal distribución de las raíces, tanto horizontal como vertical (130,163).

2.b - Estudios realizados: casos en la bibliografía

Los estudios realizados mediante lisímetros-monolito son, quizá menos numerosos que los llevados a cabo mediante cajas lisimétricas. Esto puede ser debido a la dificultad que representa obtener bloques de suelo sin alterar.

Sin embargo, cuando se ha tenido que investigar acerca del nitrógeno en suelos, en cualquiera de sus formas, se han utilizado los lisímetros-monolito.

Algunos ejemplos sobre este tema son:

. estudio del movimiento y transformaciones del nitrógeno aplicado en forma de sulfato con N^{15} , en suelos (170)

. percolación del nitrógeno y su utilización por las plantas -- usando urea con N^{15} (166)

. determinación del contenido de nitratos en el percolado procedente de lisímetros en que el suelo se ha abonado con fertilizantes nitrogenados (136)

. estudio de la aplicación de fertilizante nitrogenado con N^{15} durante el cultivo del maíz (171)

. uso de nitrato cálcico con N^{15} en el crecimiento del césped y estudio de las pérdidas de nitrógeno por percolación (165).

El nitrógeno marcado (N^{15}) sirve para distinguirlo del nitrógeno ya presente en el suelo y las plantas (165).

Para no desviarnos del objetivo principal de este trabajo, recordemos que buscamos la instalación adecuada para investigar las interacciones entre efluente y suelo.

Los efluentes contienen una determinada cantidad de nitrógeno y, para estudiar su efecto sobre el suelo problema al aplicarle el agua residual, los lisímetros-monolito, según lo ahora expuesto, pueden resultar los más convenientes.

Otro tipo de estudios realizados mediante lisímetros-monolito son:

. determinación de las pérdidas de nutrientes de las plantas en los percolados (172);

. efecto de la saturación del suelo con agua en el crecimiento y rendimiento de las cosechas (173)

. estudio del percolado de los lisímetros-monolito tratados con S^{35} (174).

2.c - Relación de autores

En el apartado anterior, hemos citado algunos de los casos hallados en la bibliografía acerca de estudios mediante lisímetros-monolito.

Como es óbvio, solamente mostramos los más representativos.

En la página siguiente, damos una relación de todos los autores que han utilizado este tipo de lisímetros y que hemos encontrado en la bibliografía consultada.

Indicamos el año de publicación de los trabajos y el número de referencia bibliográfica.

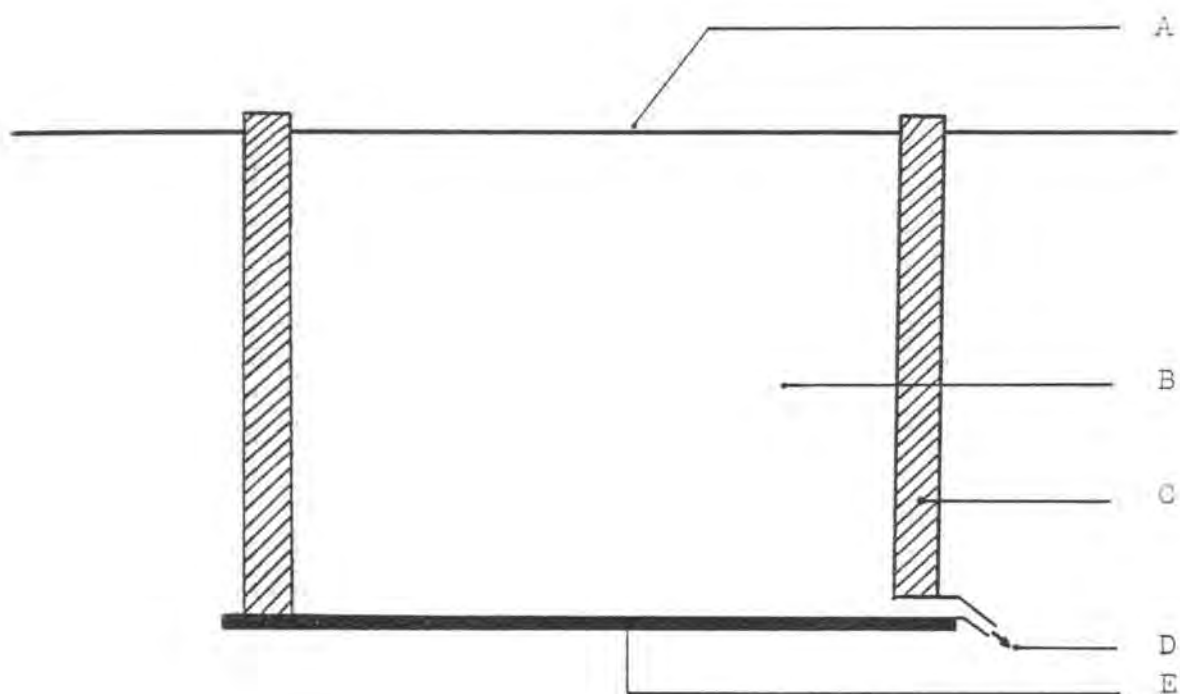
INVESTIGACIONES MEDIANTE LISIMETROS-MONOLITO

<u>AUTORES</u>	<u>AÑO</u>	<u>REF. BIBL.</u>
Braun	1978	(175)
Cannel et al.	1980	(173)
Chichester	1977	(176)
Chichester y Smith	1978	(171)
Dowdell y Webster	1980	(165)
Dreibelbis y McGuinness	1957	(172)
Kissel et al.	1973	(167)
Kitching y Bridge	1954	(164)
Low y Armitage	1970	(133)
Owens	1960	(170)
Ritchie et al.	1973	(168)
Tackett et al.	1965	(163)
Teske y Matzel	1976	(166)
Till y McCabe	1976	(174)
Upchurch et al.	1973	(134)

2.d-Esquemas

Para mostrar esquemas de lisímetros-monolito se pueden utilizar los de las cajas lisimétricas, por su semejanza en la construcción (ver apartado 1.4 de lisímetros).

Sin embargo, en la página siguiente, presentamos el esquema de lisímetro-monolito de Castany (127).



LEYENDA:

- A - Superficie del suelo
- B - Bloque de terreno "in situ" (monolito)
- C - Cubeta construida alrededor del bloque de terreno
- D - Salida hacia el colector
- E - Fondo "in situ" bajo el bloque de terreno

ESQUEMA DE LISÍMETRO-MONOLITO

L.3 - LISIMETROS DE PESADA

3.a - Definición y construcción

3.b - Estudios realizados: casos en la bibliografía

3.c - Relación de autores

3.d - Esquemas

3.ª - Definición y construcción

Un lisímetro de pesada consiste en un tanque que contiene el -- suelo a estudiar y está soportado por un mecanismo de pesada.

Cuando se necesitan datos sobre evaporación (en suelo desnudo) o evapotranspiración (en suelo con vegetación), se recurre a este tipo de lisímetro. Permiten registrar los cambios de peso -- originados por estos dos fenómenos.

Sirven para obtener valores exactos de la tasa de evapotranspi-- ración durante períodos de un día o menores; valores indispensa-- bles cuando se estudian las relaciones suelo-agua-planta y para predecir el uso de agua por las plantas (177,178).

Existen diferentes sistemas de pesaje:

- . balanza mecánica (179)
- . celda de carga (180,181)
- . flotante, basado en el principio de Arquímedes (182). El tan-- que con el suelo es soportado por un flotador contenido en una cuba llena de agua; el peso del lisímetro se deduce del hundf-- miento del flotador cuya posición se registra permanentemente. -- Se pueden descubrir variaciones de peso muy pequeñas (129). También puede haber dos cubas con un flotador cada una (ver esque-- ma pág.124).
- . hidráulico con manómetros o transformadores de presión incor-- porados (183).
- . combinación de los dos primeros sistemas (184).

Según Ritchie (184), el principal inconveniente de las balanzas

mecánicas de lectura automática es su elevado costo. Por eso se desarrollaron los sistemas tipo celda de carga y tipo flotante como alternativas de menor costo, aunque también de menor precisión. Mas tarde, se incrementó su sensibilidad mediante unos transformadores electrónicos convenientes.

La elección del sistema de pesaje depende de la sensibilidad deseada, de la frecuencia a la que se quiera realizar las mediciones y del costo.

Por lo general, el sistema de pesaje debe poseer una buena sensibilidad debido a la tara representada por el peso del suelo y el del tanque (177,129,185).

Como ejemplos, existen lisímetros de pesada que permiten registrar cambios de peso equivalentes a variaciones de 0,10 a 0,15, e incluso de 0,01 a 0,02 mm. de agua del sistema suelo/planta (178,186,187).

En ciertas estaciones de investigaciones agronómicas se emplean para obtener medidas de la evapotranspiración diaria, pequeños lisímetros dispuestos cada uno en unos pozos excavados en el suelo; la holgura entre las paredes del pozo y el lisímetro es pequeña, pero suficiente para que este último pueda ser fácilmente extraído de su alvéolo y transportado a una báscula por un pequeño aparato de elevación (129,185).

Los lisímetros de pesada son costosos, pero en ausencia de un método sustitutivo mejor se han construido muchas de estas instalaciones (177).

Como casos hallados en la bibliografía tenemos lisímetros de pe
sada:

- . rectangulares (188)
- . cuadrados (178,184)
- . circulares (189);

- . llenavos con monolitos de suelo (190,186)
- . llenados con capas de suelo colocadas en el mismo orden que -
el perfil de suelo (178)
- . llenados con suelo secado al aire y tamizado; para que éste -
alcance una densidad aparente adecuada, se golpea suavemente el
tanque lisimétrico con un mazo de caucho a medida que se añade
el suelo (189).

3.b - Estudios realizados: casos en la bibliografía

Los grandes lisímetros de pesada (179) y otros similares, pero más pequeños, han sido utilizados casi exclusivamente para medir la tasa de evapotranspiración de superficies plantadas con césped o con cultivos de caña de azúcar, maíz, soja, etc. (180).

No obstante se pueden realizar también mediciones de evaporación en un suelo sin vegetación (188).

McGuinness (191) demostró, que se pueden sustituir los valores sobre cambios de contenido en agua en el suelo obtenidos mediante el registro del peso de los lisímetros, por los valores obtenidos mediante el método denominado de los neutrones.

Como ejemplo de un lisímetro de pesada peculiar tenemos el diseñado para el estudio de árboles frutales. En este caso surgieron dificultades en la medición de la gran masa de suelo necesaria para alojar un árbol bajo condiciones representativas de un huerto. A pesar de tales inconvenientes, se pudieron obtener datos de interés sobre el agua utilizada por un árbol del género Citrus y sus necesidades de riego (180,186).

Una de las más recientes instalaciones lisimétricas de pesada es la descrita por Robbins (189), en 1990, consistente en 4 lisímetros de pesada continua colocados sobre una plataforma portátil. Sirve para estudios de movimientos de sales y de agua en el suelo. Al ser portátil esta instalación puede colocarse fuera del invernadero durante el buen tiempo y entrarla, situándola bajo luz artificial, durante la época fría.

3.c - Relación de autores.

En las páginas siguientes, damos una relación de autores que han utilizado los lisímetros de pesada en sus investigaciones.

Se podrá comprobar que no son numerosos. Es debido, como hemos dicho anteriormente al elevado costo de estas instalaciones.

Indicamos, igualmente, el año de realización de los estudios y el número de referencia bibliográfica.

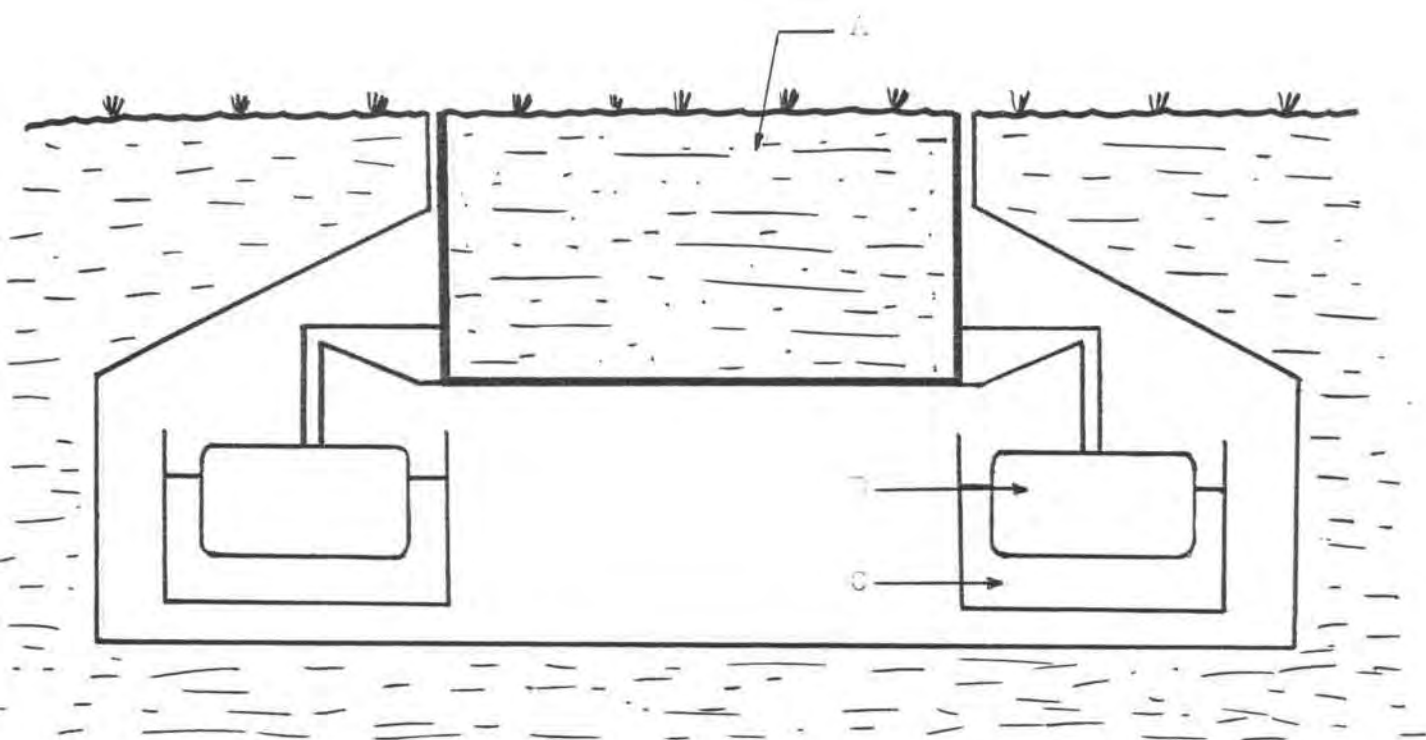
INVESTIGACIONES MEDIANTE LISIMETROS DE PESADA

<u>AUTORES</u>	<u>AÑO</u>	<u>REF. BIBL.</u>
Bhardwaj y Sastry	1979	(190)
Black et al.	1968	(188)
Green et al.	1974	(180)
Green y Bruwer	1979	(186)
Hanks y Shawcroft	1980	(181)
Hutson et al.	1980	(178)
King et al.	1956	(182)
McGuinness et al.	1961	(191)
Pruitt y Angus	1960	(179)
Ritchie y Burnett	1968	(184)
Robbins y Willardson	1980	(189)
Van Bavel	1961	(177)

3.d - Esquemas

En las páginas siguientes, mostramos algunos esquemas de lisímetros de pesada tipo, como por ejemplo:

- . un lisímetro flotante
- . un lisímetro hidráulico
- . y un lisímetro combinación de los sistemas balanza mecánica y celda de carga.



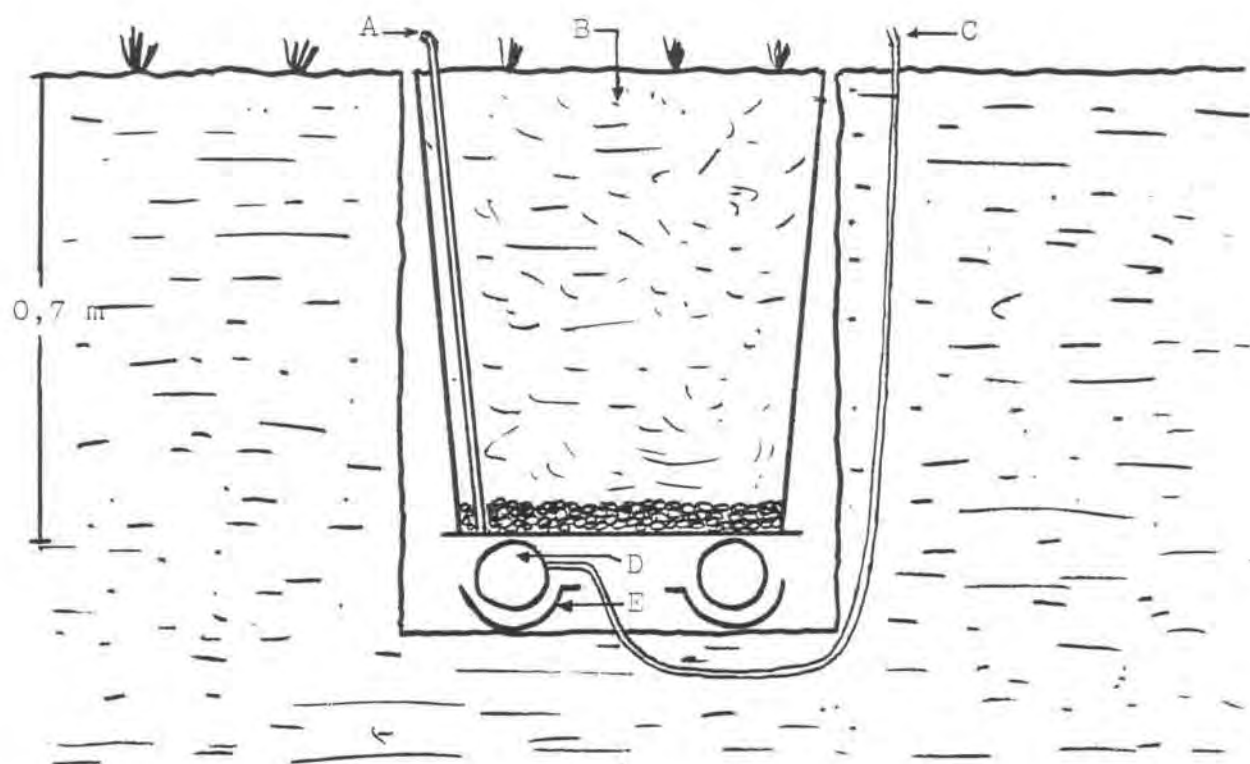
LEYENDA:

A - Pancue de suelo

B - Flotador anular

C - Caba anular de agua

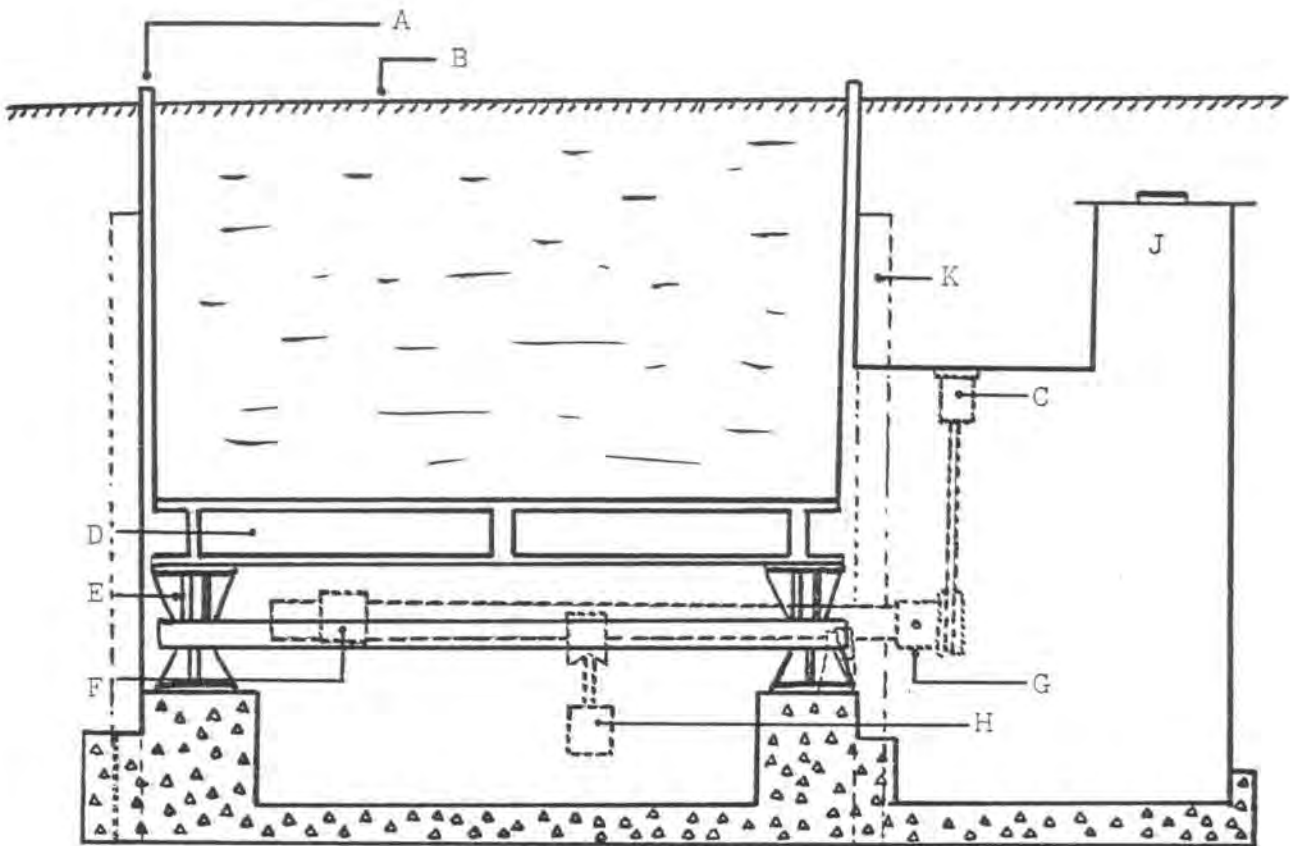
LISIETRO FLOTANTE DE POPOV (1939): es soportado sobre flotadores llenos de aire en una caba anular (192).



LEYENDA:

- A - Tubo para drenaje por succión
- B - Maceta plástica que contiene el suelo
- C - Manómetro
- D - Cámara de aire
- E - Neumático

LISIMETRO HIDRAULICO DE WINTER (1963): la maceta de plástico con el suelo descansa sobre una cámara de rueda de automóvil llena de agua situada sobre medio neumático (192,126).



LEYENDA:

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| A - Junta de caucho | J - Acceso para inspección |
| B - Superficie del suelo | K - Armazón vertical |
| C - Celda de carga | |
| D - Armadura de soporte | |
| E - Soporte | |
| F - Contrapeso fijo | |
| G - Báscula mecánica | |
| H - Contrapeso | |
| I - Base de cemento | |

ESQUEMA DE UN LISIMETRO DE PESADA (184)

L.4 - LISIMETROS DE TENSION

4.a - Definición y construcción

4.b - Estudios realizados: casos en la bibliografía

4.c - Relación de autores

4.d - Esquemas

4.a - Definición y construcción

Los escasos estudios hallados en la bibliografía acerca de los lisímetros de tensión nos facilitan una visión relativamente superficial sobre este tipo de lisímetros.

Los lisímetros de tensión son unas instalaciones que se colocan en el suelo, a cierta distancia de la superficie y que constan de un aparato de succión y de un filtro de alundum (abrasivo obtenido a partir de la bauxita en horno eléctrico (193), sin propiedades de intercambio e insoluble (194)). No tienen paredes, no alteran la estructura natural del perfil de suelo ni el desarrollo de las raíces y no retardan el movimiento normal del agua hacia abajo (194,195).

La tensión negativa (o succión) ejercida sobre el suelo a través de la placa-filtro de alundum se opone a la fuerza capilar del suelo en la capacidad de campo. Siempre que la tensión del suelo decrezca por un incremento en su contenido de agua debido a la lluvia o al riego, se extraerá esta agua del suelo hasta que se vuelva a la capacidad de campo (194).

Básicamente, para la colocación de los lisímetros de tensión se excava una zanja cuyas dimensiones se determinan por el número de aparatos a instalar. A la profundidad deseada se cava, en uno de los laterales de la zanja, una abertura lo suficientemente grande para colocar la placa de tensión de alundum. Para que ésta quede bien ajustada, se llena la abertura con el suelo extraído. El percolado se recoge en una bombona (194,196).

4.b - Estudios realizados: casos en la bibliografía

Los lisímetros de tensión pueden ser utilizados para la determinación de pérdidas de fertilizantes aplicados a suelos de cultivo o forestales así como para la medición del movimiento del agua y de sales solubles en los suelos (194).

La instalación tipo es la descrita por Cole, en 1958 (194), modificada en 1961 (197) y utilizada por Cochran et al., en 1970 (198). En este último caso, se colocaron tres a las profundidades de 15, 61 y 152 cm. para estudiar las variaciones en el volumen de percolado recogido. Para ello se mantuvo una succión de 0,1 bar durante el período de investigación, mediante un sistema de vacío regulado automáticamente.

Este lisímetro presentó un inconveniente: el suelo no debía tener ni rocas ni raíces; además resultaba difícil reproducirlo para un posterior estudio estadístico.

Jordan (196), diseñó un lisímetro de tensión barato, fácil de instalar, cuya reproducción era factible y que podía colocarse en suelos con rocas y raíces.

No hemos hallado otros ejemplos sobre este tema.

4.c - Relación de autores

En este caso, la relación de autores es corta.

Igual que para los otros tipos de lisímetros, indicamos el nombre del autor, la fecha de publicación de su estudio y el número de referencia bibliográfica.

<u>AUTORES</u>	<u>AÑO</u>	<u>REF. BIBL.</u>
Cochran et al.	1970	(198)
Cole	1958	(194)
Cole et al.	1961	(197)
Jordan	1968	(196)

4.d - Esquemas

En la página siguiente, mostramos dos esquemas explicativos de la instalación de los lisímetros de tensión.

La figura 1 representa una vista superior del terreno mientras que la figura 2 es un corte vertical.

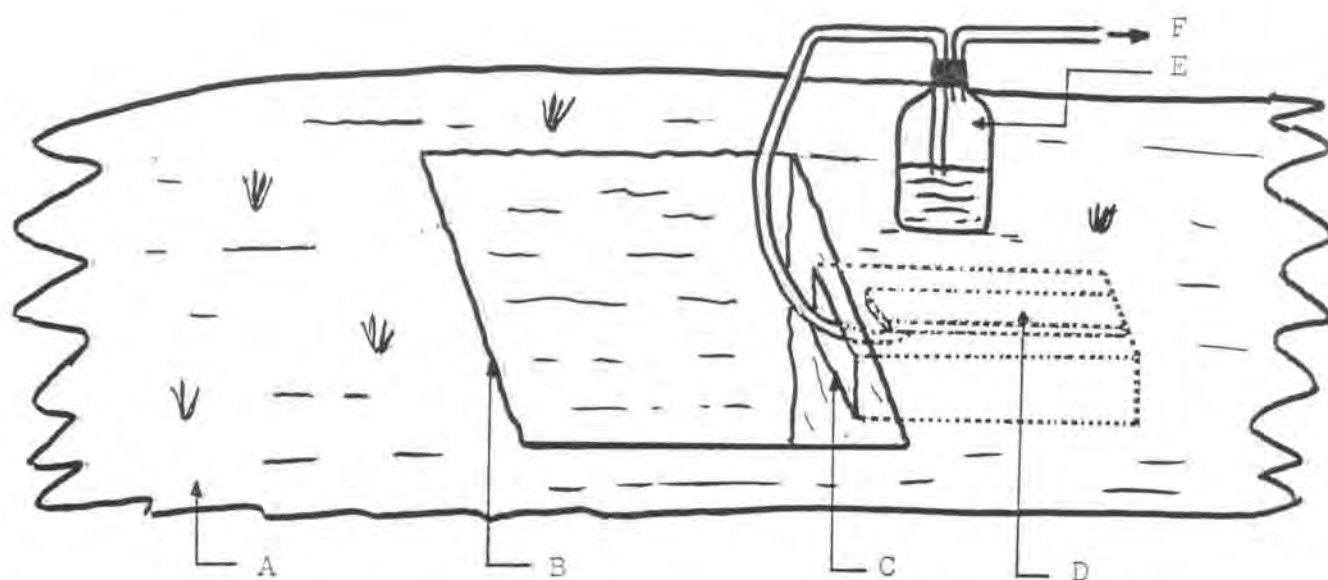


Figura 1

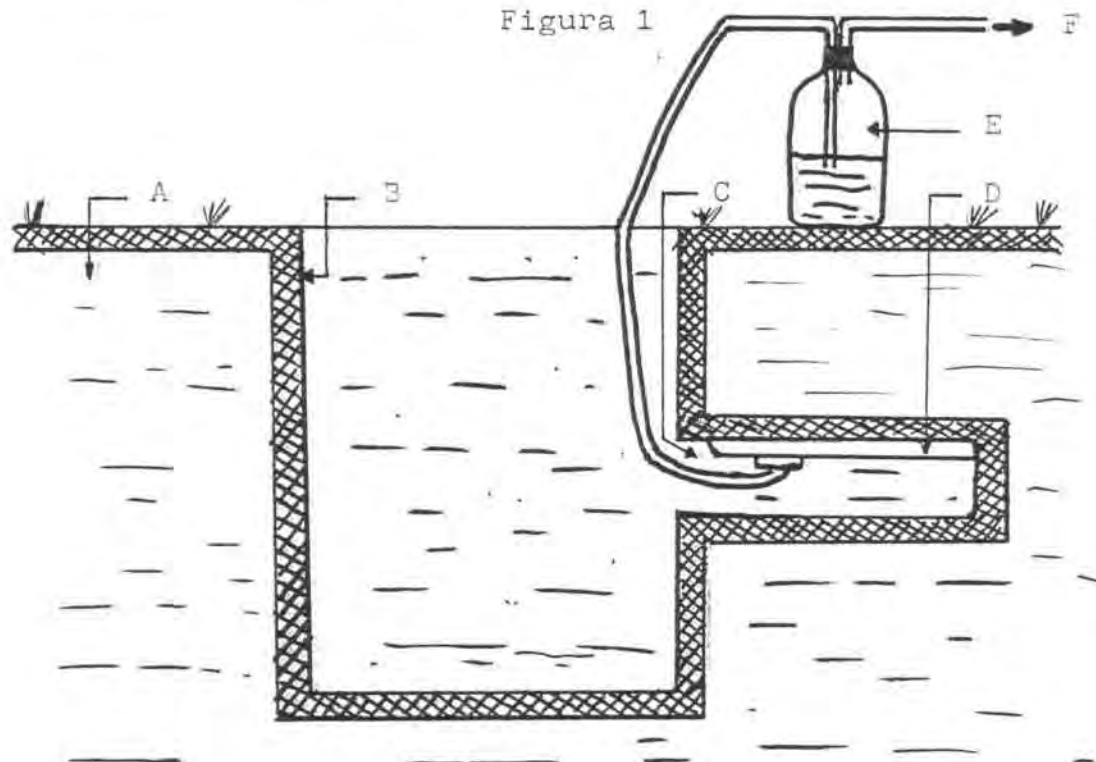


Figura 2

LEYENDA:

A - Suelo "in situ"

B - Zanja

C - Abertura lateral

D - Lisímetro de tensión

E - Bombona colectora del percolado

F - Al vacío

ESQUEMA DE LA INSTALACION DE UN LISIMETRO DE TENSION:

Figura 1: vista superior del terreno; Figura 2: corte vertical.

L.5 - COLUMNAS LISIMETRICAS

5.a - Definición y construcción

5.b - Estudios realizados: casos en la bibliografía

5.c - Relación de autores

5.d - Esquemas

5.ª - Definición y construcción

Denominamos columnas lisimétricas a las instalaciones experimentales, que en la bibliografía, se encuentran bajo el nombre de columnas de suelo (del inglés "soil columns").

Cada caso de columna lisimétrica encontrado en la bibliografía tiene sus características peculiares, pero todos tienen en común lo siguiente:

- . las columnas lisimétricas están constituidas por unos cilindros de materiales y dimensiones variables que se detallarán -- más adelante;

- . los cilindros, con la base cerrada, se llenan con una muestra del suelo a estudiar; la técnica de llenado es variable, ya que se puede colocar el suelo, dentro del cilindro habiendo alterado su estructura por secado al aire y posterior tamizado o bien manteniendo su estructura intacta. Los detalles se darán también más adelante;

- . existe un sistema de salida del percolado.

En el apartado 5.4, mostraremos unos esquemas de distintas columnas lisimétricas que servirán para poder apreciar las diferencias entre cada una.

Las columnas lisimétricas están relacionadas con las pequeñas cajas lisimétricas o microlisímetros , debido a su diámetro interno también inferior o igual a 30 cm. Las columnas lisimétricas se instalan en un laboratorio o invernadero mientras que los microlisímetros se instalan en el campo, enterrados en el suelo.

El hecho de poder instalar las columnas lisimétricas en un laboratorio e incluso en un invernadero, las distingue, no sólo de los microlisímetros, sino de todos los otros tipos de lisímetros estudiados con anterioridad.

Esta característica presenta ventajas e inconvenientes, que analizaremos en el apartado 2.3.3 .

Existe un elevado número de estudios realizados mediante columnas lisimétricas, pero no hay uniformidad en los modelos. Varían considerablemente de una a otra instalación las medidas -- del cilindro, su material y la técnica de llenado.

Medidas del cilindro

En las páginas, damos una relación de medidas, tomando como referencia el diámetro interno del cilindro. Varía entre 1,2 cm. y 30 cm. También varía la altura: entre 5 cm. y 275 cm. Existen inclusive unas columnas de suelo de 4 - 6 m. de altura y 25 cm. de diámetro llamadas reactores desnitrificantes (199). Instalaciones de este tipo no son corrientes.

Según "Land Treatment of Municipal Wastewater" (200), han sido utilizados con éxito, para estudios de infiltración, lisímetros

con diámetros inferiores a 7,6 ó 10,2 cm. en particular lisímetros llenados con suelo relativamente inalterado.

Las columnas lisimétricas son generalmente de sección circular pero existen ciertas excepciones:

. columna de 1 m. de altura y 13 x 13 cm. de medidas interiores del cilindro (201).

. columna de 15 cm. de altura y 15 cm. de lado (202).

También es excepción el hecho de denominar columna de suelo a una instalación de 75cm. de diámetro tal y como lo hacen O'Connor et al. (203).

Las medidas influyen en los resultados que se pueden obtener mediante columnas lisimétricas, de la siguiente forma:

. a mayor sección y profundidad, mayor aproximación a las condiciones naturales;

. cuanto más profundo sea el lisímetro, más exactos serán los datos obtenidos sobre propiedades hidráulicas ya que éstas dependen de la profundidad del perfil (204,205).

Routson y Brown (206), demostraron que el movimiento de soluciones acuosas a través de columnas de arena, secada al aire, es función de la longitud de la columna y del tiempo. Lo representaron por la siguiente ecuación:

$$S = E \cdot T^f$$

donde S es la distancia recorrida por el frente de agua desde la superficie del suelo en el tiempo T y donde E y f son parámetros empíricos que deben ser evaluados para cada suelo.

Algunos autores han realizado un mismo estudio en distintas columnas lisimétricas, todas de igual diámetro, pero con diferentes alturas:

. columnas de 10,5 cm. de diámetro y 45 a 90 cm. de altura, según la cantidad de agua aplicada (207);

. columnas de 3,7 cm. de diámetro y 25, 50, 100 y 200 cm. de altura (208).

RELACION DE MEDIDAS DE COLUMNAS LISIMETRICAS
DIAMETRO INTERNO X PROFUNDIDAD (en cm)

<u>MEDIDAS</u>	<u>AUTOR</u>	<u>AÑO</u>	<u>REF. BIBL.</u>
1,20 x 20	Frankenberger	1979	(208)
2,00 x 40	Berg	1958	(209)
2,50 x 102	La Fleur	1976	(210)
2,50 x 40	Thomas	1970	(211)
2,54 x 55 y 77	Terkeltoub	1971	(212)
3,00 x 25	Smith	1972	(213)
3,40 x 20	Frankenberger	1979	(208)
3,50 x 20, 50, 100 y 200	Routson	1978	(206)
3,70 x 24	Cary	1972	(214)
4,00 x 15	Elrick	1966	(215)
4,40 x 43	Ben-Yephet	1979	(216)
4,40 x 45	Young	1973	(217)
5,00 x 15	Rible	1954	(218)
5,05 x 90	Shalhevet	1967	(219)
5,40 x 16	Park	1980	(220)
5,64 x 25	Lai	1972	(221)
5,75 x 150	Mansell	1963	(222)
6,00 x 5 y 10	Starr	1973	(223)
6,25 x 24 y 35	Staple	1966, 1969	(224, 225)
6,50 x 10	Gupta	1964	(226)
6,50 x 30	Yaron	1966	(227)
7,00 x 18	Gilbert	1979	(228)
7,29 x 6 y 7	McIntyre	1972	(229)

.../...

.../...

<u>MEDIDAS</u>	<u>AUTOR</u>	<u>AÑO</u>	<u>REF. BIBL.</u>
7,50 x 30	Corey	1967	(230)
7,50 x 20	Miller	1963	(231)
7,50 x 100	Barbarick	1979	(232)
7,60 x 70	Simons	1979	(234)
7,62 x 150	Saxena	1975	(233)
No hallados en la bibliografía de 8 ni de 9 cm de diámetro			
10,0 x 115	Simons	1979	(234)
10,0 x 275	Gilbert	1979	(228)
10,0 x 275	Lance	1980	(235)
10,5 x 45 y 90	Gardner	1969	(207)
11,0 x 35	Sinoh	1974	(236)
12,0 x 50	Severson	1975	(237)
12,1 x 30,5	Lue-Hin	1979	(238)
12,5 x 65	Jones	1965	(289)
14,0 x 240	Dahab	1977	(239)
15,0 x 10	Colman	1946	(240)
15,0 x 50	Ross	1973	(241)
15,0 x 60	Childs	1977	(242)
15,0 x 100	Kowalik	1979	(243)
15,0 x 123	Marshall	1949	(244)
15,0 x 275	Lance	1980	(245)
20,0 x 60	Oster	1979	(246)
25,0 x 30	Douma	1979	(247)
30,0 x 40	Douma	1980	(248)
30,0 x 60	Cassel	1974	(249)

Material del cilindro

El material que más se utiliza para la construcción de las columnas lisimétricas es el plástico. Se usan principalmente dos tipos de plásticos:

- . cloruro de polivinilo (PVC)
- . plexiglas (lucite, perspex, plástico acrílico)

Cloruro de polivinilo

Se obtiene por polimerización del cloruro de vinilo: $\text{CH}_2=\text{CHCl}$, obteniéndose en forma de un polvo blanco muy fino. A 160 - 170 °C, se vuelve plástico y al solidificarse da el producto deseado.

La dificultad de elaboración como consecuencia de sus propiedades ha sido resuelta mediante la adición de plastificantes; productos de elevado punto de ebullición que hacen flexible la resina al solvatar las macromoléculas.

Las principales propiedades del PVC son:

- . producto muy duro; gran resistencia a la tracción y a la deformación incluso a pesar de duras condiciones de trabajo, principalmente, exposición al calor, al pleno sol y a la acción del ozono;
- . resistente a la mayoría de disolventes (insoluble en agua);
- . inerte a los agentes químicos más diversos;
- . inodoro;

- . ininflamable;
- . puede serrarse y tornearse, etc., pues sus propiedades físicas son análogas a las del metal;
- . buena resistencia al uso.

Plexiglas

Denominado también lucite, perspex o plástico acrílico.

Es un material relativamente costoso, debido a la serie de reacciones necesarias para su elaboración. Se obtiene a partir del metacrilato de metilo: $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COO}-\text{CH}_3$, compuesto acrílico fácil de obtener. Se polimeriza en presencia de 0,02% de peróxido de benzoilo y un 3 - 4% de ftalato de dibutilo como plastificante; se calienta a unos 70 °C y cuando el producto ha adquirido cierta consistencia, se vierte en el molde y se deja en ambiente caliente durante 18 - 72 h para que concluya la polimerización.

Las principales propiedades del Plexiglas son:

- . producto muy transparente, incluso más que el vidrio (vidrio orgánico);
- . muy ligero: dos veces menos denso que el vidrio;
- . muy resistente: presenta gran estabilidad a los agentes atmosféricos, particularmente al sol, a la humedad, a los cambios de temperatura y a los agentes químicos tales como el oxígeno, el ozono y el cloro;
- . se trabaja fácilmente, pudiendo ser serrado y perforado;
- . como termoplástico, puede estamparse y moldearse por encima -

de los 150 °C (250).

Comparaciones y diferencias

El plexiglas presenta la ventaja sobre el PVC de ser muy ligero lo cual favorece su transporte y su manejo. Otra ventaja consiste en que es transparente. Esto permite la observación de posibles frentes de agua anormales entre la muestra de suelo y la pared del cilindro y de otros fenómenos tales como el crecimiento de microorganismos, etc. (251).

Sin embargo, el plexiglas presenta el inconveniente de ser más costoso (250,251).

El PVC presenta la ventaja de su gran dureza, lo cual permite recoger muestras de suelo no alteradas por presión dentro del terreno. También es más barato.

En la bibliografía consultada hemos comprobado que hay más autores que han utilizado plexiglas que PVC (ver relación de autores; páginas 146 a 150).

Para la construcción de columnas lisimétricas se han utilizado otros materiales, tales como:

- . vidrio
- . latón
- . acero (galvanizado o estañado)
- . yeso.

Estos materiales no tienen las propiedades de los plásticos - en cuanto a resistencia, peso, estabilidad, etc., por lo cual - su uso no está tan extendido para la construcción de columnas - lisimétricas.

En las publicaciones consultadas, los autores no mencionan las razones de la elección de uno u otro material. La única referen-cia sobre este tema la hace Bitton (252), que indica únicamente que las columnas de vidrio, plexiglas y cloruro de polivinilo se utilizan tradicionalmente en experimentos de transporte de - bacterias y virus a través del suelo.

A pesar de todo lo dicho con anterioridad, los cilindros hechos de PVC o Plexiglas presentan, ambos, un inconveniente cuando se coloca en su interior la muestra de suelo. Al ser revestimien-tos de pared rígida, pueden desarrollarse, al aplicar agua a -- las columnas lisimétricas, unos caminos de flujo de agua no de-tectados entre el revestimiento y la muestra, resultando datos erróneos en las medidas de permeabilidad y tasa de infiltración (253).

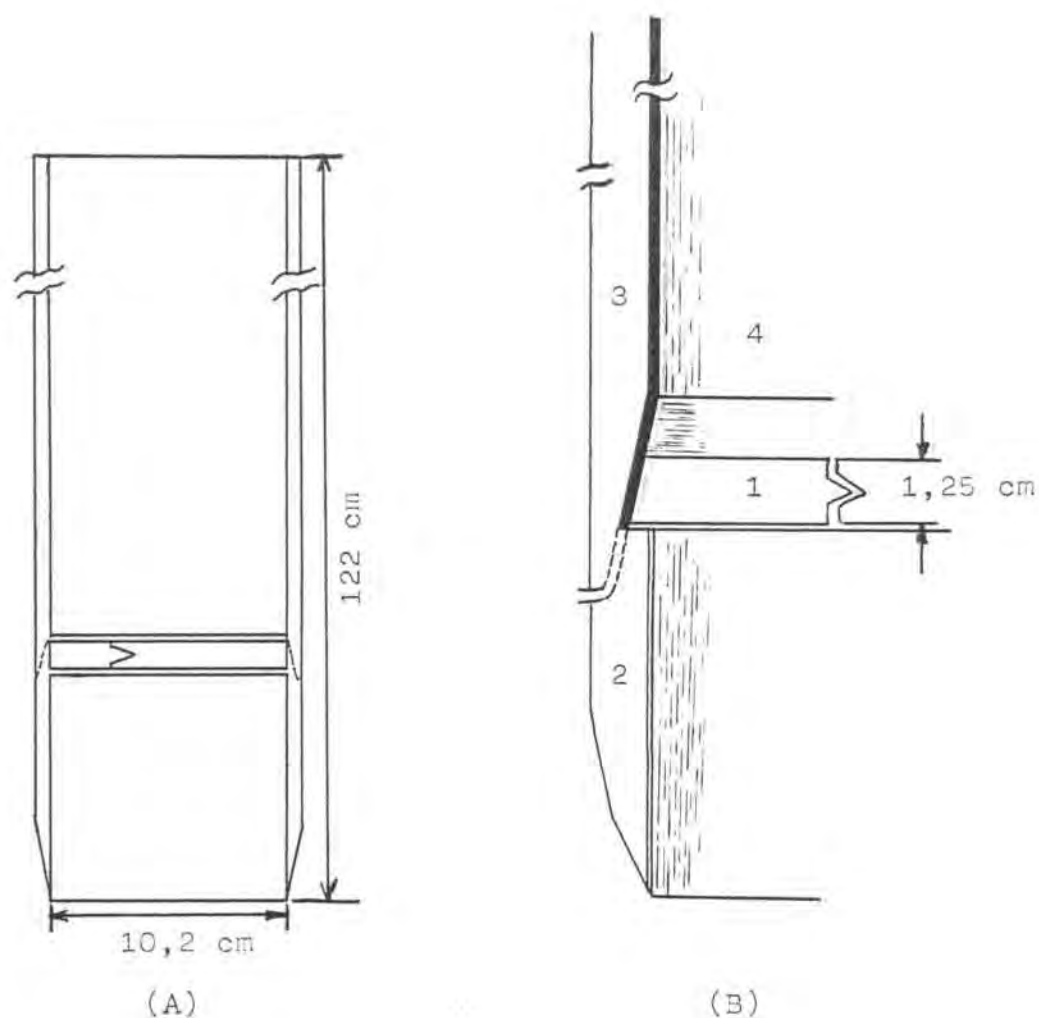
Las muestras de suelo pueden cubrirse con parafina o plástico - fluido. Con este método no se desarrollan caminos de flujo en--tre la muestra y el revestimiento debido a que éste llena los - poros del suelo en contacto con él.

También puede colocarse la muestra de suelo en un cilindro de - material termocontraíble; resina tetrafluoroetileno (TFE), poli-lefinas o PVC irradiado; estos materiales encogen, bajo el ca--

lor, a la mitad de su diámetro original (253).

Mielke (251) desarrolló una técnica para disminuir el riesgo de alteración de la muestra de suelo, en la que se puede colocar ésta dentro del cilindro de material termo-contráible en la misma operación de toma de muestras. Consiste en introducir en el suelo un aparato de toma de muestras de 10,2 cm de diámetro y 122 cm de alto, mediante una sonda hidráulica instalada en un cañón. El aparato de toma de muestras tiene en su interior el cilindro de material termo-contráible. Una vez dentro del suelo, se utiliza, para contraer el plástico, una pistola portátil de aire caliente (20 amp., 400 a 538 °C, con capacidad de salida de aire de 0,25 m³/min). La energía necesaria la proporciona un generador portátil de corriente alterna (115/230 v., 3500 w). - En la página siguiente, mostramos el corte transversal del aparato de toma de muestras.

Este sistema, a pesar de proporcionar un soporte adecuado para el manejo de las muestras de suelo y pruebas posteriores así como evitar el desarrollo anormal de frentes de agua, resulta costoso y requiere una instalación un tanto compleja.



LEYENDA:

- 1 - Anillo de retención de la muestra de suelo
- 2 - Extremo cortante (que penetra en el suelo)
- 3 - Cuerpo del aparato de toma de muestras
- 4 - Cilindro de plástico termo-contráctil

CORTE TRANSVERSAL DEL APARATO DE TOMA DE MUESTRAS (Mielke (251))

(A) - Corte transversal completo del aparato de toma de muestras de 10,2 cm de diámetro por 122 cm de longitud; (B) - Corte detallado del extremo cortante y del anillo de retención en el aparato de toma de muestras de suelo.

MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DE COLUMNAS LISIMETRICAS

1--CLORURO DE POLIVINILO

<u>AUTOR</u>	<u>AÑO</u>	<u>REF. BIBL.</u>
BARBARICK	1979	(232)
BITTON	1979	(252)
CHILDS	1977	(242)
GILBERT	1979	(228)
LANCE	1978, 1980	(254, 235, 245)
ROSS	1978	(241)
SIMONS	1979	(234)

MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DE COLUMNAS LISIMETRICAS

2--PLEXIGLAS

<u>AUTOR</u>	<u>AÑO</u>	<u>REF. BIBL.</u>
BEN-YEPHET	1979	(216)
BITTON	1979	(252)
CARY	1972	(214)
COREY	1967	(230)
DAHAE	1977	(239)
GARDNER	1969	(207)
GUPTA	1964	(226)
GURR	1962	(202)
HANKS	1965	(181)
JONES	1965	(152)
KISSEL	1973	(167)
KOWALIK	1979	(243)
LUE-HING	1979	(238)
MANSSELL	1968	(222)
NIELSEN	1961	(254)
PARK	1980	(220)
RITCHIE	1973	(255)
SAXENA	1975	(233)
SHALMEVET	1967	(219)
SINGH	1974	(236)
SMITH	1972	(213)
STARR	1976	(223)
TERKELTOUB	1971	(212)

WIEGAND	1962	(256)
WOOD	1975	(201)
YARON	1966	(227)
YOUNG	1973	(217)

MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DE COLUMNAS LISIMETRICAS

3--OTROS MATERIALES3.1 - VIDRIO

<u>AUTOR</u>	<u>AÑO</u>	<u>REF. BIBL.</u>
BERG	1959	(209)
BITTON	1979	(252)
FRANKENBERGER	1979	(208)
JACKSON	1976	(257)
LA FLEUR	1976	(210)
ROUTSON	1978	(206)
THOMAS	1970	(211)

3.2 - LATON

<u>AUTOR</u>	<u>AÑO</u>	<u>REF. BIBL.</u>
COLMAN	1946	(240)
McINTYRE	1972	(229)
RIBLE	1954	(218)
STAPLE	1966	(224)
STAPLE	1969	(225)

MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DE COLUMNAS LISIMETRICAS

3.3 - ACERO

<u>AUTOR</u>	<u>AÑO</u>	<u>REF. BIBL.</u>
CASSEL	1974	(249)
MILLER	1963	(231)
OSTER	1979	(246)

3.4 - YESO

<u>AUTOR</u>	<u>AÑO</u>	<u>REF. BIBL.</u>
BOUMA	1980	(248)

Técnicas de llenado de las columnas lisimétricas

Igual que para los otros tipos de lisímetros, excepto para los de tensión, por razones óbvias (ver apartado 4.1 - Definición y construcción de lisímetros de tensión), existen dos técnicas -- principales de llenado de las columnas lisimétricas:

. mediante muestras de suelo cuya estructura se altera por tamizado y que se compactan cuidadosamente dentro del cilindro lisimétrico hasta obtener la densidad aparente de la muestra no alterada, en el campo;

. mediante muestras de suelo cuya estructura se procura no alterar y que se obtienen con aparatos de toma de muestras especiales.

Suelo alterado

El modo operatorio consiste en tamizar la muestra de suelo con tamiz de luz de malla de 2 mm.

El tamizado sirve para eliminar materiales gruesos y partículas extrañas del suelo, para dejarlo lo más homogéneo posible (258, 252).

El uso de la luz de malla del tamiz sirve para obtener los elementos del suelo inferiores a 2 mm. La "Asociación Internacional de Ciencia del suelo" los denomina "tierra fina" que se subdivide en:

- . arenas gruesas: de 2 mm a 0,2 mm;
- . arenas finas: de 0,2 mm a 50 micras;
- . limos gruesos: de 50 a 20 micras;
- . limos finos: de 20 a 2 micras;
- . fracción fina: elementos inferiores a 2 micras.

Frecuentemente, se emplea la palabra "arcilla" en lugar de frac
ción fina. (259).

Además de la clasificación anterior existen otras en la ciencia de la edafología. Casi todos los países poseen una clasifica- -
ción propia. Puesto que prácticamente todas las publicaciones -
consultadas provienen de Estados Unidos, citaremos la clasifica-
ción que el USDA (U. S. Department of Agriculture) utiliza des-
de 1949 (260):

<u>Fracción</u>	<u>Diámetro (mm)</u>
Arena muy gruesa	2,0 - 1,0
Arena gruesa	1,0 - 0,5
Arena mediana	0,5 - 0,25
Arena fina	0,25 - 0,10
Arena muy fina	0,10 - 0,05
Limo	0,05 - 0,002
Arcilla	menos de 0,002

Se encuentran descritas muchas más clasificaciones como la belga,
rusa y alemana, que creemos no es indispensable citar.

Para permitir fijar con precisión los porcentajes de los distin-
tos constituyentes de un suelo, se deberá realizar el análisis

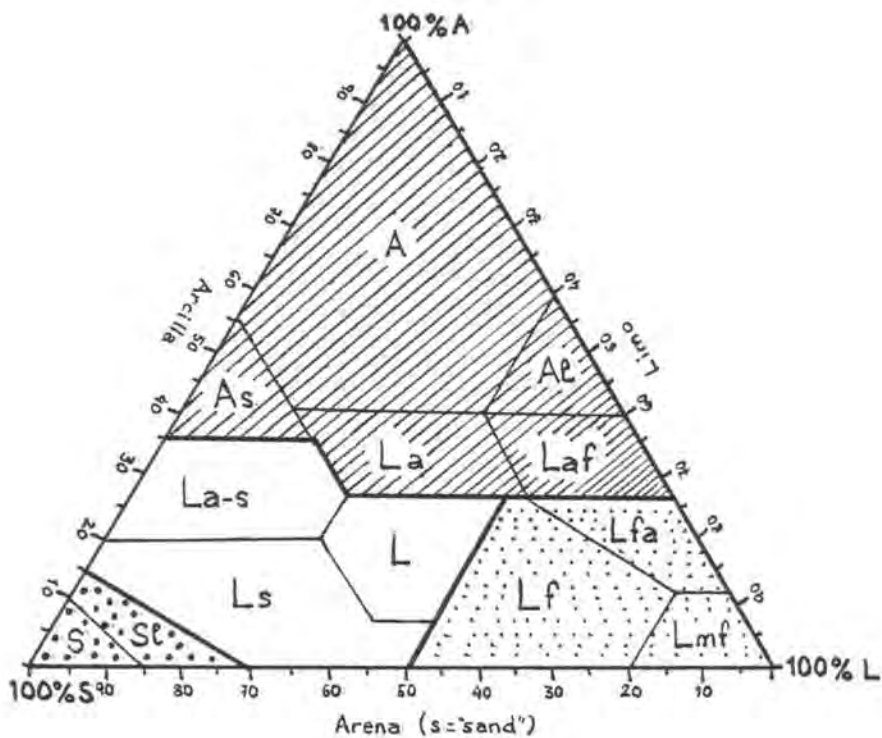
granulométrico (ver apartado 2.1.3.1.a).

La mayor parte de estudios realizados mediante columnas lisimétricas llenadas con suelo alterado, se ha llevado a cabo con alguna de las siguientes trece clases texturales de la clasificación americana, representadas en el diagrama de la pág. siguiente:

- . arcilla
- . arcilla limosa
- . limo arcilloso
- . arcilla arenosa
- . limo arcilloso arenoso
- . limo
- . limo arenoso
- . limo fino
- . limo fino arcilloso
- . limo muy fino
- . arena limosa
- . arena (259).

De entre los autores que citan haber tamizado el suelo, hemos encontrado dos casos en que la luz de malla del tamiz utilizado no ha sido de 2 mm: Huggenberger (261) y Marshall (244), que usaron tamices de luz de malla de 1 mm. y 0,625 mm. respectivamente.

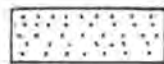
DIAGRAMA DE LAS TEXTURAS (Estados Unidos)



Las trece clases texturales han podido ser reagrupadas en cuatro grandes categorías que corresponden a propiedades físicas del -- suelo fundamentalmente diferentes (259):



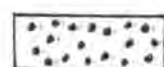
Textura arcillosa



Textura limosa



Textura equilibrada



Textura arenosa

La alteración de la estructura del suelo puede producirse simplemente durante la transferencia de este suelo a la columna experimental, sobre todo si no se han utilizado aparatos adecuados para su obtención (véase "suelo no alterado").

Según Cassel (249), alterar la estructura del suelo tiene por resultado una reducción en la densidad aparente y un incremento en el contenido medio de agua del perfil de suelo.

Los resultados que se obtienen sobre movimiento de agua en suelos alterados difieren de los que se obtendrían en suelos naturales (163,167,168,177,249).

LLENADO DE COLUMNAS LISIMETRICAS CON SUELO ALTERADO
 RELACION DE AUTORES QUE HAN UTILIZADO ESTA TECNICA

<u>AUTOR</u>	<u>AÑO</u>	<u>REF. BIBL.</u>
BARBARICK	1979	(232)
BEN-YEPHET	1979	(216)
BERG	1959	(209)
BITTON	1979	(252)
CARY	1972	(214)
CASSEL	1974	(249)
COREY	1967	(230)
DAVIDSON	1972	(262)
ERH	1967	(263)
FERGUSON	1962	(264)
GARDNER	1969	(207)
GILBERT	1979	(228)
GUPTA	1964	(226)
HUGGENBERGER	1972	(261)
KHAN	1968	(265)
LA FLEUR	1976	(210)
LANCE	1978	(266)
LANCE	1980	(235, 245)
LUE-HING	1979	(238)
MARSHALL	1949	(244)
MILLER	1963	(231)
NIELSEN	1961	(254)
ROUTSON	1978	(206)
SAXENA	1975	(233)
SHALMEVET	1967	(219)

<u>AUTOR</u>	<u>AÑO</u>	<u>REF. BIBL.</u>
SINGH	1974	(236)
SMITH	1972	(213)
STAPLE	1966	(224)
STAPLE	1969	(225)
TERKELTOUB	1971	(212)
THOMAS	1970	(211)
WOOD	1975	(267)
YARON	1966	(227)
YOUNG	1973	(268)

Suelo no alterado

El número de estudios realizados mediante columnas lisimétricas llenadas con muestras de suelo no alterado es relativamente bajo.

El modo operatorio consiste en obtener una muestra o bloque de suelo ("soil core") manteniendo su estructura lo más intacta posible, respetando el perfil original. El suelo no se tamiza.

Un suelo no alterado es conveniente para medir propiedades físicas y químicas, en particular contenido en agua y movimiento de nutrientes.

Para obtener una muestra de suelo con la mínima alteración posible, el aparato de toma de muestras y la técnica deben escogerse de acuerdo con la textura y la consistencia del suelo a muestrear (269).

Visión histórica de los aparatos de toma de muestras

Los aparatos de toma de muestras de suelo inalterado han ido -- evolucionando con el tiempo. Uno de los primeros autores que se ocuparon de este tema fue Veihmeyer (270), en 1929.

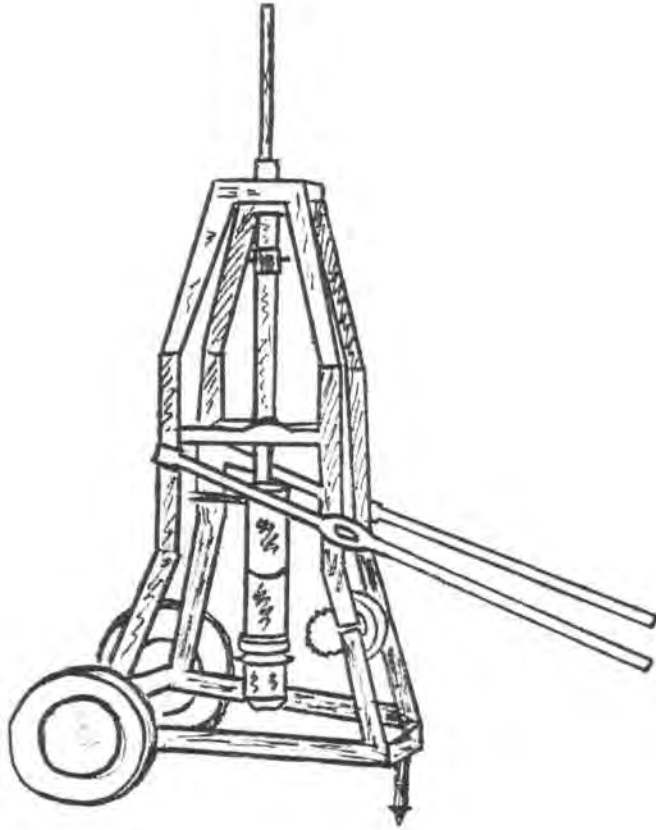
Coile (271), Lutz (272) y Swanson (273), en 1936, 1947 y 1949 -- respectivamente, diseñaron aparatos muestreadores tipo "martillo"; el cilindro que iba a contener la muestra inalterada se -- introducía dentro del suelo, golpeándolo contra éste.

El aparato de Lutz, que Tanner (274) consideró ser uno de los mejores para obtener pequeñas muestras de suelo no alterado, tuvo, no obstante sus inconvenientes. Se comprobó que no era posible aguantarlo en posición vertical cuando se querían coger -- muestras de las capas de suelo más compactas y que se requería aplicar una fuerza suplementaria. Además, causaba alteración de la muestra debido al impacto contra el suelo, evidenciada con -- escamas y resquebrajaduras en la superficie (275).

Swanson realizó una modificación del aparato de Lutz, que constaba de un trípode para mantenerlo en posición vertical rígida durante la operación de toma de muestras; permitía obtener las muestras fácil y rápidamente. Véase el esquema del aparato en -- la página siguiente. Con muestras de suelo obtenidas mediante -- este aparato, Swanson estudió la influencia del cultivo y de -- herbicidas en la estructura del suelo y en el rendimiento de -- las cosechas (276).

En 1947, Kelley y Haise construyeron un aparato de podía coger muestras de suelo no alterado de 5 y 10 cm. de diámetro y hasta 1,8m. de longitud (277), pero, según Mielke (278), este aparato requería un considerable trabajo manual por lo que, en 1948, -- Kelley et al. (279) construyeron otro con similar capacidad de muestras y de manejo más sencillo.

Posteriormente, se diseñaron los aparatos de toma de muestras -- tipo "hélice", es decir se hace penetrar el cilindro colector -- de muestras dentro del suelo por rotación y no golpeándolo como lo hacen los aparatos tipo "martillo".

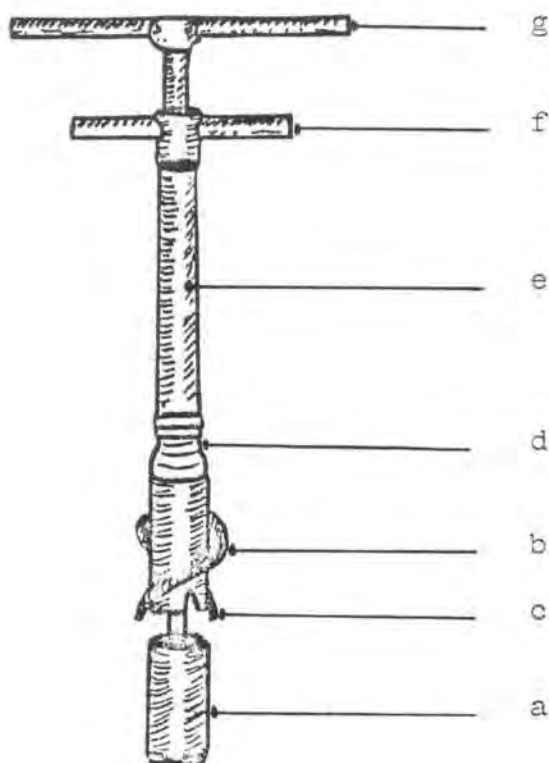


APARATO DE TOMA DE MUESTRAS -TIPO MARTILLO-DE SWANSON (273)

Con el aparato denominado "San Dimas" que mostramos en la página siguiente, se pueden obtener muestras de suelo no alterado de 10 - 15 cm de altura, pudiendo ser manejado con facilidad por dos personas (280).

Se construyeron otros aparatos tipo "hélice", tales como el "Snake River"; éste permite coger muestras tanto en terreno liso como en vertientes de colinas y puede transportarse con facilidad -- (275).

McIntyre (269) describió un aparato para coger muestras de suelo con una consistencia entre blanda y media.



LEYENDA:

- a - colector de muestras
 - b - cortador rotativo con 2 alas helicoidales a 45 grados
 - c - piezas cortantes con un bisel de 60 grados
 - d - tubo reductor de unión del cortador rotativo a su eje y manivela
 - e - eje de operación para el cortador rotativo (b)
 - f - manivela de (e)
 - g - manivela del aparato montado, unida al eje de operación del colector de muestras
- El cortador y su eje están graduados para indicar la profundidad de la toma de muestras.

APARATO DE TOMA DE MUESTRAS NO ALTERADAS TIPO "HELICE" (230)

Los procedimientos más modernos de obtención de muestras de suelo sin alterar su estructura, hallados en la bibliografía son los siguientes.

. forzando un cilindro de acero galvanizado (30 cm. de diámetro y 91 cm. de altura), revestido por dentro y por fuera con una fina capa de aceite, dentro del suelo húmedo mediante una prensa hidráulica instalada en un camión. Los bordes del cilindro están biselados para desplazar exteriormente el suelo, evitando que se compacten las muestras. En algunas ocasiones tienen que usarse simultáneamente dos prensas hidráulicas para forzar el cilindro hasta la profundidad deseada. El suelo se extrae manualmente de alrededor de cada cilindro. Se coloca un soporte de acero en la base de la muestra; luego, ésta se envuelve en paja y se transporta al invernadero. La práctica ha demostrado que con este método se estropea una de cada cuatro muestras, durante la excavación (231).

. introduciendo dentro del suelo un cilindro de cloruro de polivinilo mediante un equipo de perforación instalado en un camión. Se extrae luego a mano. Las muestras se cogen por duplicado a 0,5 m. una de otra (232).

. Oster (233), utilizó un procedimiento muy parecido.

El contenido de humedad del suelo en el momento de la introducción del cilindro, así como el tipo de suelo deben tenerse en cuenta.

En general, el suelo tiene que estar húmedo. Un contenido de --

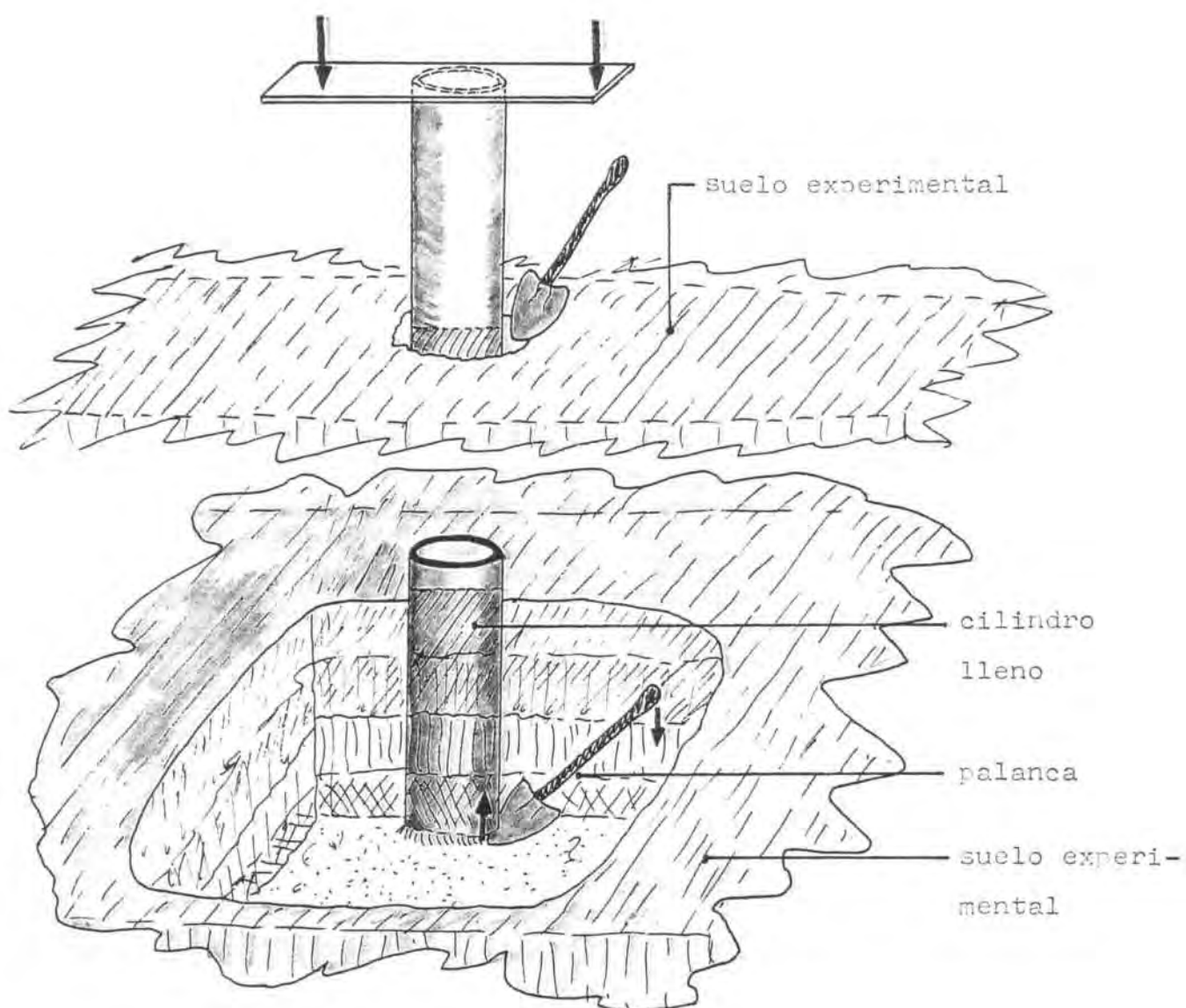
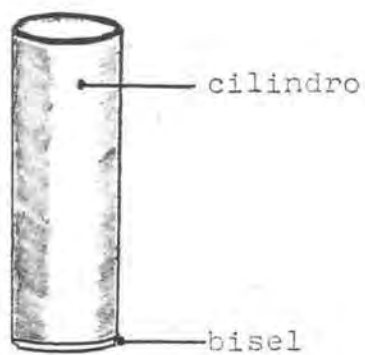
agua en el suelo cercano a la capacidad de campo permite obtener buenas muestras; aunque también, según el procedimiento usado pueden obtenerse sin dificultad con un contenido menor.

Es preferible trabajar con suelos que no contengan piedras y cuya profundidad sea la suficiente para permitir una adecuada toma de muestras. Las profundidades hasta las cuales se podrá tomar las muestras y la presión necesaria para introducir el cilindro variarán con los distintos tipos de suelo (284).

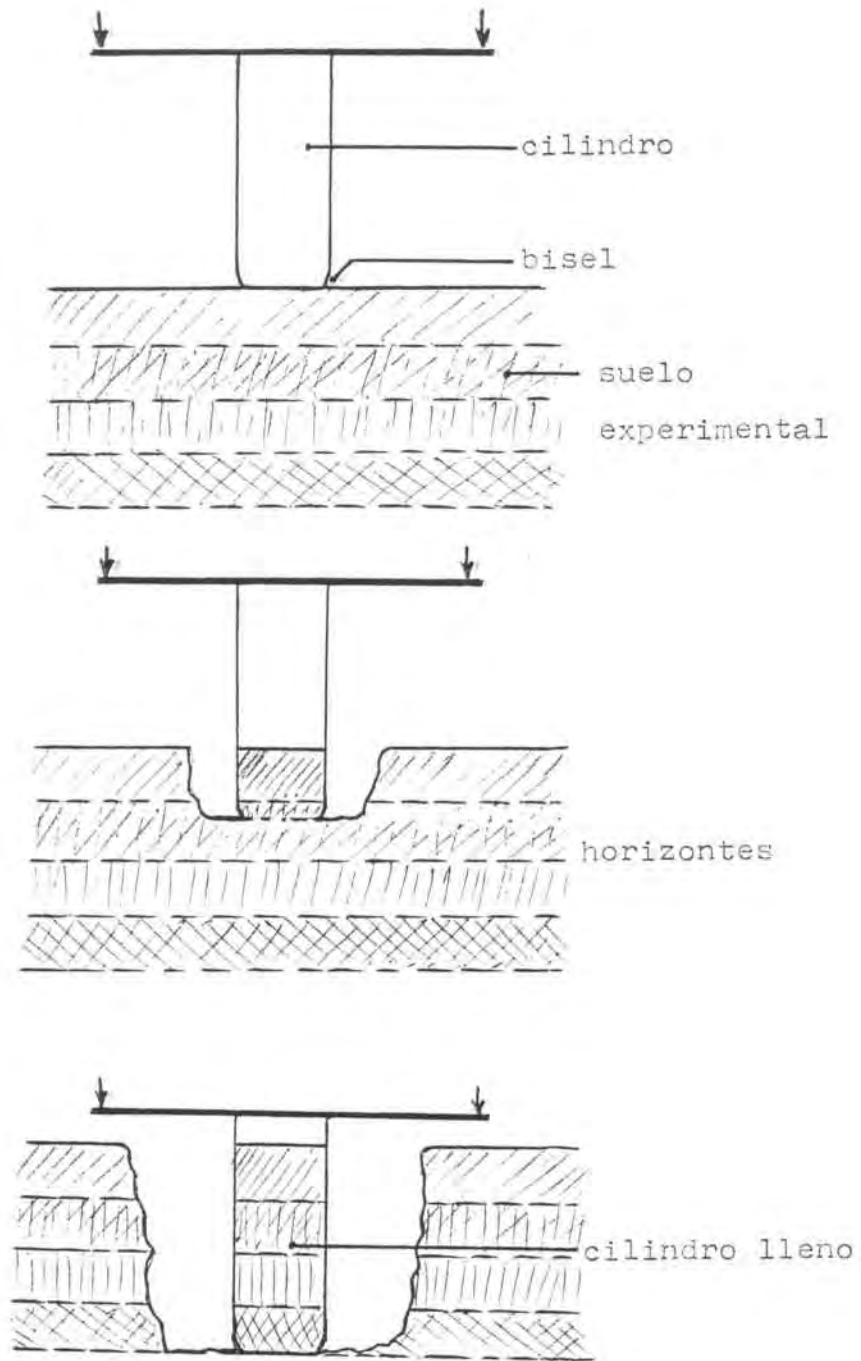
El fundamento de la obtención de muestras de suelo sin alterar su estructura es, como se puede apreciar en los esquemas de las páginas 165 y 166, el siguiente:

- . se utiliza un cilindro cuyos bordes inferiores estén biselados;
- . el material de este cilindro debe ser lo suficientemente resistente para no deformarse con la presión aplicada;
- . se hace penetrar el cilindro dentro del suelo húmedo ejerciendo una presión, por ejemplo mediante una plataforma o prensa de un camión;
- . a medida que penetra el cilindro dentro del suelo, se va cavando a su alrededor;
- . una vez lleno, se extrae el cilindro haciendo palanca.

En todos los casos, el equipo de sondeo debe estar bien asegurado para permitir obtener muestras de la máxima longitud (251).



OBTENCION DE MUESTRAS CILINDRICAS DE SUELO NO ALTERADO



OBTENCION DE MUESTRAS CILINDRICAS DE SUELO NO ALTERADO: corte transversal.

Una tercera técnica de llenado de las columnas, en la cual la estructura del suelo no se altera demasiado y que, además, no requiere tantas precauciones como la ahora expuesta, consiste en extraer cuidadosamente los horizontes de suelo uno por uno e irlos colocando en el cilindro procurando reconstituir lo más posible lo que ocurre con el perfil original, en el campo. Luego, se mojan las columnas y se dejan drenar hasta que el suelo alcance la capacidad de campo (285).

Se ha comprobado que los aparatos de toma de muestras de suelo únicamente son adecuados para los trabajos para los cuales fueron construidos, no resultando ninguno de ellos satisfactorio para todos los trabajos en general.

5.5 - Estudios realizados: casos en la bibliografía

Existen numerosos estudios realizados mediante columnas lisimétricas. Para evitar una enumeración que se haría demasiado extensa, los agruparemos de la siguiente forma:

- . estudios relacionados con la aplicación de aguas residuales a suelos (242, 286, 287, 288, 241, 232, 239, 289, 234, 235, 228);
- . estudios sobre el movimiento de iones en el suelo (290, 218, -- 221, 209, 230);
- . estudios sobre el movimiento de pesticidas (261, 216, 210);
- . estudios sobre propiedades hidráulicas en suelos (248, 244, 208 225, 233, 217, 207, 246);
- . estudios sobre el movimiento de algún componente, distinto de los citados a través de los suelos (214, 237, 291, 263, 249).

El hecho de que se hayan llevado a cabo bastantes investigaciones acerca de aguas residuales aplicadas a suelos indica que - las columnas lisimétricas son adecuadas para tal fin. Esto resultará importante a la hora de elegir el tipo de lisímetro más adecuado para nuestro trabajo, puesto que se pretende que trate de este tema.

Debido a su interés, citaremos algunos ejemplos de dichos estudios.

Childs et al. (242), estudiaron la infiltración a través del suelo como tratamiento terciario de efluente secundarios. A raíz de este trabajo, Cairns et al. (286), realizaron determinaciones microbiológicas en los suelos utilizados y midieron la actividad respiratoria y enzimática; Stout (287), analizó los protozoos en las aguas aplicadas a los suelos y en éstos; Orchard (288), estudió los efectos de la aplicación de efluentes sobre los actinomicetos propios del suelo y Ross et al. determinaron la actividad bioquímica de los suelos tratados (241).

Gilbert (228) investigó las poblaciones de bacterias desnitrificantes y estudió las transformaciones del nitrógeno en suelos tras la aplicación de efluente secundario.

5.c - Relación de autores

Para no tener que repetir unos nombres que ya han sido citados anteriormente, remitimos a las relaciones de autores dadas en el caso de las medidas de las columnas (págs. 138 y 139), de los materiales de construcción de dichas columnas (págs. 146 a 150) y de las técnicas de llenado (págs. 156 y 157).

Añadiremos los siguientes:

Davidson, 1972 (262)
Ferguson, 1962 (264)
Frissel, 1963 (291)
Huggenberger, 1972 (261)
MacDonald, 1979 (292)
McLaren, 1969 (293)
Parlange, 1975 (294)
Richard, 1980 (295)
Whisler, 1965 (296)

5.d - Esquemas

A continuación mostramos tres esquemas de columnas lisimétrica.

La columna lisimétrica de Childs, fue la utilizada para estudiar la infiltración a través del suelo como tratamiento terciario de efluente secundario, lo cual hemos expuesto en el apartado anterior.

Pasamos a detallar la instalación citada (242).

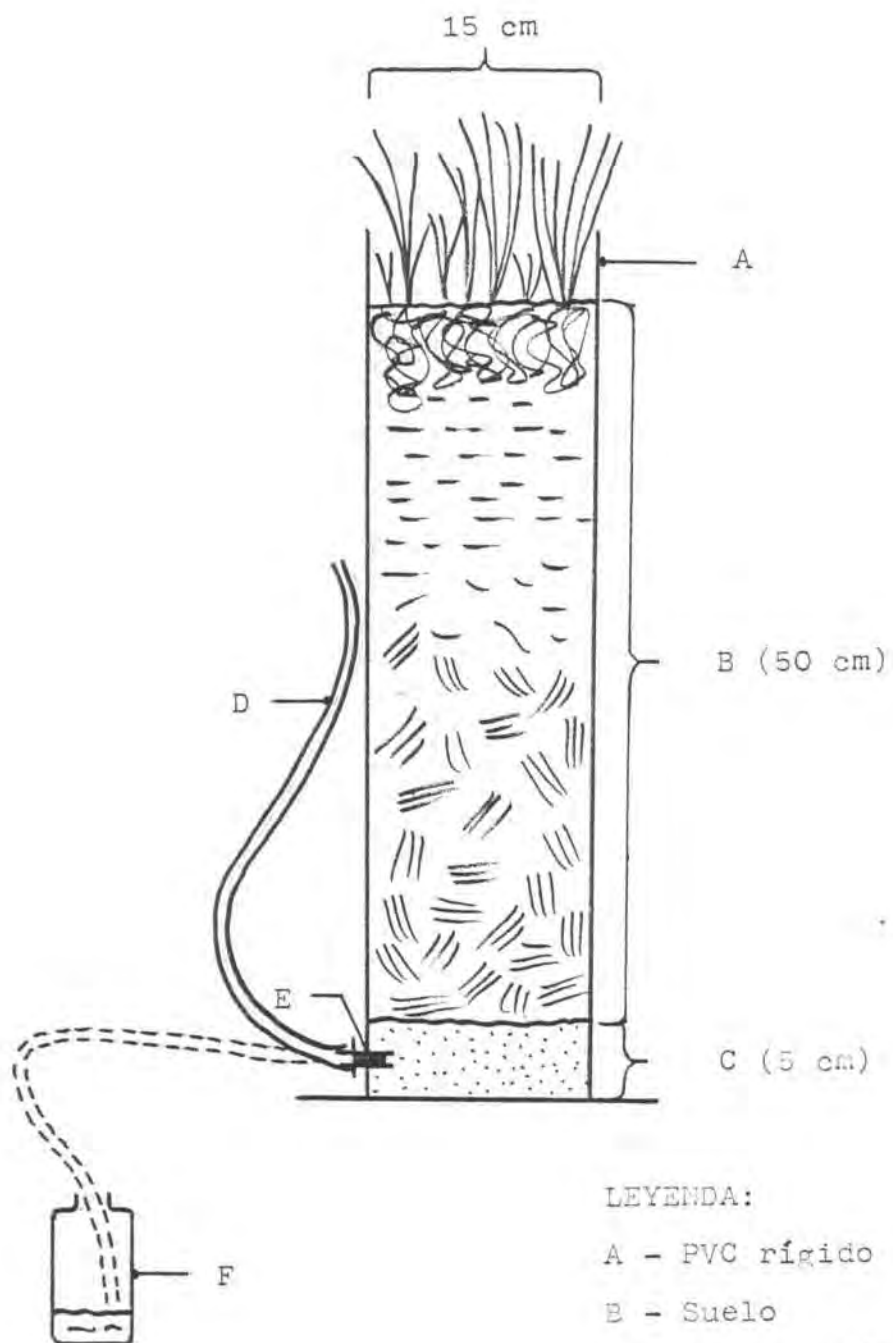
Está formada por un tubo de PVC de 15 cm. de diámetro, cuya base se pega a una pieza cuadrada del mismo material. A 2,5 cm. de dicha base, se hace un agujero donde se coloca una boquilla de polietileno. Dentro del tubo, se colocan 5 cm. de arena limpia y por encima el suelo a estudiar hasta 10 cm. por debajo del borde del tubo. La boquilla contiene un tapón de goma para evitar que pasen a su través arena y pequeñas partículas de suelo. Se ata a dicha boquilla un tubo de polietileno de unos 40 cm. de largo. Este tubo puede colocarse bien atado en posición vertical en un lado de la columna, con una tira de caucho de tal forma, que el extremo del tubo se encuentre a unos 20 cm por debajo de la superficie del suelo; bien introducido dentro de una botella colectora del percolado, pintada de negro para reducir la actividad biológica.

El tubo de salida del percolado en posición vertical evita que el agua (efluente o de suministro) baje directamente por el hue

co, que puede originarse entre el suelo y el tubo de PVC, cuando ciertos suelos se secan. Este sencillo procedimiento asegura un tiempo razonable de interacción del agua aplicada con el suelo dentro del tubo de PVC.

La columna lisimétrica de Barbarick (232), se utilizó para comparar distintos métodos de toma de muestras del agua del suelo para la determinación de sales iónicas, contenidas de sodio y -- calcio en columnas de suelo. En esta instalación se colocaron -- bujías de porcelana porosa de 1,5 cm. de diámetro externo y 7,5 cm. de largo, lavadas con 200 ml. de HCl 1N y enjuagadas con -- 2.000 ml. de agua desionizada; se colocaron a las profundidades de 5, 15, 25, 35, 45, 55 y 65 cm. Estas bujías sirven para establecer las condiciones de contenido en agua del suelo o para tomar muestras del agua en el suelo.

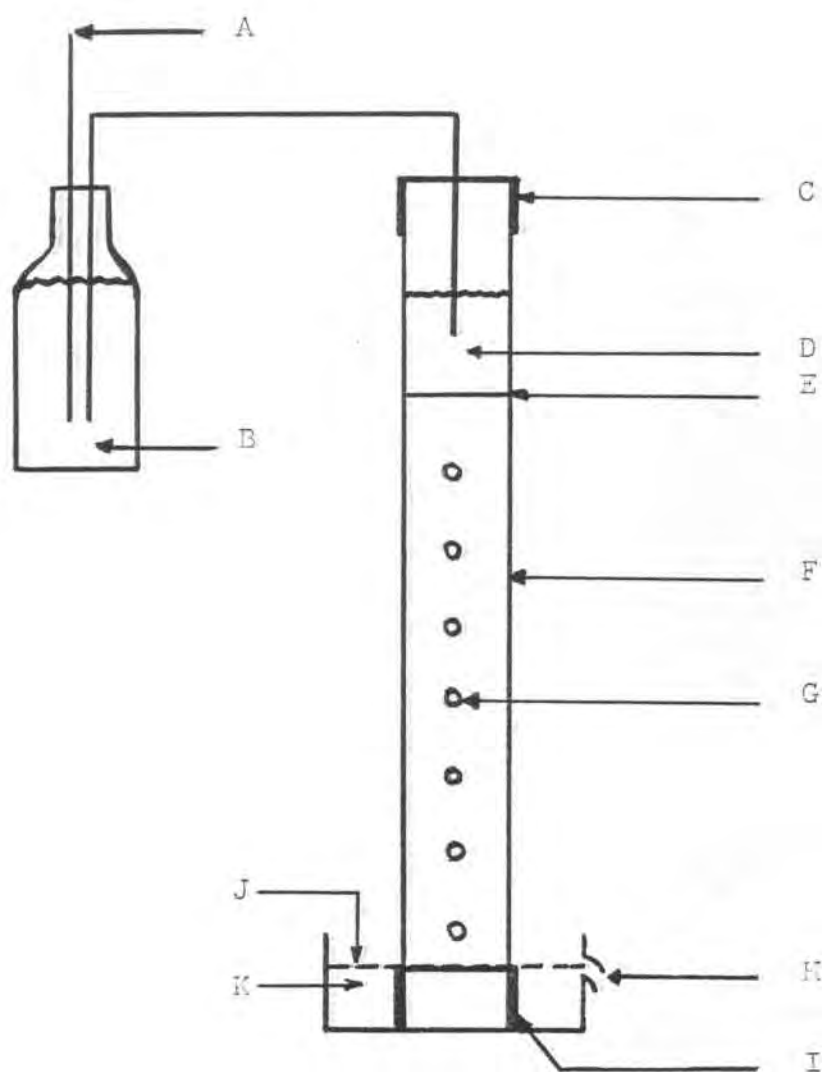
El tercer esquema representa la instalación utilizada por Cassel et al. (249), para estudiar el desplazamiento de nitrato y de Cl^{36} a través de perfiles de suelo alterado y no alterado. -- También colocaron bujías de porcelana porosa, en concreto cua--tro, de 2,5 cm. de diámetro y 5,5 cm. de largo, en la base de -- la columna; las conectaron en paralelo a una fuente de vacío -- que mantuvo una presión de -150 mbar durante la investigación.



LEYENDA:

- A - PVC rígido
- B - Suelo
- C - Arena silícea
- D - Tubo de polietileno
- E - Tapón de ruata
- F - Botella coollectora negra

COLUMNA LISIMETRICA SEGUN CHILDS ET AL. (242)



LEYENDA:

A - Presión aplicada de aire

B - Solución

C - Cubierta de PVC

D - Solución aplicada

E - Superficie del suelo

F - Tubo de PVC (7,5 cm ϕ interior)

G - Bujía de porcelana porosa

H - Tubo de desbordamiento

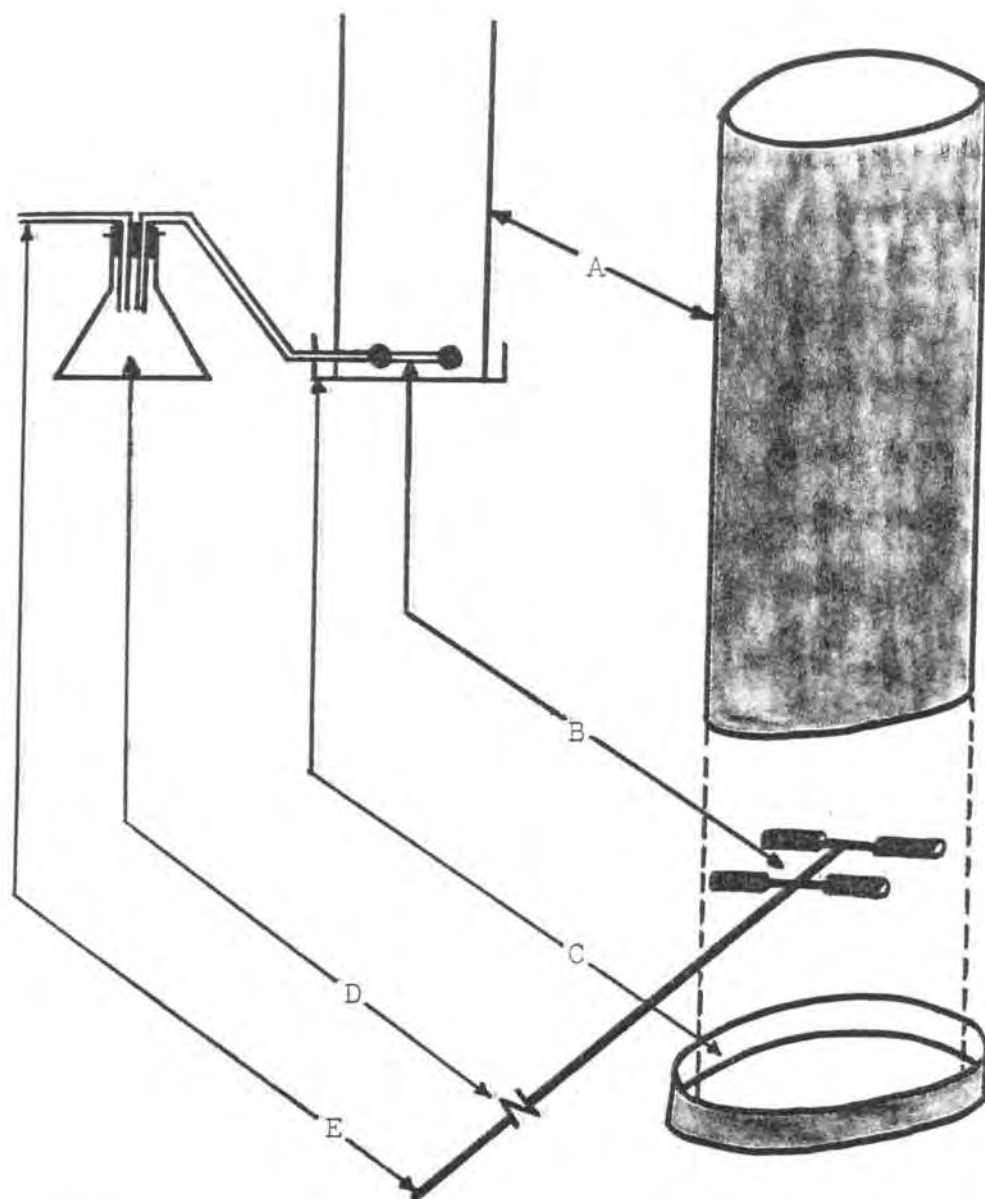
I - Ensamblaje de PVC

J - Base de la columna de suelo

K - Nivel de agua

COLUMNA LISIMETRICA CON BUJIAS DE PORCELANA POROSA

(Barbarick, (232))



LEYENDA:

- A - Cilindro
- B - Bujías porosas en la base del cilindro
- C - Placa final
- D - Frasco
- E - A la bomba de vacío

ESQUEMA DE UNA COLUMNA LISIMETRICA
(Cassel et al., (249))

2.3.3 - TIPO DE INSTALACION LISIMETRICA ELEGIDA

Para proceder a la elección de la instalación lisimétrica que resultará más adecuada para nuestro posterior trabajo práctico es necesario indicar las ventajas, los inconvenientes y los problemas que cada tipo de lisímetro presenta.

En primer lugar, pasaremos a exponer los inconvenientes, los cuales nos permitirán desechar aquellos lisímetros que, debido a nuestras posibilidades técnicas y económicas, no podamos construir.

Las instalaciones lisimétricas en general (no incluimos los lisímetros de tensión por cuyas peculiaridades los consideramos aparte) presentan unos inconvenientes que pueden introducir errores en los resultados que suministran.

Influencia del fondo de drenaje

El fondo de los lisímetros introduce una discontinuidad y suprime la unión con las capas profundas del suelo; modifica el descenso vertical del agua; implica la ruptura de la película capilar, y por lo tanto, de las resistencias al movimiento del agua.

Cuando las aguas llegan al fondo de la cubeta deben vencer la resistencia opuesta por la tensión superficial, antes de penetrar en el lecho de grava.

Influencia de las paredes

Las paredes ejercen una influencia perturbadora por la disconti-

nuidad que introducen. Favorecen además la infiltración del agua. Cuando el suelo está seco, se observa a menudo, en contacto con las paredes, un retraimiento equivalente a una fisuración artificial: el agua se infiltra a lo largo de las paredes dando lugar a un drenaje anormal (297,298).

Por lo tanto, convendrá no dejar secar excesivamente el suelo en el lisímetro, para que no se produzcan estos fenómenos.

Un aumento de la superficie del lisímetro reduce considerablemente esta causa de errores. La práctica ha demostrado que los resultados sobre drenaje empiezan a ser válidos en lisímetros de 1 m^2 de superficie y precisos en los de 4 m^2 (297).

Supresión del arroyamiento superficial

En los lisímetros queda suprimido todo arroyamiento superficial debido a las paredes del lisímetro (297,298).

Restricción del desarrollo de las raíces en suelos con vegetación.

El confinamiento del suelo dentro de un tanque restringe el desarrollo normal de las raíces, sobre todo si el lisímetro es de tamaño pequeño (299,300,301).

Lo dicho anteriormente demuestra que los lisímetros presentan - unos inconvenientes generales; a pesar de esto, son unas instalaciones muy útiles para el estudio de los suelos, siendo prueba de ello su utilización en numerosos estudios.

A continuación, detallaremos los inconvenientes y problemas que presenta cada tipo particular de lisímetro.

Cajas lisimétricas

. Cambio en la disposición del terreno experimental sean cuales sean las precauciones tomadas (297).

. Necesidad de una gran área de terreno para su colocación

. Necesidad de bastantes medios técnicos y humanos para las distintas fases de su instalación, tales como excavar el terreno, enterrar la cubeta, llenarla con el suelo, construir una galería adyacente donde colocar los depósitos para la recogida del percolado, etc.

Lisímetros-monolito

. Necesidad de una gran área de terreno para su colocación

. Dificultad en la obtención de grandes bloques de suelo no alterado (monolitos) debido a la maquinaria necesaria, compleja y de elevado costo.

Lisímetros de pesada

- . Costo excesivamente elevado
- . Instalación muy difícil de conseguir.

Lisímetros de tensión

Por las peculiaridades que presenta (ver apartado L.4), no tiene los inconvenientes generales de los otros lisímetros, tales como influencia del fondo de drenaje, etc.

No obstante, presentan también inconvenientes:

- . Instalación difícil que no siempre da buenos resultados
- . Los materiales necesarios para su construcción son de difícil obtención.

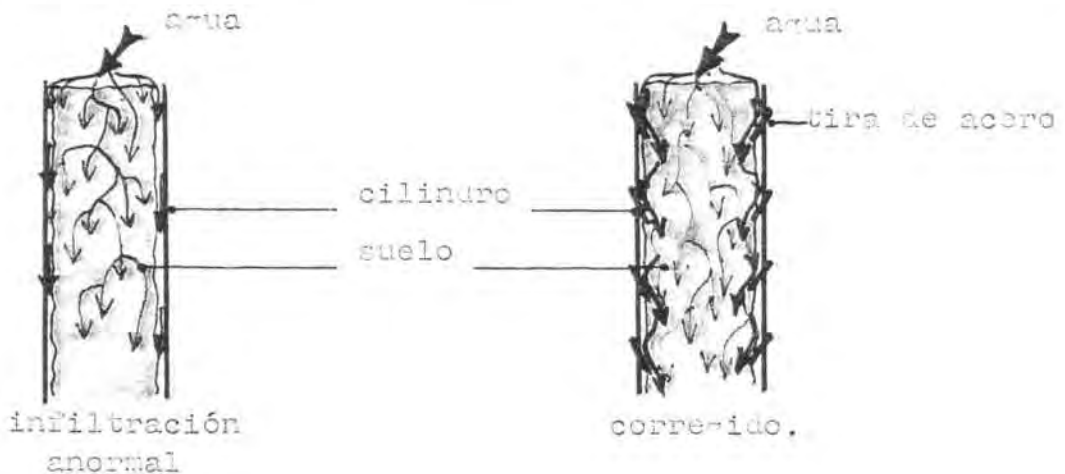
Columnas lisimétricas

Los inconvenientes generales de los lisímetros se acentúan más en el caso de las columnas lisimétricas debido a su pequeño diámetro, sobre todo en el caso de la influencia de las paredes.

No obstante, una vez citados todos los principales inconvenientes que presentan los otros tipos de lisímetros, que nos impiden la instalación de cualquiera de ellos, las columnas lisimétricas parecen ser las más adecuadas para llevar a cabo nuestra investigación, debido a sus ventajas.

Por otra parte, muchos de los inconvenientes y problemas que pueden existir se consiguen subsanar.

Así por ejemplo, la eliminación del plano artificial de infiltración entre la muestra de suelo y las paredes del lisímetro puede realizarse mediante la inserción, a diferentes profundidades, a cada lado del cilindro, de unas tiras de acero inclinadas, insertadas mitad en el cilindro, mitad en el suelo. De esta forma se impide que el agua se infiltre de manera anormal, dando resultados erróneos de infiltración (302). A continuación mostramos dos pequeños esquemas explicativos:



Las principales ventajas que presentan las columnas lisimétricas son:

- . más baratas y más sencillas técnicamente;
- . no ocupan demasiado espacio;
- . pueden trasladarse;
- . pueden instalarse en laboratorio o invernadero.

Para el diseño de la columna lisimétrica más adecuada a nuestras posibilidades, hemos tenido en cuenta:

- . el estudio bibliográfico previo que nos ha orientado acerca de las distintas formas de construcción de columnas;
- . la disponibilidad de materiales en nuestro Departamento;
- . el procurar el uso de accesorios baratos y de fácil obtención.

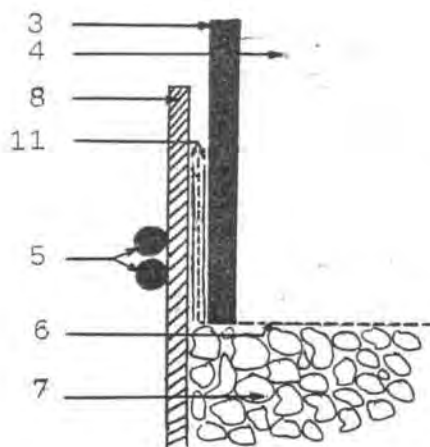
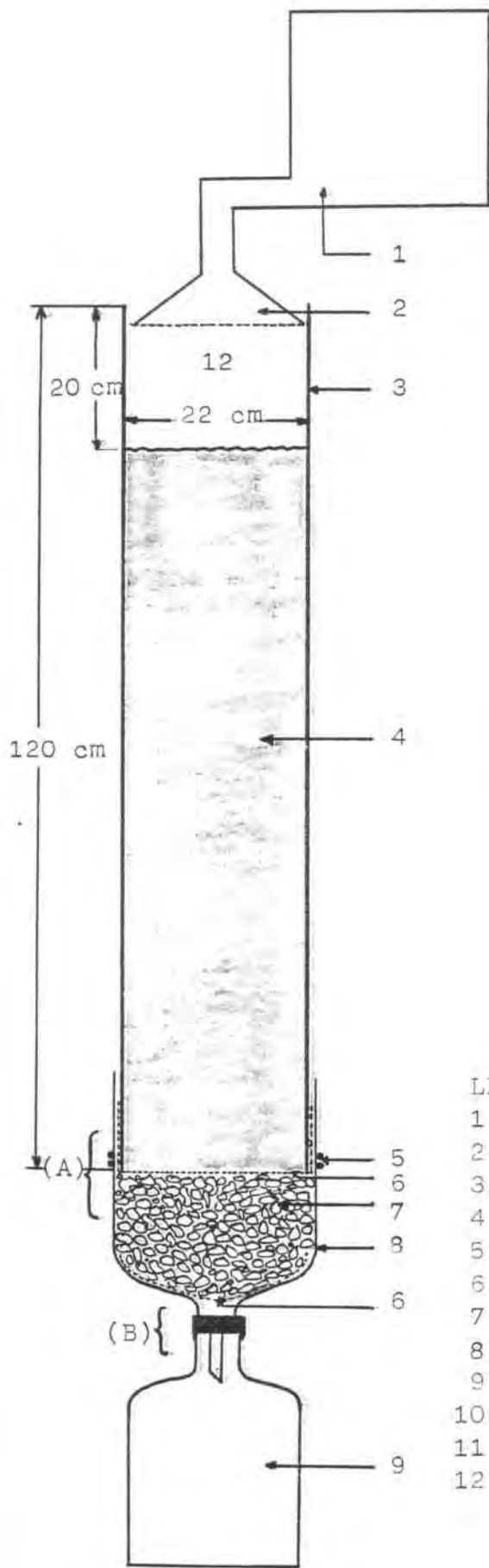
2.3.3.1 - MONTAJE

En nuestro caso, una columna lisimétrica consistirá básicamente en un cilindro de PVC gris (por su menor costo), de 22 cm de diámetro y 120 cm de altura (véase: altura de la columna lisimétrica, pág.185); este cilindro estará unido mediante pegamento fuerte y un alambre a un depósito sin fondo, invertido y lleno de grava; entre este depósito y el cilindro de PVC, irá colocada una rejilla de plástico, tipo mosquitera, que servirá de soporte al suelo, tal y como indicamos en el esquema, pág.184 . - Una vez realizado esto, llenaremos cuidadosamente el cilindro con el suelo (véase: volumen y peso de suelo necesario, pág. -- 189), dejando un espacio libre de 20 cm en la parte superior. - El tapón del depósito invertido tendrá insertado un tubo de salida del percolado.

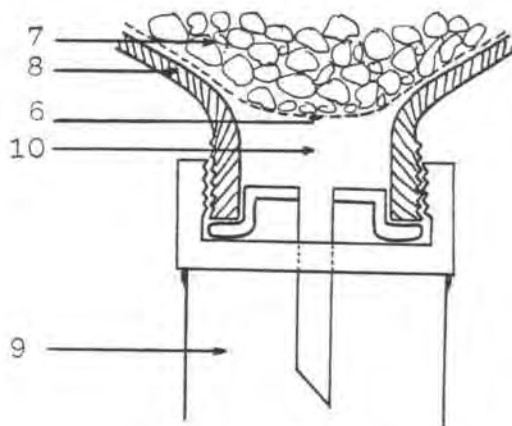
A continuación, dispondremos la columna montada de forma que se pueda colocar por debajo un depósito de recogida del percolado.

Para el vertido del agua, utilizaremos un artificio tipo regadera, para simular lluvia y limitar la velocidad de caída, que es tará unido al depósito de agua de riego.

Antes de iniciar el tratamiento con agua residual, verteremos al suelo agua destilada, durante un período de tres días (aproximadamente 6 litros por columna) con el fin de eliminar cualquier traza de fertilizante o de sal soluble que pudiera interferir con análisis posteriores. Después de realizado esto, volveremos a llenar las columnas con suelo hasta 20 cm de la parte superior.



(A)



(B)

LEYENDA:

- 1 - Depósito de agua de riego
- 2 - Artificio de simulación de lluvia
- 3 - Cilindro de PVC
- 4 - Suelo
- 5 - Alambre
- 6 - Rejilla
- 7 - Grava
- 8 - Depósito con el fondo cortado
- 9 - Depósito de recogida del percolado
- 10 - Espacio vacío
- 11 - Pegamento fuerte
- 12 - Espacio libre (capacidad de llenado con agua)

COLUMNA LISIMETRICA

Altura de la columna lisimétrica

La altura del cilindro de PVC que contendrá el suelo, está en función de la profundidad de perfil que deseemos estudiar.

Existen dos posibilidades:

- . perfil entero
- .. capa arable.

En el primer caso -perfil entero- los inconvenientes son mayores debido a que dicho perfil, según el tipo de suelo, puede ser bastante profundo. En este caso, resulta difícil obtener la columna de suelo sin alteración de su estructura, sobre todo si no se dispone de aparatos adecuados para ello.

No obstante, para intentar simular las condiciones naturales de campo, se pueden ir añadiendo los horizontes uno a uno, con precaución, procurando que la profundidad de cada horizonte se parezca lo más posible a la del perfil no alterado (303).

En el segundo caso -capa arable- los inconvenientes de la toma de muestras se reducen debido a la menor profundidad. Pueden incluso obtenerse muestras prácticamente inalteradas con aparatos sencillos, tipo sonda.

Para poder escoger una de las dos posibilidades citadas, debemos tener en cuenta que la mayor parte de la renovación del agua residual tiene lugar en el primer 1,5 m de profundidad del perfil de suelo (304). Por otra parte, sabemos que a mayor pro-

fundidad, mayor superficie de contacto entre el efluente y el suelo.

En el horizonte superior Ao, en el que se produce la acumulación de materia orgánica, es el lugar donde se efectúa la mayor parte del tratamiento, al ser la zona de mayor actividad microbiana y la más aireada.

La materia orgánica y los microorganismos son dos componentes del suelo presentes en esta zona, los cuales están íntimamente ligados hasta el punto de que suelen considerarse como un único sistema (305). La interrelación entre ambos es la que hace posible la acción sobre la materia aplicada con las aguas residuales.

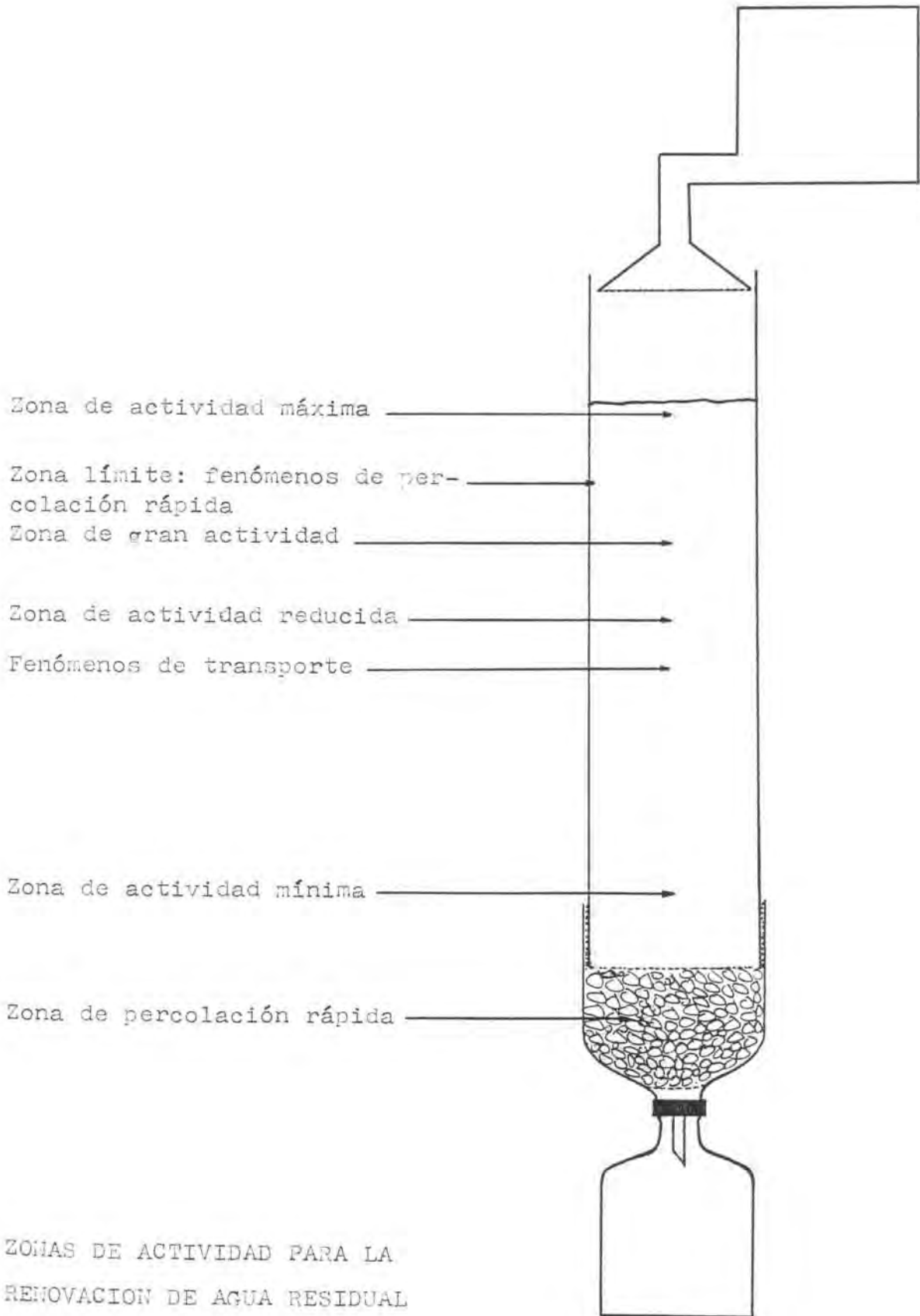
La capacidad que ostenta el humus de formar sales, más o menos disociadas, junto a la adsorción de cationes por las arcillas, origina el complejo de cambio iónico (del cual ya hemos tratado en el apartado de suelos) de gran importancia en el tratamiento de la fracción no orgánica añadida al suelo con las aguas residuales.

Las capas inferiores, horizontes B y C, no tienen una actividad tan importante, pero sin embargo la presencia de arcillas o materia orgánica lavada del horizonte superior permite completar el tratamiento.

Por todo ello, creemos resulta más adecuado realizar nuestro trabajo con una profundidad de suelo lo más representativa posible de los horizontes superiores.

En nuestro caso, utilizaremos columnas lisimétricas, en las cuales el cilindro de PVC tendrá una altura de 120 cm. Puesto que dejaremos un espacio libre de 20 cm para la aplicación del agua, la profundidad de la columna de suelo deberá ser de 100 cm. Véase el esquema de la página siguiente donde indicamos las distintas zonas de actividad para la renovación del agua residual en una columna de suelo.

En cuanto a una posible alteración de la estructura del suelo durante la transferencia a la columna, Orlob y Butler (306) demostraron que los cambios en los suelos durante el llenado de los lisímetros no provocan cambios significativos en el comportamiento de los suelos experimentales a mucha mayor escala, debido a que las prácticas de cultivo tales como arar o cavar, ya modifican necesariamente la estructura y la permeabilidad del suelo.



ZONAS DE ACTIVIDAD PARA LA
RENOVACION DE AGUA RESIDUAL

Volumen y peso de suelo necesario

Lo deduciremos de las siguientes fórmulas:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

siendo V: el volumen buscado

r: el radio del cilindro de PVC (0,11 m)

h: la profundidad de la columna de suelo (1 m)

La resolución numérica da: $V = 3,14 \cdot (0,11)^2 \cdot 1$
 $\cong 3,8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$ para una columna.

Considerando para el suelo una densidad de $2,5 \text{ g/cm}^3$, el peso de suelo necesario será:

$$P = V \cdot d$$

es decir: $P = 3,8 \cdot 10^{-2} \cdot 2,5 \cdot 1000 \cong 95 \text{ kg}$ de suelo para una columna lisimétrica. Lo redondearemos a 100 kg.

Volumen de agua necesario

Para un riego normal se utilizan de 10 a 15 litros de agua/m²/riego; por lo tanto, si consideramos la superficie de una columna lisimétrica:

$$S = \pi \cdot r^2$$

siendo r: el radio del cilindro de PVC (0,11 m)

$$\text{tenemos: } S = 3,14 \cdot (0,11)^2 = 3,8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Si en 1 m² se aplican de 10 a 15 litros, sólo es necesario hacer, en cada caso, una sencilla regla de tres:

$$x = \frac{10 \cdot 3,8 \cdot 10^{-2}}{1}$$

$$= 0,38 \text{ litros}$$

$$y \quad x = \frac{15 \cdot 3,8 \cdot 10^{-2}}{1}$$

$$= 0,57 \text{ litros}$$

Necesitaremos de 0,38 a 0,57 litros de agua por lisímetro y por riego. Lo redondearemos a ½ litro por lisímetro y por riego.

2.3.3.2 - LUGAR DE COLOCACION DE LAS COLUMNAS LISIMETRICAS

Las columnas lisimétricas pueden colocarse en un laboratorio o, lo que es preferible, en un invernadero.

Para nuestro trabajo se presentan dos opciones:

- .. colocación en nuestro Departamento
- .. colocación en invernadero, en proximidad de las depuradoras.

La primera opción implica la utilización de luz artificial para permitir el crecimiento vegetativo (césped plantado en los suelos) con su costo respectivo, así como la ocupación de un espacio bastante considerable.

No obstante, los dos principales problemas consisten en el transporte, por una parte de los suelos y por otra parte, de los efluentes desde las plantas depuradoras, lo cual es prácticamente imposible.

La segunda opción soluciona los inconvenientes de la luz y del espacio y, sobre todo, los problemas del transporte de los efluentes y de los suelos.

El invernadero puede tener el techo:

- . de plástico transparente para permitir un normal crecimiento vegetativo en los lisímetros, protegiéndolos, además, de la lluvia (307);

. de tal forma que las columnas lisimétricas sobresalgan, quedando la superficie de los suelos expuesta a la atmósfera (308)

En este último caso, una vez sembrado el césped, los lisímetros se deben cubrir con un plástico para ayudar a la germinación y evitar el daño por los pájaros. Después de la aparición del césped, se debe quitar el plástico para que los suelos queden sometidos a las condiciones atmosféricas durante el experimento - - (309).

2.4 - VEGETACION

2.4.1 - CULTIVOS PRINCIPALES EN LAS ZONAS OBJETO DE ESTUDIO

Una posible reutilización de las aguas residuales depuradas como agua de riego, nos ha conducido a averiguar los distintos tipos de cultivos y aprovechamientos en las zonas de ubicación de las plantas depuradoras.

Hemos buscado información sobre las comarcas siguientes:

- . Alt Empordà (depuradoras de Cadaqués, Colera, Llançà, Portbou, Port de la Selva y Roses);
- . Baix Empordà (depuradoras de L'Estartit y Begur);
- . Maresme (depuradora de Blanes);
- . Baix Camp (depuradora de Reus).

Hemos obtenido datos sobre la distribución comarcal de los siguientes cultivos:

- . viñedo
- . forrajes
- . olivar
- . cereales

y datos sobre:

- . superficie cultivada
- . superficie de regadio (310).

Superficie
cultivada en ha.

Alt Empordà	44.389
Baix Empordà	29.000
Maresme	11.824
Baix Camp	33.690

VIÑEDO	<u>Superficie (ha)</u>	<u>% sobre superficie comarcal</u>
Alt Empordà	5.404	4,82
Baix Empordà	950	0,84
Maresme	1.612	1,44
Baix Camp	3.874	3,46

FORRAJES	<u>Sup. (ha)</u>	<u>% sobre sup. com.</u>	<u>% Grami- neas</u>	<u>% Legu- minosas</u>	<u>% Raíces y tubérculos</u>
Alt Empordà	13.290	29,94	31,96	61,85	2,93
Baix Empordà	8.626	29,74	23,56	65,31	9,67
Maresme	1.109	9,38	24,98	36,34	36,16
Baix Camp	295	0,88	74,24	23,06	1,35

(% restante: Diversos)

OLIVAR	<u>Superficie (ha)</u>	<u>% sobre superficie comarcal</u>
Alt Empordà	3.780	8,52
Baix Empordà	740	2,55
Maresme	36	0,30
Baix Camp	6.722	19,95

TABLA 3

CEREALES	<u>Sup. cereales</u> (ha)	<u>% sobre sup.</u> <u>cultivada</u>	<u>% trigo</u>	<u>% cebada</u>	<u>% avena</u>	<u>% arroz</u>	<u>% maiz</u>
Alt Empordà	14,300	32,22	23,08	35,64	24,07	0,00	12,69
Baix Empordà	12,404	42,77	20,29	25,70	31,74	3,41	11,26
Maresme	679	5,74	15,16	21,94	21,06	0,00	37,70
Baix Camp	856	2,54	26,16	37,73	11,21	0,00	22,19
(% restante: Diversos)							
SUPERFICIE CULTIVADA	<u>% superficie total</u>	<u>% prados permanentes</u>	<u>% cultivos arbóreos</u>	<u>% cultivos herbáceos</u>	<u>% barbecho</u>		
Alt Empordà	33,70	4,67	24,25	68,40	2,68		
Baix Empordà	40,75	5,70	10,17	82,26	1,87		
Maresme	29,86	8,90	20,21	54,08	16,81		
Baix Camp	47,52	0,00	80,26	14,10	5,64		
(% restante: Diversos)							
SUPERFICIE DE REGADIO	<u>Sup. regada</u> (ha)	<u>% sobre sup.</u> <u>cultivada</u>	<u>% prados</u>	<u>% cultivos arbóreos</u>	<u>% cultivos herbáceos</u>		
Alt Empordà	7,357	16,57	1,46	2,96	12,08		
Baix Empordà	7,372	25,42	0,21	3,84	21,30		
Maresme	5,407	45,73	0,00	41,62	2,57		
Baix Camp	9,197	27,30	0,00	11,11	16,02		

TABLA 3

Hemos obtenido, igualmente, datos sobre superficies agrícolas - de los términos municipales donde están ubicadas las plantas de puradoras: véanse las tablas 4 (311).

Asimismo, mostramos unos mapas de casi todos los términos municipales objeto de estudio (excepto los de Begur, Blanes y Reus) en los que se indican los distintos tipos de cultivos y aprovechamientos.

Cada mapa viene acompañado de la clave de codificación correspondiente.

Los subíndices numerados que acompañan cada símbolo representan el tanto por ciento de superficie que el cultivo o aprovechamiento ocupa en la zona indicada.

El símbolo I -improductivo- representa aquellos terrenos que no son susceptibles de ningún aprovechamiento agrario, ni siquiera para pastos, tales como desiertos, pedregales, torrenteras, cumbr**es** nevadas, lagunas, embalses, etc. Asimismo quedan incluidas en este apartado, las zonas urbanas, red viaria, etc.

BARCELONA	105	23	123	0	0	0	30	0	30	135	23	158
BIANES	71	327	393	0	0	0	33	26	116	159	355	514
CADAGUÉS	8	0	8	0	0	0	120	0	120	123	0	123
COLEGA	0	2	2	0	0	0	52	0	52	52	2	54
L'ESTARIT [#]	635	1096	1731	109	17	123	93	194	227	837	1307	1144
LLAÇA	12	22	34	0	0	0	33	0	33	100	22	122
PORTOU	0	1	1	0	0	0	4	0	4	4	1	5
P. DE LA SELVA	0	3	3	0	0	0	140	0	140	140	3	143
ROSES	48	5	53	15	0	15	533	0	585	648	5	653
NEWS	140	1256	1396	0	0	0	2797	921	3618	2937	2077	5014
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)

L'Estarrit: se trata, en realidad, del término municipal de Torroella de Montgrí

TABLA 4

UF	12	0	12	147	23	170	0	12	0	12	1173	116	2041
BL	0	0	0	159	355	514	0	0	0	0	228	1042	1429
CA	0	0	0	129	0	129	0	0	0	0	0	2445	2573
CO	0	0	0	52	2	54	0	0	0	0	389	1952	2393
ES	20	0	20	957	1307	2194	30	50	0	50	519	3821	5227
LL	0	0	0	100	22	122	0	0	0	0	1023	1656	2779
PB	0	0	0	4	1	5	0	0	0	0	530	395	929
PS	0	0	0	140	3	143	0	0	0	0	3000	937	4127
RO	0	0	0	649	5	653	30	30	0	30	600	3304	4582
RE	0	0	0	2937	2077	5014	0	0	0	0	0	257	3194
	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)

TABLA 4

JE	23	2064	10	9	5	0	8	0	32	32	24	0	0	7	22
FL	355	1784	5	33	9	0	0	2	49	97	100	0	0	11	6
GA	0	2573	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
CO	2	2393	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ES	1307	6534	140	260	140	0	148	120	903	59	241	10	2	30	461
LL	22	2901	0	0	0	0	3	0	3	1	13	0	0	2	2
PT	1	930	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PS	3	4130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RO	5	4597	10	15	8	0	0	3	36	0	2	0	0	0	10

JE	2077	5271	73	35	11	0	115	9	243	129	130	4	2	180	30
	(26)	(27)	(28)	(29)	(30)	(31)	(32)	(33)	(34)	(35)	(36)	(37)	(38)	(39)	(40)

TABLA 4

ME	4	1	34	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
PL	5	0	22	140	0	27	14	10	0	0	53	2	63	0					0	
CA	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	40	80						
CO	0	0	0	2	0	0	0	3	0	1	4	0	44	4						
ES	80	0	571	40	0	156	5	23	0	6	207	7	32	48						
LL	0	0	4	13	0	0	0	0	0	0	0	0	22	6						
PI	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1						
PS	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	50	90						
RO	0	0	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	240	345						
RE	0	0	210	628	29	50	32	42	0	62	1379	30	1094	850						
	(41)	(42)	(43)	(44)	(45)	(46)	(47)	(48)	(49)	(50)	(51)	(52)	(53)	(54)	(55)					

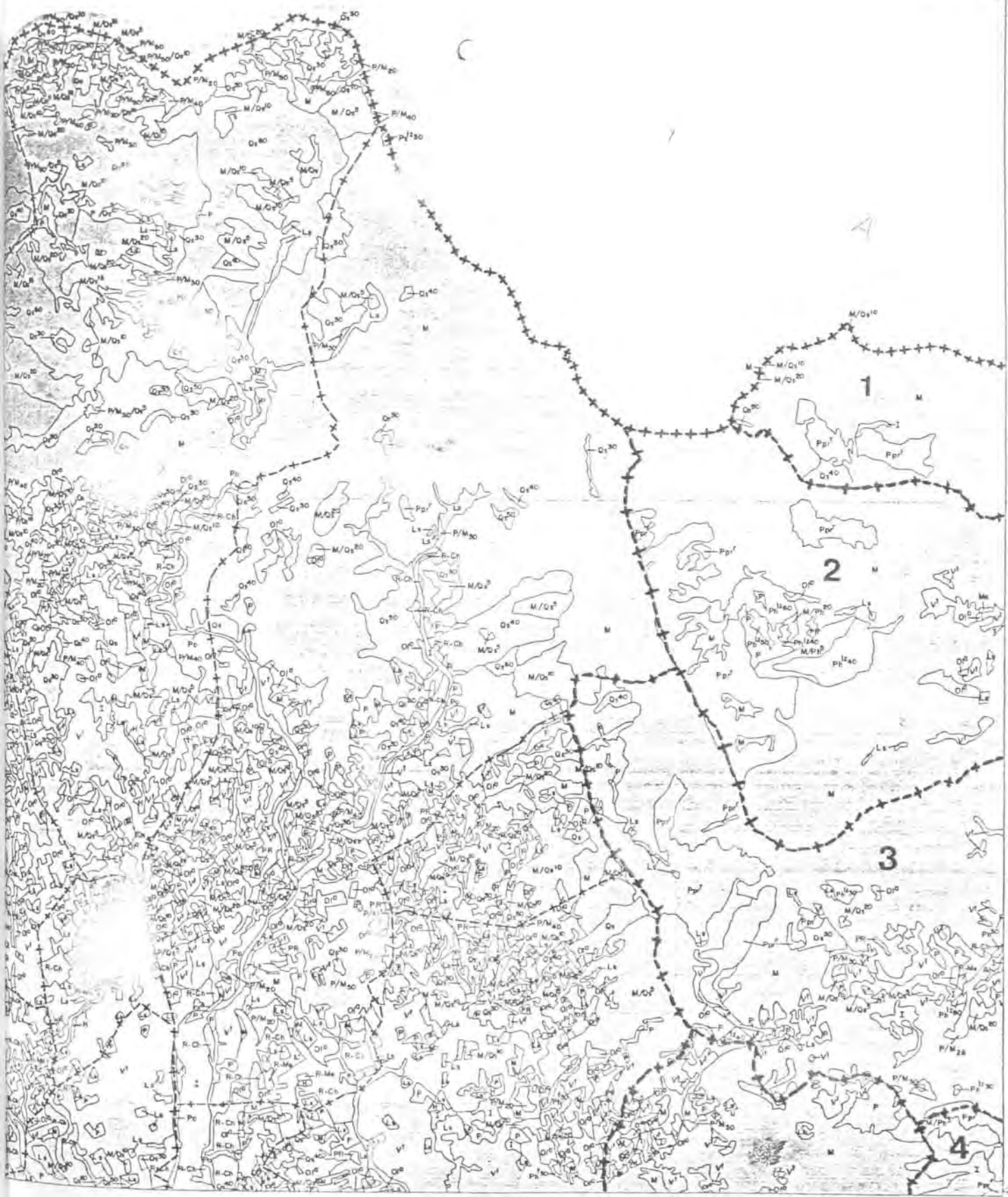
TABLA 4

- 1 - Herbáceos secano
- 2 - Herbáceos regadío
- 3 - Total herbáceos
- 4 - Barbechos secano
- 5 - Barbechos regadío
- 6 - Total barbechos
- 7 - Leñosos secano
- 8 - Leñosos regadío
- 9 - Total leñosos
- 10 - Total tierras cultivo secano
- 11 - Total tierras cultivo regadío
- 12 - Total tierras cultivo
- 13 - Prados naturales secano
- 14 - Prados naturales regadío
- 15 - Total prados naturales
- 16 - Total cultivo más prados naturales secano
- 17 - Total cultivo más prados naturales regadío
- 18 - Total cultivo más prados naturales
- 19 - Total pastizales
- 20 - Total prados y pastizales secano
- 21 - Prados naturales regadío
- 22 - Total prados y pastizales
- 23 - Total terreno forestal
- 24 - Total otras superficies
- 25 - Superficie total término municipal secano
- 26 - Superficie total término municipal regadío
- 27 - Total superficie término municipal
- 28 - Trigo
- 29 - Cebada
- 30 - Avena

- 31 - Arroz
- 32 - Maíz
- 33 - Otros cereales
- 34 - Total cereales grano
- 35 - Total leguminosas grano
- 36 - Total tubérculos consumo humano
- 37 - Total cultivos industriales
- 38 - Total flores
- 39 - Total gramíneas
- 40 - Total leguminosas
- 41 - Total tubérculos y raíces
- 42 - Total varios
- 43 - Total cultivos forrajeros
- 44 - Total cítricos
- 45 - Manzano
- 47 - Peral
- 48 - Melocotonero
- 49 - Algarrobo
- 50 - Almendro
- 51 - Avellano
- 52 - Total frutales
- 53 - Otros frutales
- 54 - Total viñedo ocupación principal
- 55 - Total olivar y otros ocupación principal

Nº 1: ESQUEMAS DE TERMINOS MUNICIPALES: (GERONA)

- 1 - Portbou
- 2 - Colera
- 3 - Llançà
- 4 - Port de la Selva



Nº 1: CLAVE DE REPRESENTACION DE LAS MASAS DE CULTIVOS Y APROVECHAMIENTOS

R-ch	: Cultivos herbáceos en regadío
R-Me	: Melocotonero en regadío
Ls	: Labor intensiva sin arbolado (barbecho semillado)
Al	: Almendro
Me	: Melocotonero
Ol ^a	: Olivar
V ^t	: Viñedo
PR	: Prado natural
P	: Pastizal sin arbolado
M	: Matorral sin arbolado
M/Qs	: Matorral con arbolado de alcornoque (Q. suber) de porte no arbóreo
M/Ph	: Matorral con arbolado de pino carrasco (P. halepensis)
P/M	: Pastizal-Matorral sin arbolado
Ph ^{lz}	: Superficie arbolada de pino carrasco (P. halepensis)
Ppr ^r	: Superficie arbolada de pino negral (P. pinaster) - en estado de repoblación
Qs	: Superficie arbolada de alcornoque (Q. suber)
I	: Improductivo

Hemos indicado únicamente los símbolos que se encuentran en los 4 términos municipales que nos interesan: Port Bou, Colera, - - Llançà y Port de la Selva.

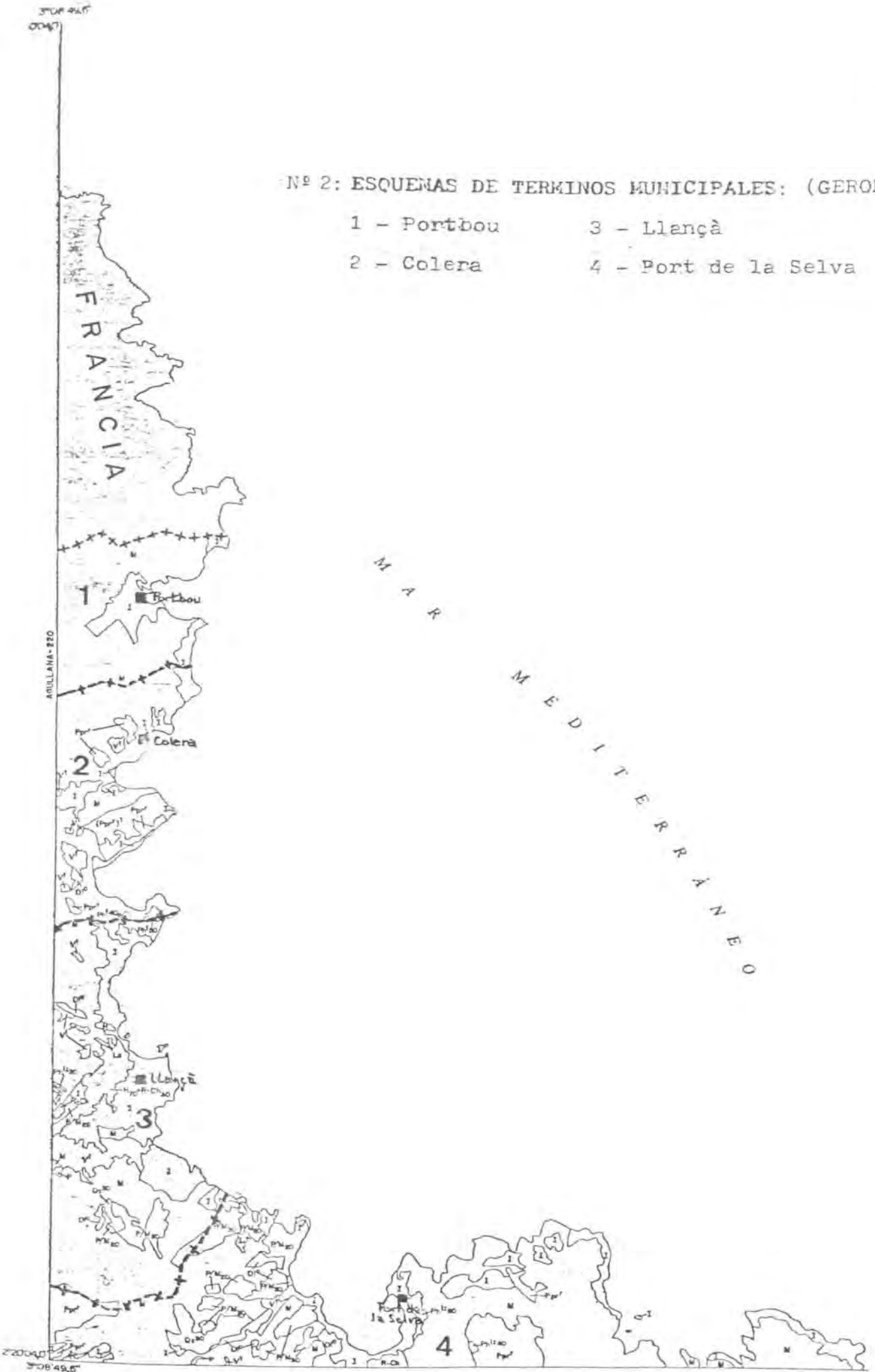
Nº 2: ESQUEMAS DE TERMINOS MUNICIPALES: (GERONA)

1 - Portbou

3 - Llançà

2 - Colera

4 - Port de la Selva



Nº 2: CLAVE DE REPRESENTACION DE LAS MASAS DE CULTIVOS Y APROVECHAMIENTOS

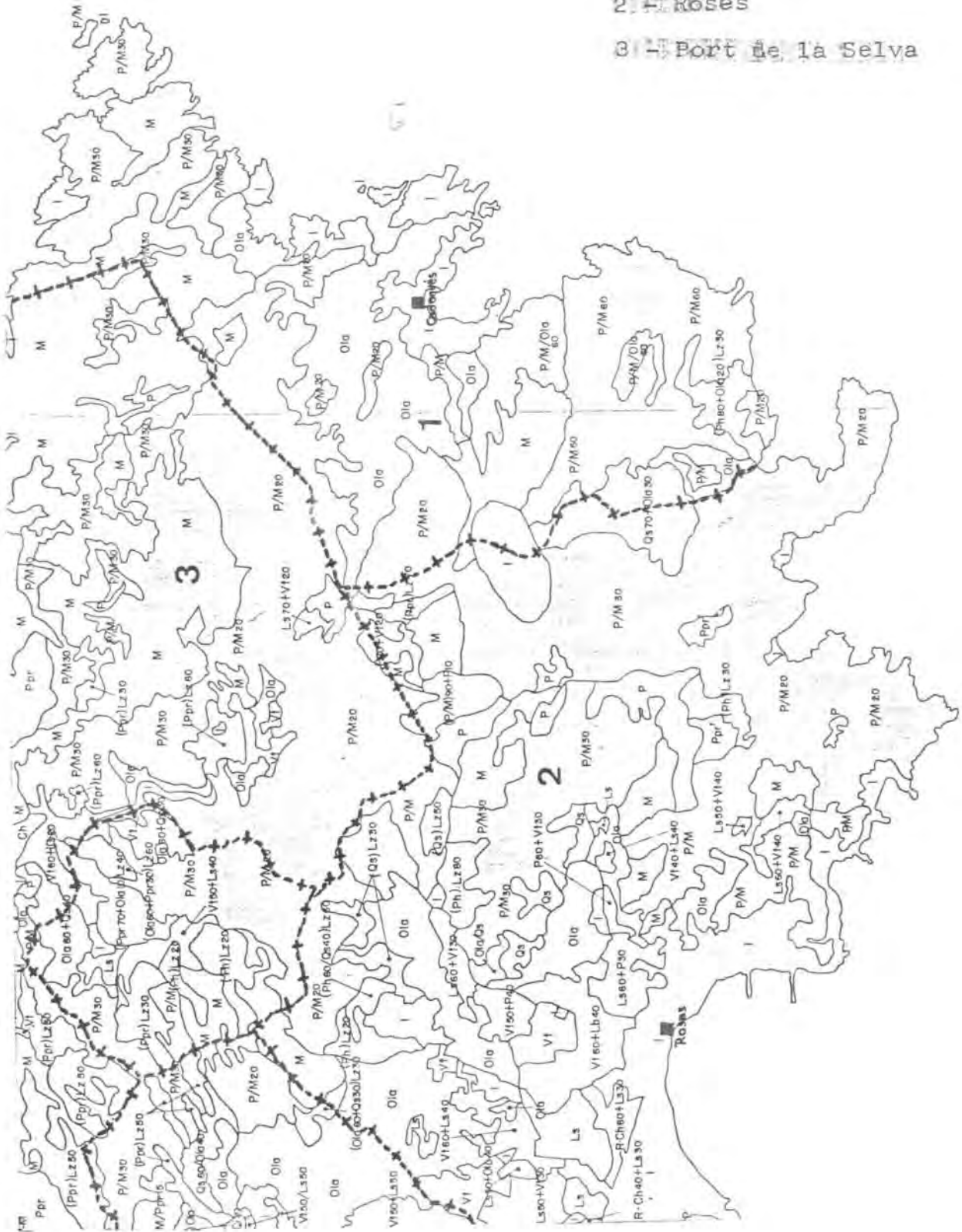
H	:	Muerta
R-Ch	:	Cultivos herbáceos de regadío
Ls	:	Labor intensiva (barbecho semillado) sin arbolado
V ^t	:	Viñedo
Ol ^a	:	Olivar
P	:	Pastizal sin arbolado
M	:	Matorral sin arbolado
P/M	:	Pastizal-Matorral sin arbolado
Ph ^{lz}	:	Superficie arbolada de pino carrasco (P. halepensis) en estado latizal ϕ
Ph ^f	:	Superficie arbolada de pino carrasco (P. halepensis) en estado de fustal $\phi\phi$
P _{pr} ^r	:	Superficie arbolada de pino negral (P. pinaster) en estado de repoblación
Qs	:	Superficie arbolada de alcornoque (Q. suber)
I	:	Improductivo

ϕ : latizal: masa de pies coetáneos procedentes de semillas de la edad en que se establece la selección para su futuro desarrollo.

$\phi\phi$: fustal : en silvicultura (312).

Nº 3: ESQUEMA DE TERMINOS MUNICIPALES (GERONA)

- 1 - Cadaqués
- 2 - Roses
- 3 - Port de la Selva



Nº 3: CLAVE DE REPRESENTACION DE LAS MASAS DE CULTIVOS Y APROVECHAMIENTOS

I	:	Improductivo
Ls	:	Labor intensivo sin arbolado con barbecho terminado
M	:	Matorral sin arbolado
M/P ^h _{pr}	:	Asociación de matorral sin arbolado con arbolado de pino negral
Ola	:	Olivar de aceitunas de almazara en secano
P	:	Pastizal sin arbolado
P/M	:	Asociación de pastizal-matorral sin arbolado
P/M/Ola	:	id. id. y oli- var de aceitunas de almazara
P ^{lz} _h	:	Superficie arbolada con pino carrasco en estado latizal
P ^r _{pr}	:	Superficie arbolada con pino negral repoblado
P ^{lz} _{pr}	:	id. id. en - estado latizal
P ^{kz} _s	:	Superficie arbolada con alcornoque en estado latizal
R-Ch	:	Cultivo herbáceo en regadío
V ^t	:	Vañedo de uva para transformación
Ola/As	:	Asociación de olivos de aceitunas de almazara con alcornoque
Qi	:	Superficie arbolada de encina

Nº 4: CLAVE DE REPRESENTACION DE LAS MASAS DE CULTIVOS Y APROVECHAMIENTOS

- H : Huerta
- R-Ch : Cultivos herbáceos en regadío
- R-Ma : Manzano en regadío
- R-Me : Melocotonero en regadío
- R-Vt : Uva para transformación en regadío
- P/M : Pastizal-Matorral sin arbolado
- P^f_{pa} : Superficie arbolada con pino piñonero (P. pinea) - en estado de fustal
- Ph^{lz} : Superficie arbolada de pino carrasco (P. halepensis) en estado latizal
- Ph^f : Superficie arbolada de pino carrasco (P. halepensis) en estado de fustal
- I : Improductivo
- V^t : Uva para transformación
- P : Pastizal sin arbolado
- M : Matorral sin arbolado
- Ol : Olivar
- L : Labor intensiva sin arbolado
- Po : Chopo y álamo
- (.../...) : Asociación de cultivos y aprovechamientos
- (...+...) : Mosaico de cultivos y aprovechamientos (cuando dentro de una determinada zona existan parcelas de distintos cultivos)
- * : Cuando hay tres o más especies asociadas, se reseñan solamente las especies más importantes seguidas de este símbolo; indica la presencia de otros cultivos o aprovechamientos no representados.

2.4.2 - VEGETACION EN LISIMETROS

En la bibliografía consultada, hemos observado casos en los que suelos contenidos en lisímetros han sido cultivados, pero con la particularidad de que dichos lisímetros eran de gran tamaño (cajas lisimétricas, lisímetros-monolito o lisímetros de pesada). Hemos encontrado ejemplos de muy distintos tipos de cultivos, tales como:

- . alfalfa (*Medicago sativa*) (313, 314, 315)
- . vegetación herbácea tipo césped o prado (*Lolium perenne*, *Dactylis glomerata*, *Agropyron repens*, *Danthonia spicata*, *Poa pratensis*, *Phleum pratense*, etc.) (316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327)
- . tabaco (*Nicotiana tabacum*) (328, 329)
- . algodón (*Gossypium hirsutum*) (330)
- . maíz (*Zea mays*) (331, 332, 333, 316, 317, 320, 321)
- . trigo (316, 317, 320) (no especifican especie)
- . arroz (*Oryza sativa*) (334, 335)
- . incluso un limonero, en un lisímetro de pesada (336, 337).

Sin embargo, han sido escasos los estudios descritos en los que los suelos contenidos en columnas lisimétricas tuvieran vegetación.

Childs et al. (338), al obtener las muestras de suelo para llenar columnas lisimétricas, mantuvieron la vegetación de prado existente en los suelos.

Oster y Schroer (339) plantaron alfalfa en los suelos de las co

lumnas que utilizaron.

Según Tschapek (340), el problema del tipo de vegetación depende del tamaño del lisímetro: cuanto más pequeño sea el lisímetro, tanto más pequeña deberá ser la vegetación; por tanto, el césped satisface tanto las necesidades de los pequeños como de los grandes lisímetros.

Por otra parte, Loehr (341) indica que los cultivos de tipo césped (prados) son adecuados para la aplicación al terreno de las aguas residuales debido a que mejoran la infiltración, retardan la escorrentía y tienen una alta velocidad de transpiración.

El césped, además, permite comprobar el aumento o disminución del rendimiento vegetativo ya que crece con rapidez; se puede cortar fácilmente con tijeras, luego se coloca en una bandeja y se deja secar durante 14 horas a 110° C., después de lo cual se pesa. Se pueden establecer igualmente relaciones entre los rendimientos obtenidos en los suelos que han recibido el agua residual depurada, los que han recibido el agua de suministro y los que han recibido el agua de suministro más los fertilizantes -- (338).

De lo que concluimos que el césped es el tipo de vegetación más adecuado para la realización de nuestro trabajo.

2.5 - PERCOLADO: TOMA DE MUESTRAS Y ANALISIS

El percolado se recogerá en el depósito destinado para tal fin, situado debajo de la columna lisimétrica (ver esquema pág. 184).

La periodicidad de la toma de muestras estará en función de los volúmenes de percolado necesarios para realizar los análisis, - que serán los mismos que habremos necesitado para los análisis de efluentes (véase tabla 2 pág. 63).

Conservación de las muestras

En los casos en los que la tasa de infiltración del agua a través del suelo sea pequeña y se tarde un tiempo relativamente -- grande en completar el volumen necesario para un determinado -- análisis, deberemos conservar el agua que vaya percolando en -- unas botellas opacas (para evitar crecimientos biológicos), que se colocarán en nevera. Hemos creído conveniente, que la coloca ción en nevera de las muestras se realice cada 12 h. para que - no se alteren.

Realizaremos el etiquetado de las botellas de forma similar al caso de los efluentes; indicaremos, además, fecha y hora del -- inicio de la toma de muestras, así como fecha y hora del final. Reseñaremos el conservador añadido cuando sea oportuno.

Dichas botellas, con las muestras de percolado, serán transportadas en neveras portátiles al laboratorio, donde realizaremos los mismos análisis, que en los efluentes y cuyos resultados se anotarán también en una hoja-registro.

3 - MODELO MATEMATICO

El estudio de los diferentes parámetros de suelos, efluentes, - vegetación, percolado y demás factores tales como clima, topo-- grafía y situación social de la zona a estudiar, permite esta-- blecer un modelo matemático.

La información de que se puede disponer se considera dividida - en dos grupos para proceder al establecimiento del modelo:

- . información de partida o matriz física, acerca de suelos, ve- getación, clima, topografía y situación social;

- . información o fracción añadida, acerca de efluentes y modo de aplicación de estos efluentes a los suelos.

A partir de los inputs (datos de entrada) podremos efectuar -- unos cálculos preliminares que, para la matriz física, son:

- . índice de limitación que indica si el suelo está condicionado o no para la aplicación del efluente;

- . índice de potencial que indica la capacidad del suelo para re- cibir el efluente.

Están incluidos los índices típicos de SAR, ESP, etc. del suelo.

Para la fracción añadida, los cálculos preliminares son:

- . índice de calidad del efluente (incluidos índices típicos);

.. índice de peligrosidad: según el peligro que entraña la aplicación del efluente al suelo y el modo de realizarlo.

A continuación, se realizan unos cálculos intermedios para conocer los requerimientos máximos y mínimos de agua y nutrientes - de suelo y vegetación; definir la clase de vegetación para el - rendimiento máximo y las cantidades de efluente máxima y mínima según la matriz física. Se realiza igualmente el cálculo de submodelos de transporte, de N, P y otros nutrientes y la interacción entre metales pesados, suelo y vegetación.

Los outputs son:

- . cantidad de efluente aplicable
- . calidad del percolado
- . peligros subsiguientes
- . eficiencia de eliminación
- . crecimiento previsto de vegetación
- .. tipo de riego adecuado
- . superficie requerida.

Si se preve contaminación de aire, suelo, agua subterránea o vegetación, se modifican los inputs o bien los cálculos intermedios.

La fase final consiste en la comprobación de los datos teóricos obtenidos del modelo con datos reales obtenidos de los lisímetros y de la práctica real.

Para poder comprobar con los datos obtenidos mediante los lisí-

tros, columnas lisimétricas en particular (véase apartado 2.3.-3), debemos plantearnos el diseño de nuestro trabajo práctico.- Para ello, hemos tenido en cuenta su principal finalidad, es de de cir estudiar si el riego con agua residual depurada puede aportar:

- . un ahorro de agua que resultaría de suma importancia en determinadas zonas de nuestro país;

- . un ahorro de fertilizantes: en este caso, según los resultados obtenidos del análisis de los efluentes de depuradoras de la Costa Brava (Gerona) (342), comprobamos que, efectivamente, estos efluentes contienen nutrientes necesarios para el crecimiento vegetativo.

A simple vista parece factible el poder regar con aguas residuales depuradas, por las ventajas que ello representa y que acabamos de exponer. No obstante, no hay que olvidar que estas aguas contienen elementos que pueden resultar perjudiciales tanto para las plantas como para el suelo al que se pretenden aplicar.

Por lo tanto, hay que estudiar con detenimiento todos los factores que entran en juego en esta cuestión, tales como análisis pre y post-tratamiento de suelo, efluente, agua de suministro y vegetación; interacciones suelo/planta/agua, etc. Todo ello se ha detallado en el presente proyecto.

De antemano se desecharán aquellos efluentes que puedan representar algún riesgo para suelos y vegetación, como por ejemplo efluentes de elevada salinidad, por las razones que se exponen

en el apartado correspondiente.

Una vez elegidos los efluentes más adecuados para el riego, se podrá predecir la obtención de un mayor crecimiento vegetativo al aplicar estas aguas (con sus nutrientes), que al aplicar el agua de suministro. Por lo tanto, si nos limitásemos a utilizar agua de suministro y efluente como agua de riego, los resultados que obtendríamos no serían realmente representativos.

Así pues, es necesario tener otro punto de comparación. Este podría ser aplicar a los suelos agua de suministro más fertilizantes. De esta manera, los resultados que obtendremos ya serán comparables.

Observaremos si el crecimiento vegetativo y la influencia sobre los suelos son de igual o casi igual magnitud después de regar con agua residual depurada que después de hacerlo con agua de suministro más fertilizante. En este caso podrá pensarse en sustituir esta segunda práctica de riego (utilizada corrientemente en la actualidad), por la primera, con sus consiguientes ventajas.

Teniendo en cuenta lo anteriormente dicho y una vez elegidos -- los suelos, los efluentes y la vegetación, realizaremos el siguiente plan de trabajo que resumimos en la tabla 5.

Todos los experimentos se llevarán a cabo por triplicado, es decir se utilizarán lotes de 3 columnas lisimétricas cada uno.

Al lote A se le aplicará agua residual depurada, al lote B agua

de suministro y al lote C, agua de suministro más fertilizante.

Cada lisímetro llevará la letra del lote al que corresponde y un número del 1 al 3; por ejemplo, lisímetro B_2 .

Cada tipo de suelo tendrá asignada una letra: a, b, c, etc. Si el estudio se lleva a cabo, por ejemplo, con 2 tipos de suelos, a y b, los lisímetros se marcarán con la letra correspondiente al suelo que contienen; el lisímetro B_{2a} será el segundo del lote B que contenga suelo del tipo a y al que se le aplicará agua de suministro.

Al final de todo, el output definitivo será el modelo corregido o modelo optimizado.

SUELO (0001)

Parámetros físicos :
(0002 a 0040)

Textura (0002)
Estructura (0003)
Permeabilidad (0004)
Tasa de infiltración (0005)
Capacidad de campo (0006)
Pedregosidad (0007)
Evaporación (0008)
Profundidad total (0009)
Profundidad de los horizontes (0010)
Profundidad del acuífero o
tabla de agua (0011)

Parámetros químicos :
(0041 a 0080)

Capacidad de intercambio (0041)
Materia orgánica-ácidos húmicos
(0042)
Arcillas (0043)
Conductividad (0044)
pH actual (0045)
pH potencial (0046)
Sodio (0047)
Potasio (0048)
Calcio (0049)
Magnesio (0050)
ESP (0051)
SAR (0052)
Carbonatos-Bicarbonatos (0053)
Cloruros (0054)
Sulfatos (0055)
Nitrógeno (0056)

Fósforo (0057)

Boro (0058)

Otros aniones y cationes (0059)

Metales pesados (0060-0075)

Parámetros biológicos
(0081 a 0099)

Actividad microbiana (0081)

Actividad biológica (lombrices,

etc.) (0082)

VEGETACION (0100)

- Ciclo vegetativo (0101)
- Capacidad de absorción (0102)
- Acumulación en hojas (0103)
- Acumulación en tallo (0104)
- Acumulación en raíces (0105)
- Tipo de consumo (0106)
- Transpiración (0107)

CLIMA (0200)

- Lluvia (0201)
- Temperatura media (0202)
- Temperaturas mínimas (0203)
- Temperaturas máximas (0204)
- Viento (0205)
- Altura (0206)

TOPOGRAFIA (0300)

- Orientación (0301)
- Pendiente (0302)

- SITUACION SOCIAL (0400)
 - Distancia vecindario (0401)
 - Cortavientos (0402)
 - Zonas tampón (0403)

EFLUENTE (0500)

Parámetros físicos
(0502 a 0540)

Sólidos (0502)

pH (0503)

Conductividad (0504)

Color (0505)

Temperatura (0506)

Parámetros químicos
(0541 a 0580)

DBO (0541)

BQO (0542)

N (0543)

P (0544)

Na⁺(0545)K⁺(0546)Ca²⁺(0547)Mg²⁺(0548)Cl⁻ (0549)SO₄⁼ (0550)CO₃⁻, HCO₃⁻ (0551)

B (0552)

Otros aniones y cationes (0553)

ESP (0554)

SAR (0555)

Metales pesados (0556-0571)

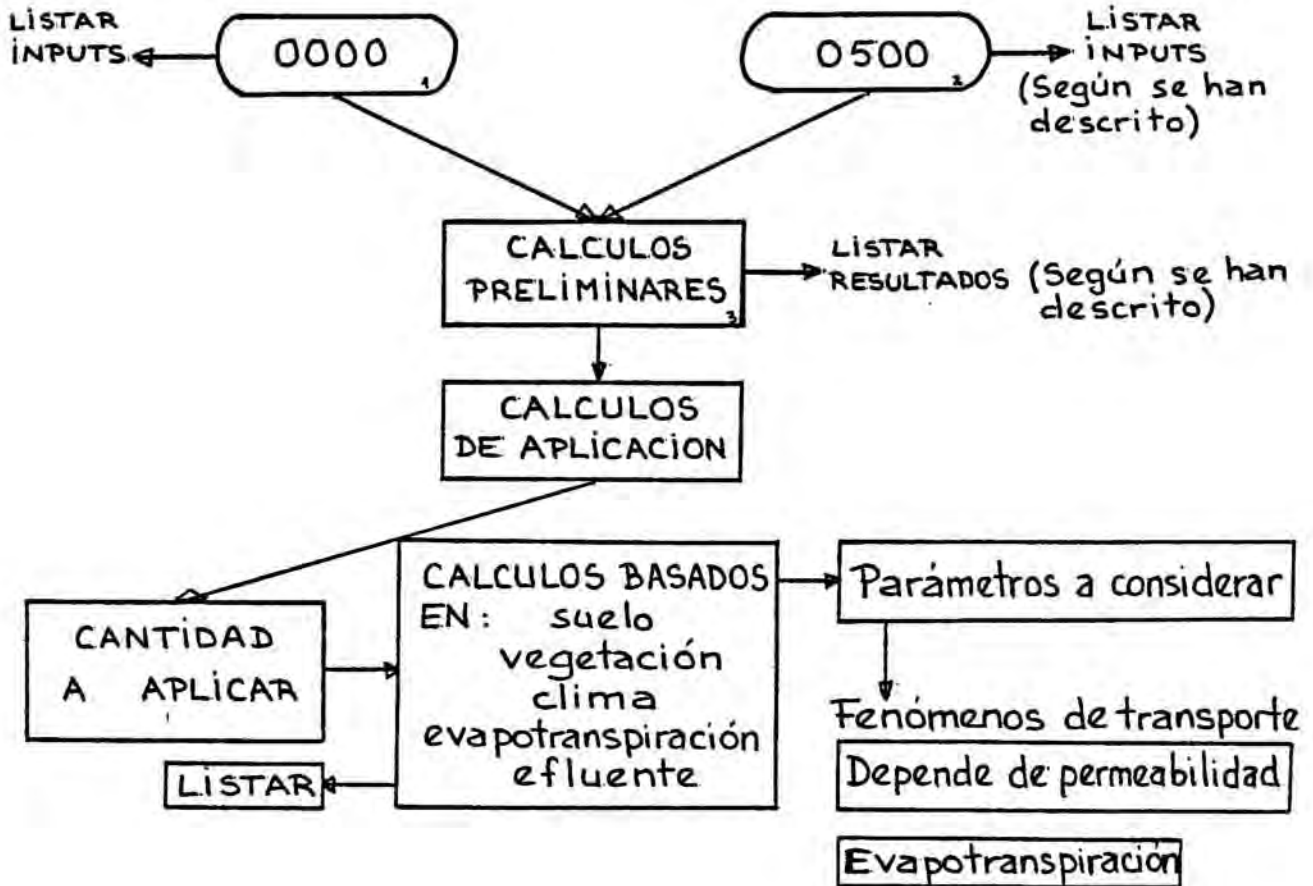
Parámetros biológicos
(0581 a 0599)

Coliformes fecales (0581)

Método de aplicación (0600)

diagrama de flujo

(simplificado)



MATRIZ FÍSICA

FRACCIÓN AÑADIDA

SUBMODELOS

INPUTS

CALCULOS PRELIMINARES

NOTA:
LISTAR TODAS
LAS RESPUESTAS
A LOS
CONDICIONANTES...

LISTAR INDICES
Y CORRELACIONES

CAMBIO
MATRIZ
FÍSICA

¿se
conside-
ra el suelo
adecuado?

¿se
define
un nuevo
suelo?

CAMBIO
MATRIZ
FÍSICA

si

Fin

¿se
define
otra
vegetación?

si

¿se
conside-
ra la vege-
tación ade-
cuada?

si

Fin

¿se
quieren
cambiar?

si

¿hay
otros
factores
en matriz fi-
sica que ex-
cluyan?

NO

¿es
el efluen-
te ade-
cuado?

CAMBIO EN
FRACCIÓN
AÑADIDA

si

¿
puede
mezclarse
con otras
aguas o di-
minuir ca-
ntidad?

NO

Fin

si

¿
puede
cambiarse
el método?

NO

Fin

si

¿
pueden
cambiarse
o evitarse?

NO

Fin

si

CAMBIO
DE LÍMITES

¿hay
otros
límites?

si

CALCULOS FINALES

INPUT
ESTABLECER MAR-
GENES DE TOLERANCIA

LISTAR OUTPUTS

INPUT
DATOS REALES
LISIMETROS

¿
con-
cuer-
dan datos
reales y
teóricos?

NO

LISTAR
DIFERENCIAS

MODIFICAR
LO NECESARIO

INPUT
ESTABLECER MAR-
GENES DE TOLERANCIA

LISTADOS PARALELOS
DATOS PREVIS-
TOS / DATOS
REALES

INPUT
DATOS REALES
EXPERIMENTOS
DE CAMPO

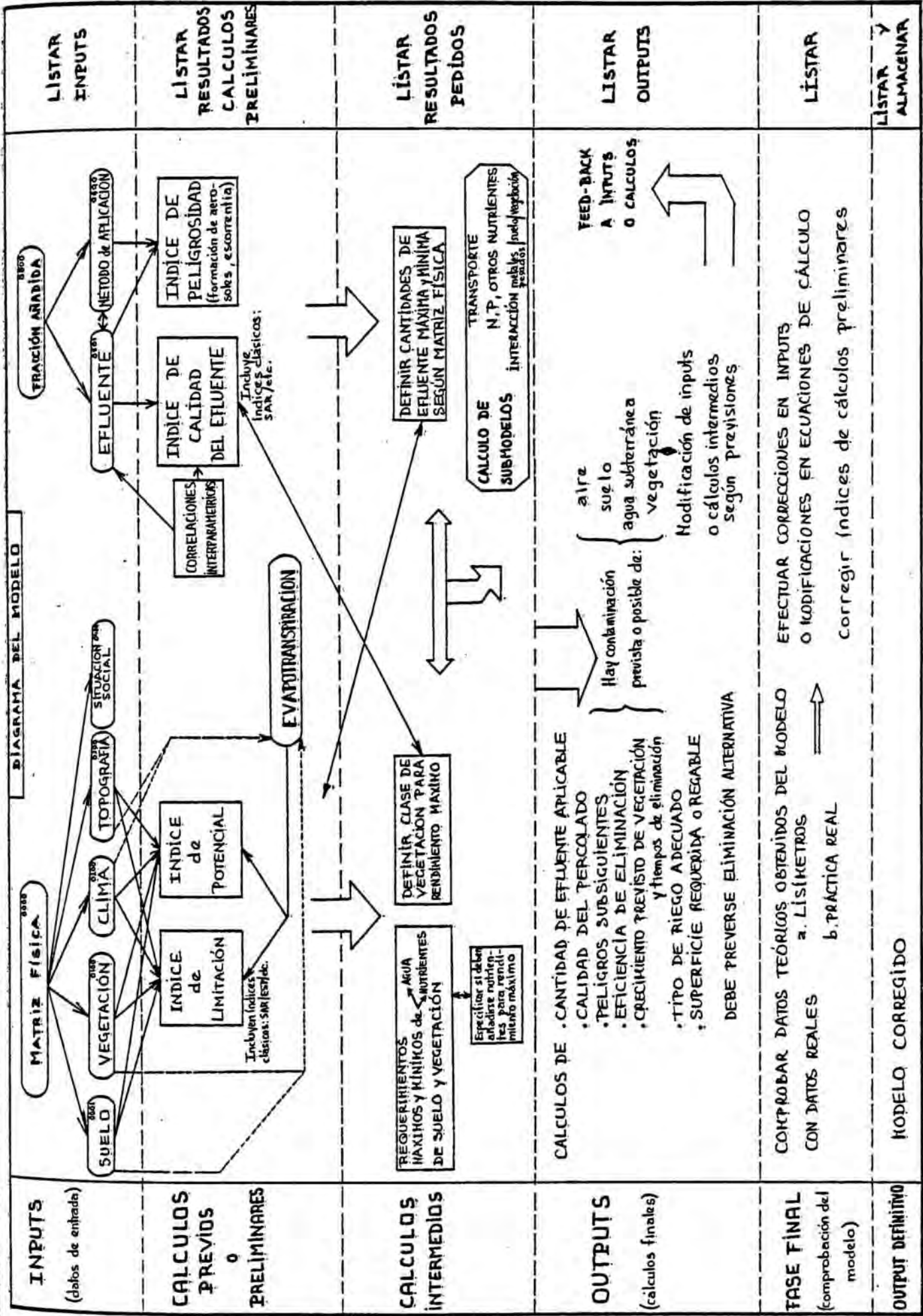
¿
con-
cuer-
dan datos
reales, lisime-
tricos y
teóricos?

NO

LISTAR
DIFERENCIAS

MODIFICAR
LO NECESARIO

MODELO
OPTIMIZADO



4 - CONCLUSIONES

Hemos llegado a la conclusión, en el presente trabajo bibliográfico y práctico, que para investigar la posible aplicación al suelo de aguas residuales depuradas con el fin de reutilizarlas debe efectuarse lo siguiente:

- 1.. Completar el conocimiento de los efluentes con base en los trabajos ya realizados.
2. Continuar completando al máximo el estudio, ya iniciado, de los suelos en que va a practicarse la reutilización.
- 3.. Construir un modelo matemático basado en estos estudios.
4. Validar este modelo mediante la aplicación de efluente a columnas lisimétricas.
 - 4.1. Estas columnas deben estar constituidas mediante una muestra de perfil de suelo de 1 m. de profundidad.
 - 4.2. En su superficie debe colocarse un cultivo herbáceo para determinar periódicamente la absorción de nutrientes
 - 4.3. Las aguas de percolación deben estudiarse en cuanto a sus características físicas, químicas y biológicas.

5 - BIBLIOGRAFIA

001 - STEILA, D.

The geography of Soils. Formation, distribution, and Management
Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1976

002 - ALBAREDA, J.M. et al.

Study of the soils of the Ebro Valley. III - Provinces of Barcel
lona, Gerona, Lerida and Tarragona

Instituto de Edafología y Fisiología vegetal

003 - ALBAREDA, J.M.

Mapa de suelos de España. Escala 1/1.000.000. Descripción de --
las asociaciones y tipos principales de suelos. C.S.I.C. Insti-
tuto Nacional de Edafología y Agrobiología

004 - DUCHAUFOR, P.

Atlas ecológico de los suelos del mundo
Toray-Masson, S.A., Barcelona, 1977

005 - DUCHAUFOR, P.

Pédologie. 1 - Pédogénèse et classification
Masson, 1977

006 - FITZPATRICK, E.A.

Soils. Their formation, classification and distribution
Longman, London, 1980

007 - Sir HALL, A.D., y G.W. ROBINSON

Estudio científico del suelo. Una introducción al estudio del -
crecimiento de las cosechas.

M. Aguilar, ed. Madrid, 1948, pp. 300 - 303

008 - JACKSON, M.L.

Soil chemical analysis

Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1958

009 - DUCHAUFOR, P.

Manual de Edafología

Toray-Masson, S.A., Barcelona, 1975, p. 26

010 - ROBINSON, G.W.

Los suelos. Su origen, constitución y clasificación, Introduc--
ción a la edafología

Ed. Omega, S.A., Barcelona, 1960, p. 482

011 - op. cit. 009

012 - U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY; U.S. ARMY CORPS OF
ENGINEERS; U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE

Process design manual for land treatment of municipal wastewa--
ter. EPA 625/1-77-008. Washington, D.C. October 1977, p. 3.21

013 - SALGOT, M. Comunicación personal

014 - op. cit. 009, p. 30

015 - op. cit. 007

016 - op. cit. 009, p. 32

017 - op. cit. 001, p. 16

018 - op. cit. 009, p. 33

019 - op. cit. 012, p. C.7

020 - op. cit. 009, pp. 40 - 42

021 - op. cit. 009, p.42

022 - op. cit. 009, p. 49

023 - op. cit. 012, p. F.10

024 - DONAHUE, R.L.

Soils. An introduction to soils and plant growth

Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 1958, p. 24

025 - op. cit. 009, p. 43

026 - op. cit. 010, p. 221

027 - op. cit. 012, p. C.5

028 - CUSTODIO, E., M.R. LLAMAS

Hidrología subterránea

Ed. Omega, 1976, p. 309

029 - op. cit. 009, p. 61

030 - op. cit. 012, p. C.6

031 - op. cit. 012, pp. C.7 - C.8

032 - op. cit. 009, p. 9

033 - op. cit. 012, p. C.9

034 - ORLOB, G.T. and R.G. BUTLER

Use of soil lysimeter in wastewater reclamation studies.
Journal of the Sanitary Engineering Division. ASCE Proceedings,
vol. 82 n° SA 3, June 1956

035 - op. cit. 009, p. 51

036 - op. cit. 012 p. C.8

037 - op. cit. 012, p. C.2

038 - op. cit. 009, p. 53

039 - op. cit. 009, p. 49

040 - op. cit. 009, p. 56

041 - op. cit. 009, pp. 57 y 58

042 - op. cit. 010, p. 264

043 - op. cit. 012, pp. C.4 - C.5

044 - op. cit. 012, pp. F.10 - F.11 - F.12

045 - op. cit. 012, p. 5.97

046 - op. cit. 009, pp. 99 - 100

047 - op. cit. 001, p. 18

048 - op. cit. 009, p. 442

049 - op. cit. 012, p. 4.2

050 - op. cit. 012, p. F.14

051 - U.S. Department of Agriculture. Salinity Laboratory Staff
Diagnosis and improvement of saline and alcali soils.
Handbook 60. Government Printing Office, Washington, D.C., 1954

052 - National Academy of Sciences. National Academy of Engineer
ring. Water Quality Criteria, R 3.73.033. EPA, 1972, Washington
D.C., March 1973, p. 331

053 - op. cit. 012, pp. F.17 - F.20

054 - op. cit. 009, p. 416

055 - op. cit. 009, p. 117

056 - GRAU ORTI, R.

Dinámica del plomo procedente de vehículos a motor en el suelo
próximo a una autopista..

Tesina, Facultad de Farmacia, febrero 1980

057 - PREER, J.R. et al.

Factors affecting heavy metal content of garden vegetables
Environmental Pollution (Series B) 1 (1980) 95 - 104

058 - op. cit. 012, p. 4.5

059 - AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY

Methods of soil analysis. Part 2, 1965

060 - HESSE, P.R.

A textbook of soil chemical analysis

Ed. J. Murray. Londres, 1971

061 - JACKSON, M.L.

Análisis químico de suelos

Ed. Omega. Barcelona, 1964

062 - GUITIAN OJEA, F. y CARBALLAS FERNANDEZ, T.

Técnicas de análisis de suelos

Ed. Universitaria Pico-Sacro. Santiago, 1976

063 - LOPEZ RITAS y LOPEZ MELIDA

El diagnóstico de suelos y plantas. Métodos de campo y de laboratorio.

Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 1978

064 - MINISTERIO DE AGRICULTURA

Métodos oficiales de análisis de suelos, 1978

065 - OLIVER

Estudio crítico experimental de las técnicas de determinación -
de materia orgánica en suelos

INCA, 14 (30), 1954

066 - GALLARDO, J.F.

Nota sobre la determinación de C orgánico en suelos
Anal. Edaf. Agrobiolog. 34 (3 - 4), 1975

067 - BONNEAU, M. et SOUCHIER, B.

Pédologie, vol. 2. Constituants et propriétés du sol
Ed. Masson-Paris, 1979

068 - ANDERSON, A.

Relative efficiency of nine different soil extractants
Swedish S. Agric. Res. 5 : 125 - 135, 1975

069 - SALGOT, M. Trabajo no publicado

070 - APHA, AWWA, WPCF

Standard methods for the examination of water and wastewater
14 ed., Washington, 1975

071 - RODIER, J.

L'analyse de l'eau
Vol. I, 5^e ed., pp. 3 - 7

072 - ELLIS Jr., R.

Sampling and analysis of soils, plants, wastewaters and sludge
Suggested Standardization and Methodology
Research Publication 170. North Central Regional Publication --

230. Agricultural experiment station. Kansas State University, Manhattan. Reprinted october 1976, pp. 3 - 17

073 - SCHWOERBEL, J.

Métodos de hidrología

Ed. Blume, Madrid, 1975, pp. 14 - 18

074 - CROPPER, W.C.

Sampling of liquids, pp. 39 - 51 en "Standard Methods of chemical Analysis, 6th ed., vol. II. Edited by F.J. Welcher D. Van - Nostrand Co, Inc.; 1963, Princeton

075 - SALGOT, M. Comunicación personal

076 - BENNET, D.P., D.A. HUMPHRIES

Introducción a la ecología de campo

Ed. H. Blume, Madrid, 1978, pp. 301 - 302

077 - METCALF-EDDY

Tratamiento y depuración de las aguas residuales

Ed. Labor, S.A., 1977, p. 508

078 - op. cit. 028, p. 202

079 - LARROYA MONTULL, Anna M^a

Determinación de la demanda bioquímica y química de oxígeno en efluentes de la Costa Brava: interacciones

Tesina, Facultad de Farmacia, febrero 1980

080 - SALGOT, M. Comunicación personal

081 - op. cit. 052, p. 58

082 - AYERS, R.S., D.W. WESTCOT

Calidad del agua para la agricultura

Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la --
Alimentación, FAO, Roma, 1977,

083 - op. cit. 082, p. 68

084 - STATE OF CALIFORNIA

State Water Resources Control Board. Dept. of Water Resources.
Dept. of Health aspects of wastewater recharge. A state-of-the-
art review. Water Information Center, Inc., Huntington, N.J. --
1978, pp. 186 - 189

085 - ELLIS, B.G. en JACOBS, L.W.

Utilizing municipal sewage wastewater and sludges on land for -
agricultural production. North Central Regional Extension Publi-
cation n° 52. Nov. 1977. East Lansing, Michigan

086 - op. cit. 012

087 - op. cit. 052

088 - op. cit. 082

089 - DAY, A.D et al.

Effects of treatment plant effluent on soil properties. Jour. -
WPCF, vol. 44 n°3, March 1972, p. 372

090 - op. cit. 071, pp. I.35 - I.36

091 - MILLIPORE

Folleto AB 312. Mayo 1974

Millipore, Bedford Massachussets

092 - SAWYER, C.N. and McCARTY, P.L.

Chemistry for environmental engineering, 3rd

Ed. McGraw-Hill, New York, 1978, pp. 400 - 404

093 - SKOUGSTAD, M.W. et al.

Methods for determination of inorganic substances in water and
fluvial sediments

U.S. Geological Survey, Washington, D.C., 1979

094 - op. cit. 061, pp. 190 y sg.

095 - op. cit. 070, p. 476

096 - op. cit. 082, p. 67

097 - EPA

Process design manual for nitrogen control

EPA Technology Transfer. October 1975

098 - op. cit. 077, pp. 269 - 270

099 - op. cit. 070, pp. 422 - 423

100 - MORIE, G.P. et al.

Determination of nitrate and nitrite in mixtures with a nitrate ion electrode

Analytica Chimica Acta 60, 1972, pp. 397 - 403

101 - op. cit. 070, pp. 437 - 440

102 - op. cit. 071, pp.I.496 - 497

103 - SALGOT, M. Trabajo no publicado

104 - op. cit. 070, pp. 496 - 498

105 - op. cit. 082, p. 47

106 - op. cit. 082, p. 67

107 - op. cit. 028, p. 202

108 - op. cit. 070, pp. 250 - 253

109 - op. cit. 082, p. 57

110 - op. cit. 071, pp. I.152 - I.154

111 - op. cit. 077, p. 272

112 - SALGOT DE MARÇAY, M., GRAU ORTI, R., CARDUS AGUILAR, J.
Contenido de metales en las aguas residuales depuradas de diversas localidades de la Costa Brava (Girona). VII Convención Nacional de la Industria química. Ponencia nº SM 3/11, Sevilla, -

octubre 1980

113 - op. cit. 012

114 - POUND, C.E. et al.

Long term effects of land application of domestic wastewater
EPA-600/2-78-084. R.S. Kerr, Environmental Research Laboratory.
Ada, Oklahoma, April 1978

115 - JACOBS, L.W. op. cit. 085

116 - SEOANEZ, M.

Aprovechamiento y tratamientos agrarios de las aguas residuales
urbanas.

Ministerio de Agricultura. INIA, Madrid, 1978

117 - LEEPER, G.W.

Managing the heavy metals on land

Marcel Dekker, New York, 1978

118 - NOY, J. and E. FEINMESSER en: H.I. SHUVAL. Water renova--
tion and reuse. Academic Press, New York, 1977, pp. 73 y sg.

119 - PERKIN-ELMER. Instructions. Model 460. Atomic absorption
spectrophotometer. Perkin-Elmer Corp. Norwalk, Connecticut, feb.
1977

PERKIN-ELMER. Techniques and applications of atomic absorption.
AA-322 G. Perkin-Elmer Corp. Norwalk, Connecticut, March 1978

PERKIN-ELMER. Analytical methods for atomic absorption spectro-
photometry. Perkin-Elmer Corp. Norwalk, Connecticut, Sept. 1976

120 - op. cit. 079

121 - op. cit. 070, pp. 550 - 554

122 - ABELLA GUARDIOLA, M.

Control Sanitario de aguas. Estudio comparativo de métodos analíticos

Tesina, Facultad de Farmacia, sept. 1980

123 - op. cit. 012, p. 4.3

124 - OVERREIN, L.N.

Lysimeter studies on tracer nitrogen in forest soil: I - Nitrogen losses by leaching and volatilization after addition of - - urea-N¹⁵

Soil Science 106 n° 4, 1968, pp. 280 - 290

125 - NOUVEAU LAROUSSE UNIVERSEL

Dictionnaire encyclopédique en deux volumes, Paris, 1948

126 - TSCHAPEK, M.W.

El agua en el suelo

C.S.I.C. manuales de ciencia actual n° 2, 1966, pp. 433 - 434

127 - CASTANY, G.

Tratado práctico de las aguas subterráneas

Ed. Omega, S.A., Barcelona, 1971, pp.156 - 171

128 - WISLER, C.O., E.F. BRATER

Hydrology, 2nd. ed., New York, John Wiley and Sons, Inc., 1959,

p. 224

129 - REMENIERAS, G.

Tratado de hidrología aplicada

Editores técnicos aplicados, S.A., Barcelona, 1971, p. 238

130 - BROWN, K.W. et al.

A procedure for placing large undisturbed monoliths in lysimeters

Soil Sci. Soc. Amer. Proc., vol. 38, 1974, pp. 981 - 983

131 - BASTISSE, E.M.

Dix-huit années d'études lysimétriques appliquées à l'agronomie

Annales de l'institut national de la recherche agronomique, n°6

1951, pp. 727 - 781

132 - ALLISON, L.E. and R.C. REEVE

Lysimeters for studying effects of salinity, leaching and position of water table on plant growth

Soil Sci., vol. 79 n°2, 1955, pp. 81 - 91

133 - LOW, A.J. and E.R. ARMITAGE

The composition of the leachate through cropped and uncropped soils in lysimeters compared with that of the rain

Plant and Soil 33, 1970, pp. 393 - 411

134 - UPCHURCH, W.J. et al.

Lysimetric and chemical investigations of pedological changes:

Part 1: Lysimeters and their drainage waters

Soil Sci., vol. 116 n°5, 1973, pp. 336 - 358

135 - MISRA, U.K., W.J. UPCHURCH, C.E. MARSHALL

Lysimetric and chemical investigations of pedological changes:
Part 3: Relative changes in the potassium -and magnesium- treated profiles and leaching losses

Soil Sci., vol. 121 n°6, 1976, pp. 323 - 331

Part 4: Mineral equilibria in relation to potassium -and magnesium- enriched environment in the profile

Soil Sci., vol. 122 n°1, 1976, pp. 25 - 35

136 - BIELBY, D.G. et al.

Nitrate content of percolates from manured lysimeters

Journal of soil and water conservation, May-June 1973, vol. 28
n°3, pp. 124 - 126

137 - BURBANK Jr., N.C.

Mililani town wastewater reclamation and recycling project

Journal AWWA 5, 67 (9), 1975, pp. 487 - 489

138 - CAMPBELL, R.B.

Yield of flue-cured tobacco and levels of soil oxygen in lysimeters with different water table depths

Agronomy Journal vol. 64, 1972

139 - DUGAN, G.L. et al.

Land disposal of wastewater in Hawaii

Journal Water Pollution Control, vol. 47 n° 8, 1975, pp.2067 - 2087

140 - HAGIN, J. et al.

Comparison of Nitrate Leaching Results in a Lysimeter experi--

ment to those Predicted by a Simulation model and Estimates of Influences of Varying Parameters on Simulation Results

z. Planzenern. Bodenk. Heft 4, 1976, pp. 457 - 464

141 - HAYMAN, J.P., L. SMITH

Disposal of saline effluent by controles-spray irrigation

Journal WPCF, vol. 51 n^o3, 1979, pp. 526 - 533

142 - ISKANDAR, I.K.

The effect of wastewater reuse in cold regions on land treatment systems

Jour. of Environmental Quality, vol. 7 n^o3, 1978, pp. 361 - 368

143 - REICHMAN, G.A. et al.

Construction and performance of large automatic (non weighing) lysimeters

Transactions of the ASAE, vol. 22 n^o6, 1979, pp. 1343-1346,1352

144 - SOILEAU, J.M. et al.

The rhizotron-lysimeter research facility at TVA, muscle shoals Alabama

Agronomy Journal, vol. 66, 1974

145 - CAMPBELL, R.B.

Flue-cured tobacco yield and oxygen content of soil in lysimeters flooded for various periods

Agronomy Journal, vol. 65, 1973

146 - NAMKEN, L.N.

Water use by cotton from low and moderately saline water tables

Agronomy Journal, vol. 61, 1969

147 - WILLHITE, F.M. et al.

Interaction of Nitrogen and soil Moisture on the Production and Persistence of Timothy in Lysimeters

Agronomy Journal, vol. 57 n^o5, 1965, pp. 479 - 481

148 - op. cit. 034

149 - MARSHALL, C.E. et al.

Lysimetric and chemical investigations of pedological changes:
Part 2: Equilibration of profile samples with aqueous solutions
Soil Sci., vol. 116 n^o5, 1973, pp. 336 - 358

150 - BOWER, C.A.

Rootzone salt profiles and alfalfa growth as influenced by irrigation water salinity and leaching fraction

Agronomy Journal, vol. 61, 1969, pp. 783 - 785

151 - BOWER, C.A.

Growth of Sudan and tall fescue grasses as influenced by irrigation water salinity and leaching fraction

Agronomy Journal, vol. 62, 1970

152 - JONES, J.H. et al.

Behavior of sulfate sulfur and elemental sulfur in three California soils in lysimeters

Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 32, 1968, pp. 535 - 539

153 - LAL, R. and G.S. TAYLOR

- Drainage and nutrient effects in a field lysimeter study: I. --
Corn yield and soil conditions
Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 33, 1969, pp. 937-941
- 154 - QUASHU, H.K.
Infiltration and water depletion in lysimeters
Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 33, 1969, pp. 775 - 778
- 155 - SHALHEVET, J. and P.J. Zwerman
Nitrogen response of corn under conditions of drainage -a lysimeter study
Soil Sci., vol. 93, 1962, pp. 172 - 182
- 156 - WILLEY, C.R.
Automatic control of water table level in soil tanks
Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 32, 1968, pp. 596 - 598
- 157 - WILLIAMSON, R.E.
The management of soil salinity in lysimeters
Soil Sci. Soc. of Am. Proc., 1963, pp. 580 - 583
- 158 - HEWGILL, D. and LE GRICE S.
Lysimeter study with pig slurry
Agriculture and Water Quality, 1975, pp. 44 - 460
- 159 - SHAW, K. and E. JONES
Lysimeter studies on movement of applied mineral nitrogen through soil
Agriculture and Water Quality, pp. 222 - 236

160 - TOMAR, V.S. and J.C. O'TOOLE

Design and testing of a microlysimeter for wetland rice
Agronomy Journal, vol. 72, 1980, pp. 689 - 692

161 - OVERREIN, L.N.

Lysimeter studies on tracer in forest soil. 2- Comparative losses of nitrogen through leaching and volatilization after the addition of urea-ammonium and nitrate-N¹⁵
Soil Sci., vol. 107 n°3, 1969, pp. 149 - 159

162 - THOMAS, R.E. et al.

Soil chemical changes and infiltration rate reduction under sewage spreading
Soil Sci. Soc. Am. Proc., vol. 30, 1966, pp. 641 - 646

163 - TACKETT, J.L. et al.

A rapid procedure for securing large undisturbed soil cores
Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 29, 1965, pp. 218 - 220

164 - KITCHING, R. and L.R. BRIDGE

Lysimeter installations in Sandstone at Stirrup, Nottindhamshire. Journal of Hidrology, 23, 1974, pp. 219 - 232

165 - DOWDELL, R.J. and C.P. WEBSTER

A lysimeter study using nitrogen-15 on the uptake of fertilizer nitrogen by perennial ryegrass swards and losses by leaching
Journal of Soil Science, 31, 1980, pp. 65 - 75

166 - TESKE, W. und W. Matzel

Stickstoffauswaschung und Stickstoffausnutzung durch die Pflau-

zen in Feldlysimetern bei Anwendung von N_{15} -markiertem Harnstoff
Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd. Berlin 20, 1976, 7.S, pp.
489 - 502

167 - KISSEL, D.E. et al.

Chloride movement in undisturbed swelling clay soil
Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 37, 1973, pp. 21 - 24

168 - RITCHIE, J.T. et al.

Water movement in undisturbed swelling clay soil
Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 37, 1973,

169 - CASSEL, D.K. et al.

Solute movement through disturbed and undisturbed soil cores
Soil Science Society of America Proc., vol. 38, 1974, pp. 36-40

170 - OWENS, L.D.

Nitrogen Movement and Transformations in Soils as Evaluated by
a Lysimeter Study Utilizing Isotopic Nitrogen
Soil Sci. Soc. of Am. Proc., 1960, pp. 372 - 376

171 - CHICHESTER, F.W. and S.J. SMITH

Disposition of N_{15} -Labeled Fertilizer Nitrate Applied During ---
Corn Culture in Field Lysimeters
Journal of Environmental Quality, vol. 7 n°2, 1978, pp. 227-233

172 - DREIBELBIS, F.R. and J.L. McGuinness

Plant-nutrient losses in lysimeter percolates
Agronomy Journal, vol. 49 n° 10, 1957, pp. 523 - 527

173 - CANNEL, R.Q. et al.

A lysimeter system used to study the effect of transient water-logging on crop growth and yield

Journal Science Food. Agric., 32, 1980, pp. 105 - 116

174 - TILL, A.R. and T.P. McCabe

Sulfur leaching and lysimeter characterization

Soil Sci., vol. 121 n°6, 1976, pp. 44 - 47

175 - BRAUN, G.

A water balance model for weighable lysimeters

Modeling, identification and control in environmental systems,

Vansteenkiste ed., 1978, pp. 283 - 289

176 - CHICHESTER, F.W.

Effects of increased fertilizer rates of nitrogen content of runoff and percolate from monolith Lysimeters

Journal Environmental Quality, vol. 6 n°2, 1977, pp. 211 - 217

177 - VAN BAVEL, C.H.M.

Lysimetric measurements of evapotranspiration rates in the -- - Eastern United States

Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1961, pp. 138 - 141

178 - HUTSON, J.L. et al.

A weighing lysimeter facility at roodeplat for crop evapotranspiration studies

Water, S.A., vol. 6 n°1, 1980

179 - PRUITT, W.D. and D.E. ANGUS

Large weighing lysimeter for measuring evapotranspiration
Trans. Am. Soc. Agric. Engrs. 3, 1960, pp. 13 - 15

180 - GREEN, G.C. et al.

Lysimetric determination of citrus tree evapotranspiration
Agrochemophysica 6, 1974, pp. 35 - 42

181 - HANKS, R.J. and R.W. SHAWCROFT

An economical lysimeter for evapotranspiration studies
Agronomy Journal 57, 1965, pp. 634 - 636

182 - KING, K.M. et al.

A floating lysimeter and its evaporation recorder
Trans. Am. Geophys. Union 37, 1956, pp. 738 - 742

183 - BLACK, T.A. et al.

Hydraulic load cell lysimeter, construction, calibration and --
test. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 32, 1968, pp. 623 - 629

184 - RITCHIE, J.T. and E. BURNETT

A precision Weighing Lysimeter for Row Crop Water Use Studies
Agronomy Journal, vol. 60, 1968, pp. 545 - 549

185 - op. cit. 028

186 - GREEN, G.C. and W. BRUWER

An improved weighing lysimeter facility for citrus evapotranspi
ration studies

Water S.A., vol. 5 n^o4, 1979, pp. 189 - 195

187 - VAN BAVEL, 1962 citado por TSCHAPEK, op. cit. 126

188 - BLACK, T.A. et al.

The prediction of evaporation, drainage and soil water storage for a bare soil

Soil Sci. Soc. Am. Proc., vol. 33, 1969, pp. 655 - 660

189 - ROBBINS, C.W. and L.S. WILLARDSON

An instrumented lysimeter system for monitoring salt and water movement. Trans. of the ASAE, vol. 23 n°1, 1980, pp. 109 - 111

190 - BHARDWAJ, S.P. and G. SASTRY

Development and instalation of a simple mechanical weighing type lysimeter. Trans. of the ASAE, vol. 22 n°4, 1979, pp.797-802

191 - MCGUINNESS, J.L. et al.

Soil moisture measurements with the neutron method supplement - weighing lysimeters

Soil Sci. Soc. of Am.Proc., vol 25 n°5, 1961, pp. 339 - 342

192 - WINTER, E.J.

Water, soil and the plant

Sciences in Horticulture Series, MacMillan, 1974, pp. 19 - 21

193 - op. cit. 125

194 - COLE, D.W.

Alundum tension lysimeter

Soil Sci., vol. 85 n°6, 1958, pp. 293 - 296

195 - op. cit. 133

196 - JORDAN, C.F.

A simple, tension-free lysimeter

Soil Sci., vol. 105 n^o2, 1968, pp. 81 - 86

197 - COLE, D.W. et al.

Tension lysimeter studies of ion and moisture movement in glacial till and coral atoll soils

Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 25 n^o4, 1961, pp. 321 - 325

198 - COCHRAN, P.H. et al.

Variations in tension lysimeter leachate volumes

Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 34, 1970, pp. 309 - 311

199 - RICHARD, Y. et al.

Denitrification of water for human consumption

Prog. Wat. Tech., vol. 12, Toronto, 1980, pp. 173 - 191

200 - op. cit. 012, pp. C.27 - C.29

201 - WOOD, A.L. and J.M. DAVIDSON

Fluometuron and water content distributions during infiltration: measured and calculated

Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 39, 1975, pp. 820 - 825

202 - GURR, C.G.

Use of gamma rays in measuring water content and permeability in unsaturated columns of soil

Soil Sci., vol. 94 n^o4, 1962, pp. 224 - 229

203 - O'CONNOR, G.A. et al.

Movement of 2,4,5 - T through large soil columns
Soil Science, vol. 130 n°3, 1980, pp. 157 - 162

204 - op. cit. 132

205 - op. cit. 126

206 - ROUTSON, C.R. and D.J. BROWN

Frontal movement of aqueous solutions during redistribution - -
through air-dry sand columns as a function of column length and
time. Soil Sci., vol. 125 n°5, 1978, pp. 320 - 325

207 - GARDNER, H.R. and W.R. GARDNER

Relation of water application to evaporation and storage of - -
soil water. Soil Sci. Soc. Am. Proc., vol. 33, 1969, pp.192-196

208 - FRANKENBERGER Jr., W.T. et al.

Bacterial effects on hydraulic conductivity of soils
Soil Science Soc. Am. Journal, vol. 43, 1979, pp. 333 - 338

209 - BERG, W.A., G.W. THOMAS

Anion elution patterns from soils and soil clays
Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 23, 1959, pp. 343 - 350

210 - LA FLEUR, K.S.

Prometryne desorption and movement in soil columns
Soil Sci., vol. 121 n°1, 1976, pp. 9 - 15

211 - THOMAS, G.W. and A.R. SWOBODA

Anion exclusion effects on chloride movement in soils

Soil Sci., vol. 110 n°3, 1970, pp. 163 - 166

212 - TERKELTOUB, R.W. and K.L. BADCOCK

A simple method for predicting salt movement through soil

Soil Sci., vol. 111 n°3, 1971, pp. 182 - 187

213 - SMITH, S.J.

Relative rate of chloride movement in leaching of surface soils

Soil Sci., vol. 114 n°4, 1972, pp. 259 - 263

214 - CARY, J.W. and H.F. MAYLAND

Salt and water movement in unsaturated frozen soil

Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 36, 1972, pp. 549,- 555

215 - ELRICK, D.E. and L.K. FRENCH

Miscible displacement patterns on disturbed and undisturbed soil cores. Soil Sci. Soc. Am. Proc., vol. 30 n°2, 1966, pp. 218-220

216 - BEN-YEPHET, Y.

Penetration of metham and mylone into soil columns as measured by their effect on viability of microsclerotia of verticillium dahliae. Plant and Soil 53, 1979, pp. 341 - 349

217 - YOUNG, R.H.F. and N.C. BURBANK Jr.

Virus removal in Hawaiian soils

Journal AWWA, 1973, pp. 598 - 604

218 - RIBLE, J.M.

Ion exchange in soil columns

Soil Sci., vol. 79 n°1, 1955, pp. 41 - 47

219 - SHALHEVET, J. and B. YARON

Ion distribution, moisture content and density of soil columns measured with gamma radiation

Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 31 n°2, 1967, pp. 153 - 156

220 - PARK, C.S. and G.A. O'Connor

Salinity effects on hydraulic properties of soils

Soil Sci., vol. 130 n°3, 1980, pp. 167 - 174

221 - LAI, S.H. and J.J. JURINAK

The transport of cations in soil columns at different velocities

Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 36, 1972, pp. 730 - 733

222 - MANSELL, R.S. et al.

A method for simultaneous control of aeration and unsaturated water movement in laboratory soil columns

Soil Sci., vol. 106 n°2, 1968, pp. 114 - 121

223 - STARR, J.L. and J.Y. PARLANGE

Dispersion in soil columns: the snow plow effect

Soil Sci. Soc. Am. Proc., vol. 43, 1979, pp. 448 - 450

224 - STAPLE, W.J.

Infiltration and redistribution of water in vertical columns of loam soil.

Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 30, 1966, pp. 553 - 558

225 - STAPLE, W.J.

Comparison of computed and measured moisture redistribution following infiltration

Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 33, 1969, pp. 840 - 847

226 - GUPTA, R.P. and W.J. STAPLE

Infiltration into vertical columns of soil under a small positive head

Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 28 n°6, 1964, pp. 729 - 732

227 - YARON, B. et al.

A method for uniform packing of soil columns

Soil Sci., vol. 101 n°3, 1966, pp. 205 - 209

228 - GILBERT, R.G. et al.

Denitrifying Bacteria Populations and Nitrogen Removal in Soil Columns Intermittently Flooded with Secondary Sewage Effluent
Journal of Environm. Quality, vol. 8 n°1, 1979, pp. 101 - 104

229 - McINTYRE, D.S. and K.J. BARROW

An improved sampling method for small undisturbed cores

Soil Sci., vol. 114 n°3, 1972, pp. 239 - 241

230 - COREY, J.C. et al.

Miscible displacement of nitrate through soil columns

Soil Sci. Soc. of Am. proc., vol. 31, 1967, pp. 497 - 501

231 - MILLER, J.R. and R.F. RIETEMEIER

The leaching of radiostrontium and radiocesium through soils

Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol 27, 1963, pp. 141 - 144

232 - BARBARICK, K.A. et al.

Comparison of various methods of sampling soil water for determining ionic salts, sodium and calcium content in soil columns
Soil Sci. Soc. of Am. Journal, vol. 43, 1979, pp. 1053 - 1055

233 - SAXENA, G.H. et al.

Drainage of vertical columns of Lakeland Sand
Soil Sci., vol. 120 n°1, 1975, pp. 1 - 12

234 - SIMONS, A.P. and F.R. MAGDOFF

Laboratory evaluation of design parameters for mound system disposal of septic tank effluent

Journal of Environm. Quality, vol. 8 n°4, 1979, pp. 486 - 492

Disposal of septic tank effluent in mound and sand filter-trench systems on a clay soil

Journal of Environm. Quality, vol. 8 n°4, 1979, pp. 469 - 473

235 - LANCE, J.L. et al.

Renovation of wastewater by soil columns flooded with primary effluent

Journal WPCF, vol. 52 n°2, 1980, pp. 381 - 388

236 - SINGH, B.R.

Migration of ions in soils. I, II. Movement of Zn^{65} from surface - application of zinc sulphate in soil columns

Plant and Soil 41, 1974, pp. 619 - 636

237 - SEVERSON, R.C. et al.

Percolation losses of phosphorus, calcium and potassium from some Minnesota Forest soils

Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 39, 1975, pp. 540 - 543

238 - LUE-HING, C. et al.

Viral and Bacterial levels resulting from the Land Application of Digested Sludge

X. Microbiology and Public Health. Utilization of municipal sewage effluent and sludge on Forest and disturbed Land.

Edited by W.E. Sopper and S.N. KERR, The Pennsylvania State University Press, 1979, pp. 448 - 450

239 - DAHAB, M.F. and J.C. YOUNG

Unstratified-bed filtration of wastewater

Journal of Environm. Engineering Division Proceedings of the -- ASCE, vol. 103 n^o1, 1977, pp. 21 - 35

240 - COLMAN, E.A.

A laboratory study of lysimeter drainage under controlled soil moisture tension

Soil Sci., vol. 62, 1946, pp. 365 - 382

241 - ROSS, D.J. et al.

Effect of irrigation with municipal water or sewage effluent on the biology of soil cores. IV. Respiratory and enzyme activities
Journal of Agricultural Research 21, 1978, pp. 411 - 417

242 - CHILDS, C.W. et al.

Infiltration through soil as a tertiary treatment of sewage effluent. New Zealand soil bureau scientific report 29

Department of scientific and industrial research, New Zealand, 1977

243 - KOWALIK, P. et al.

Oxidation of liquid animal wastes in soil

Soil Sci. Soc. of Am. Journal, vol. 43 n^o2, 1979, pp. 255 - 260

244 - MARSHALL, T.J. and G.B. STIRK

Pressure potencial of water moving downward into soil

Soil Science, vol. 68 n^o1, 1949, pp. 359 - 370

245 - LANCE, J.C. and C.P. GERBA

Poliovirus movement during high rate land filtration of sewage water

Journal of Environm. Quality, vol. 9 n^o1, 1980, pp. 31 - 34

246 - OSTER, J.D. and F.W. SCHROER

Infiltration as influenced by irrigation water quality

Soil Sci. Soc. Am. Proc., vol. 43, 1979, pp. 444 - 447

247 - BOUMA, J. and J.H.M. WOSTEN

Flow patterns during extended saturated flow in two undisturbed swelling clay soils with different macrostructures

Soil Sci. Soc. of Am. Journal, vol. 43, 1979, pp. 16 - 22

248 - BOUMA, J.

Field measurement of soil hidraulic properties characterizing water movement through swelling clay soils

Journal of hidrology 45, 1980, pp. 149 - 158

249 - op. cit. 169

250 - VENE, J.

Les plastiques

Que sais-je? n°312, 1976, 8^e ed., P.U.F., Paris

251 - MIELKE, L.N.

Encasing undisturbed soil cores in plastic

Soil Sci. Soc. Am. Proc., vol. 37, 1973, pp. 325 - 326

252 - BITTON, G. et al.

On the value of soil columns for assessing the transport pattern of viruses through soils: a critical outlook

Water, Air and Soil Pollution, 12, 1979, pp. 449 - 457

253 - BONDURANT, J.A. et al.

Plastic casing for soil cores

Soil Sci., vol. 107 n°1, 1963, pp. 70 - 71

254 - NIELSEN, D.R. and J.W. BIGGAR

Miscible displacement in soils. I. Experimental information

Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 25 n°1, 1961, pp. 1 - 5

255 - op. cit. 168

256 - WIEGAND, C.L. and S.A. TAYLOR

Temperature depression and temperature distribution in drying -- soil columns

Soil Sci., vol. 94 n°2, 1962, pp. 75 - 78

257 - JACKSON, D.R. et al.

Extraction of soil water using cellulose-acetate hollow fibers

Soil Sci. Soc. of Am. Journal, vol. 40, 1976, pp. 327 - 329

258 - op. cit. 034

259 - op. cit. 009

260 - SOIL TAXONOMY

A Basic System of Soil Classification for Making and Interpre--
ting Soil Surveys

Washington, U.S. Department of Agriculture, 1975

261 - HUGGENBERGER, J. et al.

Observed and calculated distribution of Lindane in soil columns
as influenced by water movement

Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 36, 1972, pp. 544 - 548

262 - DAVIDSON, J.M. and R.K. CHANG

Transport of piclolum in relation to soil physical conditions -
and pore-water velocity

Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 36, 1972, pp. 257 - 261

263 - ERH, K.T. et al.

Dynamics of nitrification in soils using a miscible displacement
technique

Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 31, 1967, pp. 585 - 589

264 - FERGUSON, H. and W.H. GARDNER

Water content measurement in soil columns by gamma ray absorp--
tion. Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 26, 1962, pp. 11 - 14

265 - KHAN, M.F.A. and A.W. MOORE

Losses of added nitrogen from some Alberta soils

Soil Sci., vol. 106 n°3, 1968, pp. 232 - 234

266 - LANCE, J.C. et al.

Effects of vegetation on denitrification and phosphate movement during rapid infiltration of soil columns

Journal of WPCF, vol. 50 n°9, 1978, pp. 2183 - 2188

267 - op. cit. 201

268 - op. cit. 217

269 - op. cit. 229

270 - VEIHMEYER, F.J.

An improved soil-sampling tube

Soil Sci., vol. 27, 1929, pp. 147 - 152

271 - COILE, T.S.

Soil samplers

Soil Science, vo. 42, 1936, pp. 139 - 142

272 - LUTZ, J.F.

Apparatus for collecting undisturbed soil samples

Soil Science, vol. 64, 1947, pp. 399 - 401

273 - SWANSON, C.L.W.

A portable soil core sampler and penetrometer

Agromomy Journal, 1949, pp. 447 - 451

274 - TANNER, C.B. et al.

A core-type soil sampler for small undisturbed samples
Agronomy Journal, 1953, pp. 512 - 513

275 - HAYDEN, C.W. and W.H. HEINEMANN Jr.
A hand operated undisturbed core sampler
Soil Sci., vol. 106 n°2, 1968, pp. 153 - 156

276 - SWANSON, C.L.W. and H.G.M. JACOBSON
Influence of cultivation and weed killers on soil structure and
crop yield
Soil Sci., vol. 69 n°5, 1950, pp. 443 - 457

277 - KELLEY, O.J. and H.R. HAISE
A soil sampling machine for obtaining undisturbed cores
Journal of the American Society of Agronomy, vol. 39, 1947, pp.
828 - 830

278 - op. cit. 251

279 - KELLEY et al. en: op. cit. 251

280 - ANDREWS, L.A. and W.M. BROADFOOT
The San Dimas soil core sampler
Soil Sci., vol. 85 n°6, 1958, pp. 297 - 301

281 - op. cit. 169

282 - op. cit. 242

283 - op. cit. 246

284 - op. cit. 163

285 - op. cit. 159

286 - CAIRNS, A. et al.

Effect of irrigation with municipal water or sewage effluent on the biology of soil cores. I - Introduction, total microbial populations, and respiratory activity

Journal of Agricultural Research 21, 1978, pp. 1 - 9, New Zealand

287 - STOUT, J.D.

Effect of irrigation with municipal water or sewage effluent on the biology of soil cores. II - Protozoan fauna

Journal of Agricultural Research 21, 1978, pp. 11 - 20, New Zealand

288 - ORCHARD, V.A.

Effect of irrigation with municipal water or sewage effluent on the biology of soil cores. III - Actinomycete flora

Journal of Agricultural Research 21, 1978, pp. 21 - 28, New Zealand

289 - JONES, J.H. and G.S. TAYLOR

Septic Tank Effluents Percolation Through Sands under Laboratory Conditions

Soil Sci., vol. 99 n°5, 1965, pp. 301 - 309

290 - STARR, J.L. and J.Y. PARLANGE

Solute dispersion in saturated soil columns

Soil Sci., vol. 121 n°6, 1976, pp. 364 - 372

291 - FRISSEL, M.J. and P. POELSTRA^a

A theoretical approach to the movement of strontium through
soils. Soil Sci., vol. 98 n°1, 1974, pp. 274 - 277

292 - MAC DONALD, R.M. and J. PATON

Application of the pedostat to a study of the effect of simulated rainfall on the response of soil microorganisms to liming
Soil Biol. Biochem., vol. 11, 1979, pp. 629 - 631

293 - MC LAREN, A.D.

Steady state studies of nitrification in soil: theoretical considerations

Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 33, 1969, pp. 273 - 276

294 - PARLANGE, J.Y. and J.L. STARR

Linear dispersion in finite columns

Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 39, 1975, pp. 817 - 819

295 - op. cit. 199

296 - WHISLER, F.D. and A. KLUTE

The numerical analysis of infiltration, considering hysteresis, into a vertical soil column at equilibrium under gravity

Soil Sci. Soc. of Am. Proc., vol. 29 n°5, 1965, pp. 489 - 494

297 - op. cit. 127

298 - op. cit. 131

299 - op. cit. 192, pp. 19 - 21

300 - op. cit. 163

301 - op. cit. 133

302 - op. cit. 172

303 - op. cit. 252

304 - op. cit. 012, p. F.4

305 - GALLARDO, J.F.

El humus

Investigación y Ciencia nº46. Julio 1980, pp. 8 - 16

306 - op. cit. 034

307 - op. cit. 242

308 - op. cit. 266

309 - op. cit. 158

310 - ORGANIZACION SINDICAL

Superficies ocupadas por los cultivos agrícolas, 1973

citado por MAJORAL I MOLINE, R. en Atlas Sòcio-econòmic de Catalunya, 1980, fulls nº 3.01.01 - 3.01.02, 3.02.01 - 3.02.04

311 - MAJORAL I MOLINE, R.

Tabla sobre superficies agrícolas realizada por el Consorcio de Información y Documentación de Cataluña.

312 - FONT QUER, P.

Diccionario de Botánica

Ed. Labor, S.A., 1970

313 - op. cit. 150

314 - op. cit. 132

315 - op. cit. 141

316 - op. cit. 172

317 - DREIBELBIS, F.R.

Land use and soil type effects on the soil moisture regimen in lysimeters and small watersheds

Soil Sci. Soc. of Am. Proc., 1963, pp. 455 - 460

318 - op. cit. 133

319 - op. cit. 142

320 - op. cit. 171

321 - op. cit. 176

322 - op. cit. 147

323 - op. cit. 170

324 - op. cit. 165

325 - op. cit. 139

326 - op. cit. 159

327 - op. cit. 158

328 - op. cit. 138

329 - op. cit. 145

330 - op. cit. 146

331 - op. cit. 153

332 - op. cit. 136

333 - op. cit. 157

334 - op. cit. 144

335 - op. cit. 160

336 - op. cit. 130

337 - op. cit. 186

338 - op. cit. 242

339 - op. cit. 246

340 - op. cit. 126

341 - LOEHR, R.C.

Pollution control for agriculture

Academic Press, Inc., New York, 1977, p. 278

342 - SALGOT, M. Trabajo no publicado