

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE HIDRAULICA

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL PAPEL DE LOS ARBOLES
EN EL DRENAJE Y OTROS ASPECTOS DE LAS
CARRETERAS**

GERMAN MORA GUILLEN

ROLANDO JOSE RODRIGO A.

TRABAJO ESPECIAL PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL.

Septiembre, 1966.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
Facultad de Ingeniería

DEPARTAMENTO DE HIDRAULICA

ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL PAPEL DE LOS ARBOLES
EN EL DRENAJE Y OTROS ASPECTOS DE LAS
CARRETERAS

Germán Mora Guillén

Rolando José Rodrigo A.

TRABAJO ESPECIAL PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

Septiembre, 1.966

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos.
Al Dr. Carlos E. Salas.
A la memoria de Carlos Luis Salas.
A Elbita.

Germán Mora Guillén

A mis padres y hermanas
Rolando José Rodrigo A.

RECONOCIMIENTO

Al Profesor Guía, Ingeniero Marcelo
González Molina.

Al Ingeniero Gonzalo Melo Jiménez.

A la Srta. Herminia Montaña.

Al Sr. Humberto Gómez.

I N D I C E

	Pag.
Resumen	1
Introducción	2
Trabajo Realizado	7
Procedencia del Agua en la Sub-base de la Carretera	11
Estado de Disponibilidad de Agua en el Suelo	16
El Movimiento del Agua en el Suelo producido por la actividad de la Planta	17
La Raíz: Región de Absorción del Agua	19
Medida de la Humedad del Suelo	20
Agua Absorbida por los Arboles	24
Especies a Plantar	27
Conclusiones	30
Recomendaciones	31
Fotografías	32
Bibliografía	38

R E S U M E N

En el presente trabajo se trata de verificar la utilidad que representa para el buen mantenimiento de una carretera, el utilizar los árboles como vía de eliminación del agua retenida bajo el pavimento, idea que ha partido del Profesor Guía, Dr. Marcelo González M., y que se trata de comprobar en el presente trabajo.

En el aspecto teórico de la investigación se buscó la bibliografía existente al respecto, se hizo un breve estudio de los elementos de la planta y sus funciones relacionadas con la absorción de agua, y se realizó una serie de consultas a Profesionales entendidos en la materia.

En el aspecto práctico se inspeccionó visualmente la carretera antigua Caracas-Los Teques-Maracay, comparando el estado del pavimento en los tramos con árboles a los lados y los carentes de ellos. Se tomaron muestras del suelo en diferentes zonas para determinar el contenido de humedad.

Se llegó a unas conclusiones y se hicieron algunas recomendaciones.

I N T R O D U C C I O N

La conservación y mantenimiento de las carreteras es de vital importancia. En todos los Presupuestos Nacionales, Regionales y Municipales se destinan Partidas aplicables a esta función. Se puede decir que una carretera está bien diseñada cuando, además de cumplir con todos los requisitos técnicos de proyecto y construcción, reducen a un mínimo los gastos de mantenimiento, especialmente lo que se refiere a la conservación y buen estado del pavimento.

En nuestro país mucho es el dinero que se gasta en reparar las carreteras, sin prestar una atención efectiva a la causa principal del deterioro del pavimento. Aún cuando se reconoce que el agua provoca los daños en la carretera, todavía no se ha aplicado eficazmente el método necesario para contrarrestar esta acción. En vez de suprimir la causa, la tendencia más frecuente es la de eliminar los efectos, componiendo la superficie afectada ó repavimentando todo el tramo.

Se ha dicho siempre que un buen camino necesita una superficie hermética y una base seca. El apoyo de todas las superficies de los pavimentos de la carretera depende de la capa de tierra que se encuentra debajo. Entre las causas del deterioro de los pavimentos podemos enumerar:

- 1.- Mala calidad del material de la sub-base.
- 2.- Pavimentos débiles.
- 3.- Material de la sub-base mal compactado.
- 4.- Sistemas de drenajes inoperantes ó mal diseñados.

Generalmente la presencia del agua en la vía es la que va a ocasionar mayores problemas, ya que cuando ésta se pone en contacto con los materiales componentes del suelo:

- A.- Puede cambiar su proporción en el suelo, modificando las características mecánicas del mismo; se altera su resistencia interna y se pueden originar asentamientos que se reflejen en la superficie del pavimento, ó corrimientos en taludes que antes eran estables.
- B.- Si la proporción de agua no es uniforme en todo el suelo, su resistencia será desigual y se podrán producir roturas en la superficie del pavimento al originarse asientos distintos.
- C.- Al aumentar la proporción de agua en el terreno, puede haber un aumento de volumen que, dependiendo de su naturaleza, sea importante y origine movimiento en el pavimento; el aumento de volumen puede ser grande en terreno arcillosos.
- D.- El agua si llega a ponerse en contacto con el pavimento, puede ocasionar su ruina por disgregación de su masa.
- E.- El agua al correr por la superficie del terreno puede causar erosiones de importancia.

En general, el aumento de agua produce disminución de resistencia del terreno, excepto en los de tipo granular, de tamaño medio y grueso.

Es por esto que una carretera ha de estar dotada de un sistema de drenaje conveniente para que se elimine toda el agua que perjudique la zona, tanto la superficial como la subterránea, y así el firme o pavimento de la carretera no sea dañado como consecuencia de esto.

Exige pues la carretera que el agua sea eliminada rápida y efectivamente de su zona de influencia sobre el pavimento, condición que se logra mediante drenajes: alcantarillas, cunetas laterales, zanjas permeables, tubos perforados, etc.

Peró no siempre estos sistemas logran cumplir cabalmente esta función ó, si se puede lograr hacerla cumplir, es a expensas de un mayor desembolso de dinero en obras especiales, encareciendo considerablemente el costo de la vía.

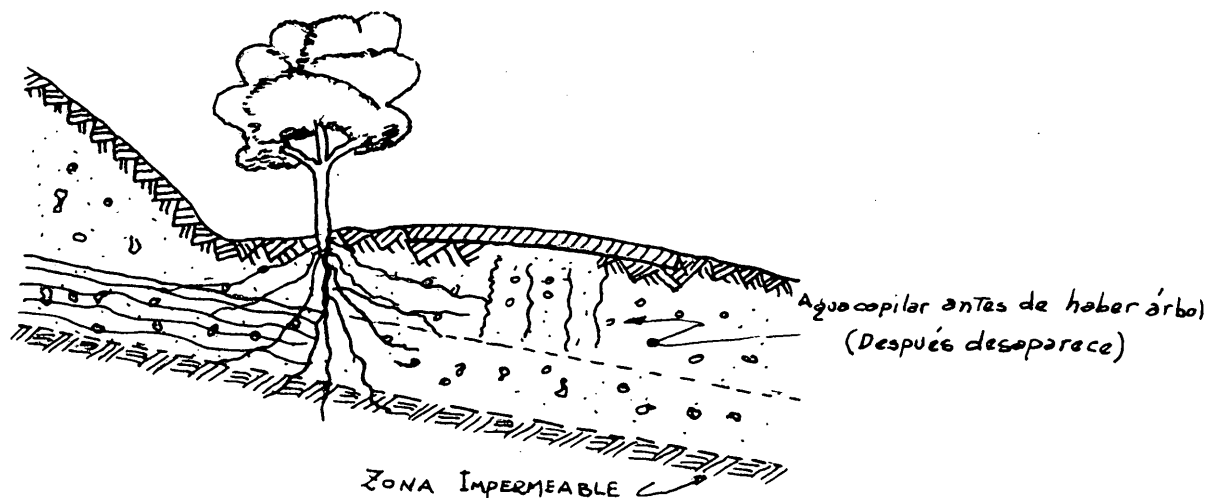
En la mayoría de los casos, las características de los materiales que forman la base de los pavimentos, van a influir directamente sobre las condiciones de drenaje; materiales con gran poder de retención hacen difícil el drenaje y si se encuentran en la sub-base, si el agua llega hasta ellos, éstos se saturan y forman las llamadas "bolsas de agua" debajo del pavimento, originándose una zona débil, donde comenzará a romperse el mismo. En otros casos, el agua por capilaridad sube a través del terreno de fundación llegando hasta la capa de sub-base, haciendo fallar el asfalto. Esta agua sub-terránea es la más difícil de eliminar de la vía a un bajo costo, y se hace necesario determinar cual sería la manera más ventajosa para tratar de desviarla ó suprimirla. Se ha pensado que utilizando los árboles como bombas para extraer esta agua, podría ser una solución al problema, basándose en la característica fundamental de las plantas de tomar el agua necesaria del

suelo para su nutrición y desarrollo, absorbiéndola por las raíces; es decir, que los árboles utilicen el agua difícil de drenar del sub-suelo.

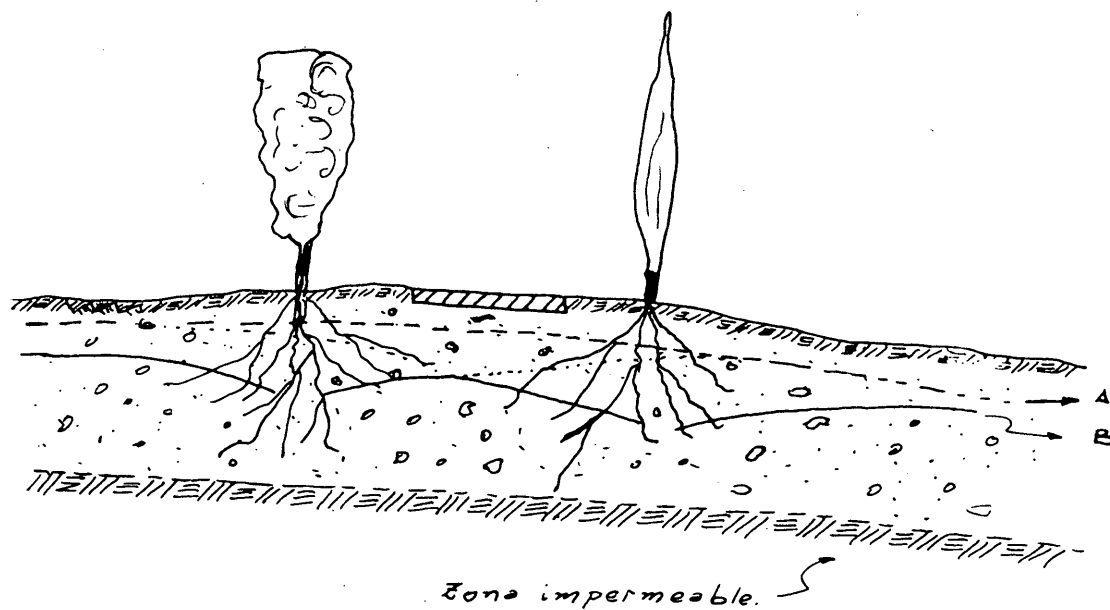
Los árboles plantados en los laterales de la vía, establecen una corriente de agua a través de ellos desde el suelo a la atmósfera, impidiendo que el agua quede retenida bajo la vía, inclusive logran que el nivel freático baje posiciones favorables a la carretera, en zonas donde éste se encuentra cerca de la superficie.

Puede decirse que al sembrarse árboles al lado de la carretera, con este fin de drenaje, éstos han de pasar por un período de crecimiento en que su efectividad no será total y la carretera estará desprovista de este servicio y cuando el árbol comience sus funciones ya el pavimento estará averiado.

Esta observación quedaría a un lado si se considera que la siembra de los árboles y la construcción de la vía sea simultánea. La carretera ha de tener un período de vida útil sin dañarse, que sería el período de crecimiento del árbol.



Sin embargo, esta siembra de árboles puede ocasionar ciertos inconvenientes. El estudio de las ventajas y desventajas de utilizar los árboles con este fin de drenaje, es el objeto del presente Trabajo Especial.



A: NIVEL FREÁTICO ANTES DE PANTAR LOS ARBOLES. -

B: " " DESPUES " " " " " "

TRABAJO REALIZADO

Como primer paso en el desarrollo de este Trabajo Especial se buscó exhaustivamente toda la Bibliografía existente que tratase específicamente sobre el tema propuesto; no se halló alguna que enfocara directamente el problema, sólo ciertas publicaciones aisladas a fines al mismo y un artículo en la Revista "Caminos" de Buenos Aires titulado "La Deshidratación de Préstamos con Arboles Hidrófilos". Esta búsqueda se efectuó en las Bibliotecas de diferentes organismos tales como: Ministerio de Agricultura y Cría, Universidad Central de Venezuela (Bibliotecas: Central, de Ingeniería Civil, del Jardín Botánico y de la Facultad de Farmacia); también se escribió a la F.A.O. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) y a la Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad de los Andes, pidiendo información y orientación que pudiese ofrecerse sobre el tema en cuestión, a la vez que publicaciones al respecto.

De la Facultad de Ingeniería Forestal de la U.L.A. lamentablemente no se obtuvo ninguna respuesta.

La F.A.O. contestó entre otras cosas lo siguiente: "El tema que han elegido para desarrollar vuestra Tesis de Grado es muy interesante, además que muy poco se ha escrito sobre el mismo, y por lo cual es probable que tropiecen con dificultad para localizar el material de referencia necesario. En consecuencia, se sugiere que se modifique el título de la Tesis para dejarlo menos específico en relación con el drenaje, con lo que podría quedar "Estudio experimental del papel de los árboles a lo largo de las Carreteras" ". Más adelante, el

Director de Montes y Productos Forestales de la F.A.O. recomendaba con sultar una serie de textos del Sistema Oxford de Clasificación Decimal, los cuales no tratan específicamente sobre el tema, pero si sirvieron de magnífica ayuda para el desarrollo del mismo.

Con el fin de recabar una mayor información y obtener da tos de experiencias realizadas sobre este Tema en Venezuela, se recu rrió a Profesionales y entendidos en la materia. Así fué que se consul tó con los Ingenieros Forestales Sixto J. Pericci y Rafael Rodríguez Gal lindo del Ministerio de Agricultura y Cría, Ingeniero Civil Héctor Sil va, Ingeniero Agrónomo Pedro José Urriola M. del Ministerio de Obras Pú blicas y los Dres. Oswaldo De Sola, Jacob Carciente y Leandro Ariste - guieta, Profesores de la Universidad Central de Venezuela. Se encontró con el hecho de que para todos ellos, y como lo es en realidad, el usar los árboles como bombas para drenar el agua retenida bajo la superficie del pavimento, es un campo completamente árido e inexplorado en nuestro país y en el mundo. Esto pudo constatarse al no conseguir bibliografía al respecto.

Es en la Dirección de Mantenimiento del Ministerio de Obras Públicas donde existe mayor interés en desarrollar una investigación de este tipo, pero lamentablemente esta idea tiene muy pocos seguidores, e llos son los Ingenieros Gonzalo Melo Jiménez, Jacinto Guevara y Antonio J. Agostini y el Ingeniero Agrónomo José Rafael García al servicio del Ministerio de Agricultura y Cría. Hasta ahora sólo se han realizado cier tas experiencias aisladas por parte de algunos de los Ingenieros del M.O.P. antes citados, pero no se posee ningún dato concreto, así como tam bién no se guarda ningún resultado sistematizado. Si se han realizado ob servaciones sobre el Eucalipto pues es muy utilizado en Venezuela por su

fácil adaptación a cualquier medio para desecar zonas pantanosas cercanas a las carreteras, pero sin ninguna planificación con objeto de determinar la capacidad de absorción de dichos árboles.

La División de Mantenimiento del M.O.P., por intermedio del Ing^o Gonzalo Melo Jiménez, ha experimentado sembrando eucaliptos a los lados de las vías públicas, obteniendo magníficos resultados en el proceso de reforestación. Se ha notado como en los tramos sembrados con este tipo de árbol, el pavimento se encuentra en buenas condiciones y con una humedad bastante baja en relación con los tramos de carretera desprovistos de este tipo de vegetación a sus lados; esto pudo comprobarse determinando el contenido de humedad en dichas zonas.

En el aspecto experimental se tomó como campo de ensayos la antigua carretera Caracas-Los Teques-Maracay y el tramo de la vía Panamericana entre Caracas y Los Teques. De la observación directa del estado del pavimento en los tramos arborizados lateralmente y desprovistos de arborización, a primera vista es de notar el buen estado en que se encuentra el pavimento en casi la totalidad de los tramos con árboles a los lados de la vía. Se observa que el pavimento se conserva en mejor estado en los tramos con árboles grandes: eucalipto, caoba, ceibo, mijao, jabillo, etc. que en los tramos con árboles pequeños ó escasos.

Para medir la humedad del suelo y hacer comparaciones en tramos de la vía arborizados lateralmente y tramos no arborizados, se consiguieron dos tensiómetros en la Sección de Edafología del M.O.P. Sin embargo, se deshecharon las mediciones realizadas, pues los aparatos no tenían más de un metro de longitud, profundidad que parece muy

poca, pues no alcanza el nivel medio de las raíces. También se hacía di
ficil el dejar los aparatos en el sitio cierto tiempo, con el fin de
leer los registros cada día.

Se decidió entonces utilizar el método de la estufa para
estimar la humedad del terreno. Con este fin se obtuvieron muestras de
suelo a 1.50 metros de profundidad en los tramos arborizados y en los no
arborizados. Las perforaciones se hicieron con un saca-muestras tipo ba
rrena. Para obtener datos (del contenido de humedad) en forma comparati
va, se hicieron las perforaciones en tramos arborizados y no arborizados
situados uno frente al otro ó adyacente.

Los resultados obtenidos no ofrecen en general una diferen
cia muy marcada en la humedad de las dos zonas; por ejemplo, con las mues
tras tomadas en el tramo situado a 17 Kilómetros de Tejerías por la carre
tera en estudio, la humedad de la zona con árboles (ceibos, cedros) era
de 19.5% y en la zona adyacente desprovista de árboles, la humedad del
terreno era de 24.4%. Esta poca diferencia se observa en los resultados
de la mayor parte de los tramos ensayados, excepto en la zona situada a
28Kms. de Tejerías, la cual se ve aparentemente bastante húmeda, el tramo
con jabillos plantados a un lado de la vía presentó una humedad de 7.31%
relativamente bajo en comparación con 20.7% que presentó la zona adyacen
te desprovista de árboles.

PROCEDENCIA DEL AGUA EN LA SUB-BASE DE LA CARRETERA

Al caer el agua de lluvia sobre la superficie de la tierra, parte de ésta escurre inmediatamente por la superficie del terreno formando corrientes de agua; parte se evapora directamente en la superficie y parte se infiltra en el terreno a través de los intersticios del suelo.

Cuando esta agua, bien sea la que se escurre o la que se infiltra, alcanza la carretera, si no se tienen los medios apropiados, va a causar graves daños a ella como pueden ser: inundación de la calzada, debilitamiento de la estructura de la carretera, erosión de los taludes, etc.

Para la eliminación de estas aguas, la carretera debe contar entonces, con:

a) Drenajes superficiales para remoción de aguas, bien sea las que caigan sobre la superficie o plataforma de la vía o las que caigan en cuencas tributarias, cuyas vías de aguas crucen la carretera.

b) Drenajes subterráneos o subdrenajes para la eliminación de las aguas subterráneas.

Generalmente los problemas en el pavimento o en la estructura de la carretera causados por el escurrimiento de agua superficial, se puede determinar fácilmente su origen y poner remedio inmediato, ya que se conoce de donde provienen estas aguas, y hacia donde se pueden desviar. No sucede así con las aguas subterráneas; el nivel a que éstas se encuentran lo va a dar la altura del nivel freático o de

la mesa de agua en las zonas por donde pasa la carretera. La cercanía de este nivel a la sub-base y las condiciones del material que la componen van a influir directamente sobre la cantidad de agua existente debajo de la vía.

Las aguas subterráneas se presentan en tres tipos diferentes de formaciones geológicas:

- 1º) En los lechos de lagos ya extinguidos ó en los valles de ríos subterráneos.
- 2º) En extensos depósitos sedimentarios, como rocas porosas.
- 3º) En estratos porosos y en las fisuras de otras formaciones tales como calizas.

Estos tipos de formaciones son los que dan una mayor productividad.

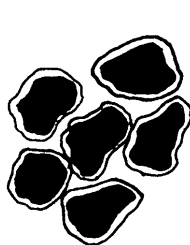
El agua en el suelo puede presentarse en tres formas diferentes según la naturaleza de las fuerzas que la retienen:

- 1º) Agua higroscópica.
- 2º) Agua capilar.
- 3º) Agua gravitacional.

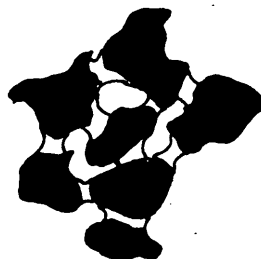
El agua higroscópica es aquella que se halla en el suelo y que no se mueve ni por la influencia de la gravedad ni por las fuerzas capilares, pues se halla retenida en el suelo por fuerza de adherencia, cuyo valor está en equilibrio con la presión de vapor de aire circundante. Por esta razón la cantidad de agua higroscópica presente en un suelo dado, variará con la humedad relativa y con la temperatura del ambiente.

El agua capilar se puede definir como el excedente de agua higroscópica que existe en el espacio poroso del suelo y que éste retiene contra la fuerza de la gravedad, debido a las fuerzas de tensión superficial.

El agua gravitacional, es el exceso de agua higroscópica y capilar, susceptible a moverse en el suelo por la acción de la fuerza de la gravedad, y podrá ser eliminada del suelo si se le proporciona un drenaje normal.



AGUA HIGROSCÓ-
-PICA.-



AGUA
CAPILAR.-



AGUA
GRAVITACIONAL.-

De las investigaciones hechas en el suelo para localizar el agua libre en la carretera, se ha determinado que ésta puede mostrarse bajo cualquiera de estas condiciones:

- 1º) Filtración en ladera.
- 2º) Manto freático a nivel.
- 3º) Escurrimientos superficiales.

El agua capilar puede ascender cuando hay un manto freático a nivel ó filtraciones en ladera, agravando los daños en la sub-base o sub-rasante.

Las filtraciones en ladera deben ser interceptadas preferiblemente antes de que el agua alcance el área de la carretera.

El nivel del manto freático se debe abatir más allá del límite capilar efectivo; para lograr estos dos propósitos normalmente se colocan tubos para subdrenaje, dispuestos en zanjas que se rellenan después con material permeable.

En el caso de terraplenes, al construirse éstos, se originan presiones sobre su base. Si dicha base es húmeda o compresible, se van a presentar asentamientos en proporción a la altura del terraplén; si éstos no se construyen en forma apropiada, pueden producirse bolsas de lodo, bombeo del mismo lodo y porciones blandas en el terraplén. Generalmente el agua presente en los terraplenes proviene de mantos subterráneos ó de algún tramo adyacente en corte.

Cuando la carretera es en corte en ladera y en trinchera ó cajón, se pueden considerar dos condiciones:

1^a) Cuando la zona de escurrimiento cae en el talud del corte.

2^a) Cuando la zona de escurrimiento pasa por debajo de la carretera.

Esta zona puede estar constituida por una amplia y profunda capa permeable, ó por una grieta angosta. Cuando la zona de escurrimiento pasa por debajo de la carretera, si la parte alta de la zona de escurrimiento se presenta de 0.60 a 1.20 metros por debajo de la superficie de la carretera, puede existir agua libre en la sub-base, la que es "bombeada" por el tráfico que pasa. Además, el agente perjudicial puede ser también el agua capilar que origine una sub-rasante inestable.

ESTADO DE DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL SUELO

El agua también se ha clasificado en:

- a) No disponible, y
- b) Superflua ó de gravitación.

La citada clasificación se basa en la disponibilidad de agua en relación con los vegetales. El agua de gravitación ó superflua drena rápidamente de la zona radicular. El agua no disponible es retenida intensamente por las fuerzas capilares y por lo tanto las raíces de las plantas no pueden absorberla. El agua que toma la raíz de la planta es la diferencia entre el agua gravitacional y el agua disponible.

El agua drena del terreno bajo la acción constante de la gravedad. Cuando el suelo saturado comienza a perder humedad, primero se vacían los poros grandes, luego los medianos y por último los pequeños. El flujo de agua se hace entonces cada vez más difícil puesto que los conductos de paso tienden a disminuir y el agua remanente es retenida por las partículas del suelo con más fuerza.

La variación del contenido de humedad en el suelo tiene dos puntos extremos en relación a la planta, que son:

- 1.- Capacidad de campo: que se define como el contenido de humedad del suelo después que ha escurrido toda el agua gravitacional.
- 2.- Punto de Marchitez Permanente: que se define como la condición de humedad en que las plantas se marchitan y no se recobran por más que se le aplique agua al suelo.

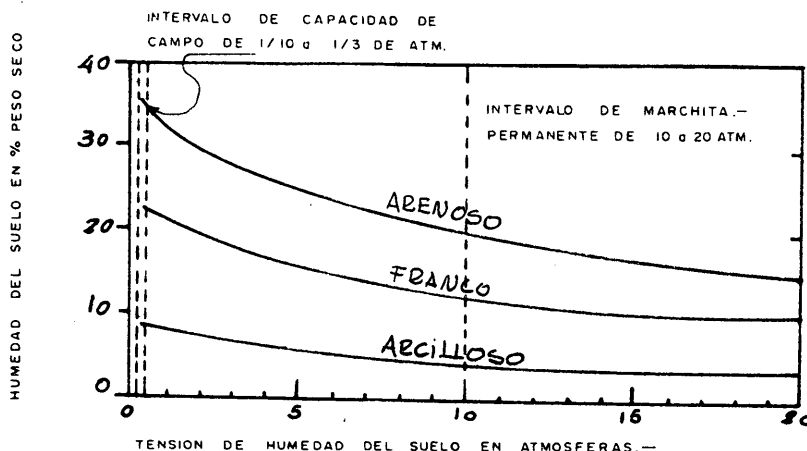


DIAGRAMA DE LA VARIACION DE LA HUMEDAD DEL SUELO CON LA TENSION.—

El movimiento del agua en el suelo producido por la actividad de la planta.

Cuando la raíz del árbol absorbe el agua del suelo, se produce una deficiencia del líquido alrededor de la vecindad inmediata de la raíz. Esto establece un gradiente en el suelo con su punto más bajo junto a la raíz y su punto más alto en la masa del suelo, y el agua se mueve desde regiones más apartadas hacia la raíz. Este movimiento del agua puede ser un flujo en masa, muy lento, sobre la superficie de las partículas inorgánicas, o también puede ser un movimiento que comprenda el medio de dispersión de los coloides del suelo.

Este movimiento del agua en el suelo siempre es relativamente lento, y por lo tanto no puede satisfacer las necesidades del árbol con suficiente rapidez; en consecuencia, si no sobreviene una reducción en las necesidades de agua, el árbol se marchitará. Si la pérdida de agua por el árbol se regula eficazmente y se reduce rápida y suficientemente, entonces las necesidades de la raíz se reducirán de tal forma que la cantidad de agua que entra por ella será igual a la pérdida y el marchitamiento será efímero.

El consumo de agua por las plantas puede tratarse como un flujo continuo desde el suelo hasta la atmósfera, pasando del suelo al árbol a través de las raíces (ósmosis) y del árbol a la atmósfera a través de las hojas (transpiración). Para una información detallada de estos dos fenómenos, puede consultarse las bibliografías Nos.2, 8 y 11.

LA RAIZ: REGION DE ABSORCION DEL AGUA

Toda el agua que pasa a una planta de cultivo normal debe penetrar por la zona pilífera de la raíz. Las células de esta región constituyen la única puerta de entrada para las moléculas de agua y otras que vienen de la tierra.

Las moléculas de agua se difunden desde el suelo, por las paredes coloidales del pelo radicular, hacia la pared celular de la primera célula de la corteza, y entonces, por las paredes de los tejidos más internos, hasta llegar al endodermo. En el endodermo, si el engrosamiento de suberina se ha desarrollado, como de ordinario ocurre en las paredes radiales de las células, este movimiento del agua por las paredes coloidales se interrumpe.

Mientras esto ocurre, y con tal que el valor osmótico de la savia celular del pelo radicular sea mayor que el del suelo, ó sea, con tal que exista un gradiente de agua hacia el interior de la raíz, el agua pasará a la raíz por un proceso osmótico. La entrada de agua en el vacuolo del pelo reduce el valor osmótico de la savia de aquella célula, y por lo tanto se forma otro gradiente de agua entre ella y la célula vecina de la corteza. Este proceso se repite de célula en célula hacia el interior y se forma un gradiente compuesto desde la solución del suelo a la existente en la estela (o sea, todos los tejidos situados por dentro de la endodermis). En este momento el agua penetra en él, y si no se utiliza inmediatamente, provocará una presión en el interior de los vasos.

MEDIDA DE LA HUMEDAD DEL SUELO

La estimación de la humedad del suelo se hace con el objeto de establecer diferencias entre tramos arborizados y tramos desnudos. Los métodos que se enuncian a continuación se dan con el fin de efectuar experiencias futuras.

1.- El método de la Estufa.

2.- Tensiómetros.

3.- Resistencia Eléctrica.

Método de la Estufa: Este método nos permite determinar exactamente el grado de humedad del suelo. Consiste en tomar una ó varias muestras de suelo a la profundidad deseada, después se pesa la muestra y se pone a secar en una estufa a 105°C hasta que el peso de la muestra se haga constante.

El porcentaje de humedad de la muestra será el peso del agua perdido de la muestra en el secado y el peso seco de la misma multiplicado por 100:

$$(\%)W = \frac{\text{Peso saturada} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

Este método es bastante laborioso y requiere de un buen equipo de aparatos, por lo que solo se emplea solamente en trabajos de laboratorio. Sirve además para chequear y controlar los resultados obtenidos por los otros métodos.

La extracción de las muestras del terreno puede hacerse con cualquier aparato apropiado para este fin, como pueden ser:

- a) Barrenas de Suelo: se utilizan dos tipos, una en forma helicoidal, hecha con un berbequí de carpintero de 12 mm., y otra tubular, especialmente diseñada para perforar el suelo, que es un tubo de 5 cm. de diámetro.
- b) Sondas toma-muestras: se emplean cuando se desea obtener muestras sin perturbar, de una profundidad determinada. La que resulta más adecuada para este fin es el tubo de Veihmeyer.

Tensiómetros: El tensiómetro es un aparato constituido por una probeta porosa llena de agua y conectada a un manómetro de mercurio ó a un vacuómetro.

Los tensiómetros miden la tensión con que el agua es retenida por las partículas del suelo, lo que nos indica el grado de disponibilidad del agua en el suelo, y constituye una medida indirecta del contenido de humedad en un suelo determinado.

Para poner a trabajar el aparato, se abre un hoyo en el suelo a la profundidad deseada; después se le echa un poco de tierra suelta en el fondo y se introduce la probeta porosa, presionándola con fuerza para que haya un buen contacto entre la probeta y el suelo circundante; luego se comprime algo de tierra alrededor de ella, rodeando el tubo. De esta manera se pone en contacto temporalmente el agua del interior de la probeta y la existente en el terreno.

Si el suelo se encuentra seco, es decir la succión o tensión del agua del suelo es mayor que la del interior de la probeta, el agua fluye fuera de la probeta, provocando un vacío en el interior del tubo, el que es registrado por el manómetro.

Por el contrario si la humedad del suelo es mayor ó aumenta, hace que la tensión del agua en el suelo disminuya, y el agua fluye hacia la probeta, registrando el manómetro esta disminución de tensión.-

Estos aparatos dan buenos resultados cuando la tensión del agua en el suelo es menor de 0.8 atm. ó 850 cms. de mercurio; si la tensión es mayor los resultados son errados, pues la columna de agua tiende a romperse dando lecturas falsas. Debido a ésto es por lo que los tensiómetros solo se usan para suelos húmedos.

Para la utilización del tensiómetro en el campo, primero debe calibrarse el aparato; ésto se hace realizando las medidas del contenido de humedad del suelo aplicando el método de la estufa y el tensiómetro.

Para cada lectura hecha en el tensiómetro, se toma una muestra del suelo a nivel de la probeta porosa, y se le determina su contenido de humedad exactamente en el laboratorio, como se hace con el método de la estufa.

Con las lecturas en el tensiómetro y los contenidos de humedad correspondiente a cada lectura, se puede hacer un gráfico de contenido de humedad (v.s.) lecturas.

Con este gráfico de calibración del aparato, rápidamente se puede determinar el contenido de humedad aproximado del suelo en estudio, en el campo, ya que se hace la lectura en el manómetro y entrando con ésta al gráfico inmediatamente, leemos la humedad aproximada correspondiente.

Resistencia Eléctrica: Las propiedades eléctricas de resistencia, capacitancia y fuerza dieléctrica, se utilizan para la estimación del contenido de humedad del suelo. El estudio de éstas propiedades se hace utilizando bloques de yeso en los que se incrustan dos electrodos de hilo recto. Los cables provenientes de los electrodos se conectan a un puente de Wheastone, en donde se registra la resistencia que presenta el bloque al paso de la corriente eléctrica proveniente de una batería.

La humedad del bloque trata de equilibrarse con la del suelo. A medida que el contenido de humedad aumenta, hay más solución de yeso y la resistencia entre los alambres disminuye. También se han hecho experimentos con bloques de nylon, de fibra de cristal y combinaciones de estos materiales con yeso. Por lo general, los bloques de yeso son los menos sensibles a las condiciones de humedad alta y baja de tensión; en condiciones óptimas actúan con presiones que oscilan entre 1 a 15 atmósferas.

Cuando las tensiones no alcanzan 2 atmósferas, los bloques de nylon son los más sensibles. Sin embargo, se recomienda utilizar los bloques de yeso en tres oportunidades solamente, pues se disuelven en el agua del suelo.

AGUA ABSORBIDA POR LOS ARBOLES

Las raíces de los árboles absorben volúmenes de agua en la que se encuentran disueltos elementos minerales que sirven para su nutrición.

Después de penetrar en la planta, el agua puede ser utilizada en la formación de compuestos nuevos, o también participa en las actividades celulares sin modificar su forma molecular.

Debido a la facilidad con que las plantas pierden agua que pasa a la atmósfera en forma de vapor, ellas también deben absorber grandes cantidades de agua del suelo, con el fin de mantener su turgencia y cumplir a cabalidad sus funciones.

El consumo ó evaporación de agua de un campo cultivado, depende según el tamaño de las plantas, el número y tamaño de las hojas, etc. Un campo sembrado con árboles, evapora mayor cantidad de agua que uno sembrado con plantas pequeñas. Sin embargo, puede decirse que el consumo de agua de un terreno sembrado, depende principalmente de los factores meteorológicos: temperatura, radiación solar, viento, humedad relativa, etc.

El peso de agua transpirada por las plantas en relación al peso de material aéreo seco se ha denominado "coeficiente de transpiración", este factor es muy grande, varía de 200 a 500 en regiones húmedas, y es casi el doble para cultivos de regiones áridas. Un coeficiente de transpiración de 400, significa que la planta transpira 400 litros de agua por cada kilogramo de materia seca que produce.

En la estimación del consumo de agua de un campo, es más importante considerar las condiciones climatológicas que el tipo de planta cultivado en ese campo. Se ha demostrado que las plantas sembradas en suelos más o menos ricos, producen en el mismo período de tiempo, más tejido que las cultivadas en terrenos pobres; lógicamente éstas últimas necesitan mayor cantidad de agua.

También en climas secos, la transpiración aumenta sin que la producción de materia seca lo haga y el consumo de agua aumenta. Utilizando una misma variedad de plantas en idéntica región, pueden encontrarse diversos valores de requerimiento de agua, según las condiciones climatológicas de cada año.

En general, la desecación del terreno donde los árboles vegetan, depende de la especie y edad de ellos, de la foliación, de la fructificación, del período vegetativo, de las condiciones metereológicas, etc.

Los datos que se dan a continuación son variables y están sujetos a diversos factores; sin embargo, conviene citarlos para tener una idea del consumo de agua por los árboles. En terrenos forestados, el 25% del agua de lluvia es interceptada por las plantas; se acepta que no más de la quinta parte llega al suelo por el escurrimiento entre las ramas y los tallos y el resto se evapora directamente a la atmósfera. Estos datos se refieren a períodos de tiempo muy corto.

Otro 25% del agua de lluvia se evapora de la superficie del suelo y el resto escurre y percola. Estas últimas cantidades varían con el grado de inclinación del terreno.

Un árbol de diez años de tipo: eucalipto, (ciprés calvo), sáuce, álamo, tilo, fresno, olmo, abedul, mora, etc., transpira una cantidad de 100 litros de agua aproximadamente por cada kilogramo de hojas; esto sucede en los 8 meses de mayor actividad, de Septiembre a Mayo; claro está que el peso del follaje varía con la edad y especie del vegetal, pero si le asignamos un peso de 10 kilogramos, a los diez años, cada árbol tendrá una capacidad de extraer agua del suelo de 10 metros cúbicos aproximadamente. Se llega al mismo resultado si consideramos que los vegetales necesitan de 250 a 400 litros de agua para elaborar un kilogramo de tejido. En estas cifras están comprendidos desde árboles nerófitos hasta hidrófitos. Un hidrófito, como el eucalipto por ejemplo, a los 10 años de vida habrá producido 500 kilogramos de tejidos para lo cual habrá necesitado 200.000 litros de agua, o sea 20.000 litros al año. Si suponemos que la ha extraído de 20 metros cuadrados, resulta que el agua requerida del suelo es 1000 milímetros anuales aproximadamente.

Entonces podemos llegar a la conclusión de que la plantación de árboles reduce la cantidad de agua de lluvias que recibe el suelo en un 20% y que dichos árboles a los 10 años extraen como mínimo una cantidad igual a la evaporada. La actividad de los árboles es mucho mayor cuando existe humedad en el terreno. La cantidad de follaje de los árboles a los 20 años, es más de tres veces la indicada, con lo que el poder de extracción de agua por lo menos se triplica.

ESPECIES A PLANTAR

Las especies que se dan a continuación se consideraron como las más apropiadas para sembrar a los lados de las carreteras. En diferentes zonas donde se encuentran plantadas estas variedades, el pavimento se observa en magníficas condiciones.

Eucaliptos: Los eucaliptos comprenden diversas especies que se adaptan a las más variadas condiciones de terrenos y climatológicas. La facilidad de plantarlos y cultivarlos, la rapidez de crecimiento, la persistencia de un follaje de poca sombra, la facultad de brotar de cepa de la mayor parte de las especies, son todas ellas cualidades que los hacen adecuados para colocarlos a lo largo de las vías públicas. Las grandes exigencias de agua de la mayoría de las especies, se traducen en muchos casos en un descenso del nivel freático.

Como desecador de pantanos el *Eucalyptus Globulus* cumple una magnífica tarea; originario de Tasmania, su tronco es alto y recto. Sus raíces son muy fuertes y penetran profundamente en el suelo y sub-suelo otorgando al tronco una gran firmeza y dotando a la planta de una gran aptitud para nutrirse de sustancias que se encuentran en el sub-suelo. El *Eucalyptus Globulus* es una planta muy poco exigente, se desarrolla en todos los sitios desde el nivel del mar, hasta increíbles alturas de los páramos. Prefiere los terrenos cascajosos y sueltos, en donde se desarrolla perfectamente. Tolera los terrenos alcalinos.

En los Estados Táchira y Mérida, las plantaciones de esta variedad (introducidas desde 1.943), han dado resultados satisfactorios.

Su crecimiento es rápido y alcanza una altura de 20 a 30 metros. El diámetro del tronco a 1.30 metros es de 30 a 40 centímetros aproximadamente. Su adaptación al medio es prácticamente buena, porque la semilla cosechada de árboles de cierta edad, presenta una germinalidad regular y produce plantas en buenas condiciones. En general la semilla es fértil desde los 8 a los 15 años de edad de la planta.

En nuestro país existen diversas variedades de Eucaliptos, pero según datos obtenidos el E. Globulus es la especie más adecuada para el trabajo que nos proponemos. Se tienen noticias de que esta variedad ha sido utilizada como "bomba de agua" para desecar pantanos en Argentina, España, Brasil y otros países del Globo.

Caoba: (Swietenia Machrophylla King). Especie autoctona que vegeta naturalmente en los bosques tropófilos, principalmente en los del oeste del país, esparcida ó en muy pequeñas manchas hasta los 1000 m. de altitud.

Se presenta como árbol grande con tronco recto, columnar, limpio de ramas hasta los 2/3 de su altura y con diámetros a veces muy superior a un metro. Por su base desarrolla estribos o aletas, posee raíces profundas, corteza rojiza agrietada y pierde las hojas temporalmente en la estación seca.

Vive la caoba en una gran variedad de suelos, siendo óptimos los franco arcillosos ó franco arcilloso-limoso. Es resistente a la sequía, pero vegeta mejor en localidades con precipitación pluvial superior a 1500 mm. anuales (1800 a 2000).

Apamate: Es especie autóctona. Vegeta preferentemente en los suelos frescos de las márgenes de los ríos, donde soporta a veces grandes períodos de inundación.

Su mejor zona de vegetación tiene una precipitación pluvial comprendida entre 1500 y 2500 mm. anuales.

El crecimiento del apamate en condiciones favorables es rápido, pudiendo alcanzar hasta 3 m. en un año.

El Saman: Arbol espectacular, de tronco usualmente corto en proporción con la copa enorme y tupida; es muy frecuente en terrenos cálidos. Es excelente para su uso en las vías carreteras. En regiones calientes y muy húmedas alcanza un excesivo tamaño, desarrollando grandes raíces superficiales y muy extendidas.

CONCLUSIONES

De las investigaciones, consultas y ensayos realizados, no se puede dar una afirmación categórica respecto a la función eficaz de los árboles plantados a los bordes de una carretera como agentes efectivos para eliminar la humedad del suelo, nociva al buen estado del pavimento.

De las entrevistas y consultas hechas a profesionales entendidos en la materia, se deduce un gran interés por el tema planteado, pero lamentablemente es muy poco lo que se ha escrito sobre el mismo y la mayoría de ellos carecen de información y datos sobre experiencias realizadas en relación a esta materia.

A juzgar por las observaciones realizadas en la carretera en estudio, el pavimento se encuentra en mejores condiciones en los tramos arborizados que en los carentes de árboles a los lados. Pero ésto no es un hecho general, pues en ciertos tramos arborizados de la vía en cuestión, el pavimento se halla en mal estado pudiéndose notar que ésto es ocasionado por la presencia de humedad en la zona.

Es de notar un mejor estado del pavimento en las zonas con árboles grandes y mayor capacidad de absorción de agua, tal es el caso del tramo de la Panamericana entre Caracas y Los Teques situado cerca del desvío hacia San Antonio de los Altos, donde la División de Mantanimiento del M.O.P. ha sembrado un grupo de Eucaliptos. (Ver fotografía N^o 12).

La carencia del tiempo necesario y el equipo adecuado, imposibilitó la obtención de datos experimentales más precisos.

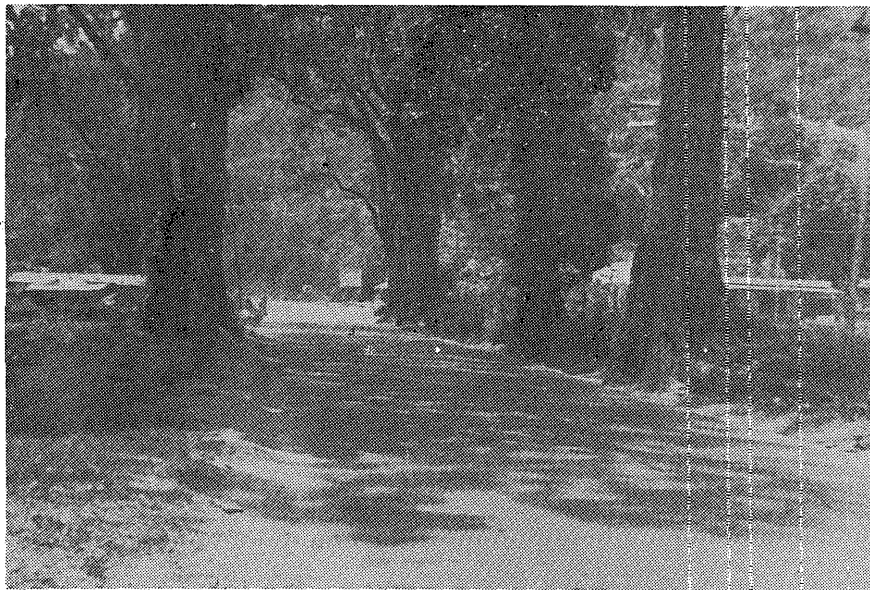
RECOMENDACIONES.

Continuar las investigaciones sobre el tema en una forma experimental, asesorándose para ello con personal ya especializado de la División de Mantenimiento del Ministerio de Obras Públicas, quienes están sumamente interesados en el desarrollo de este trabajo.

Continuar el estudio teórico de la relación suelo-agua-planta, con el fin de determinar cuantitativamente la capacidad para extraer agua del suelo de las diferentes especies de árboles recomendadas. Estos ensayos pueden llevarse a cabo en la misma carretera que se escoja para efectuar la experimentación. Tomar como carretera tipo la Autopista Tejerías-Valencia, la cual presenta problemas de drenaje en el Tramo La Encrucijada - Maracay.

Sembrar eucaliptos a los lados de la vía en tramos de 1 kilómetro de longitud, alternándolos con tramos de la misma longitud sin árboles; el eucalipto se adapta fácilmente a cualquier condición de clima, a la vez que es una de las especies que tiene mayor capacidad para extraer agua del suelo.

Hacer una comparación de la humedad del terreno a nivel de la zona radical en tramos arborizados y en tramos adyacentes, carentes de arborización.

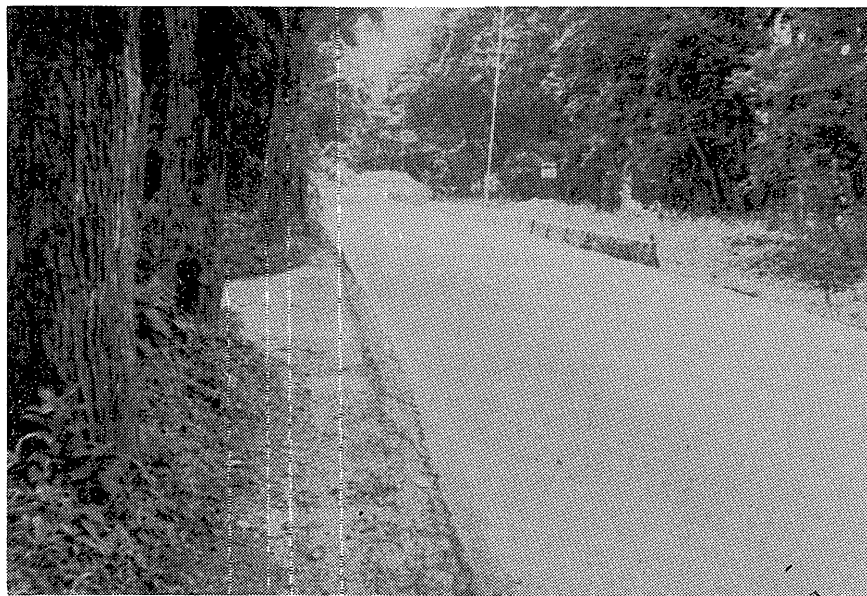


FOTOGRAFIA N° 1

Antimano. Pavimento en buenas condiciones, con caobos a ambos lados. Las raíces no han roto el pavimento.

FOTOGRAFIA N° 2

Carretera antigua Tejerías-Maracay. Sitio: 2 kilómetros después de Tejerías. Cedros a un lado de la vía. Zona húmeda. Pavimento en buenas condiciones.



FOTOGRAFIA N° 3

Carretera antigua Tejerías - Maracay. 19 kilómetros de Tejerías. Arboles frondosos a ambos lados de la vía: jabillos, cedros, ceibas. Pavimento en buenas condiciones.

FOTOGRAFIA N° 4

17 kilómetros de Tejerías. Cedros y ceibas a un lado de la vía. Tramo sin ondulaciones ni grietas en el pavimento.

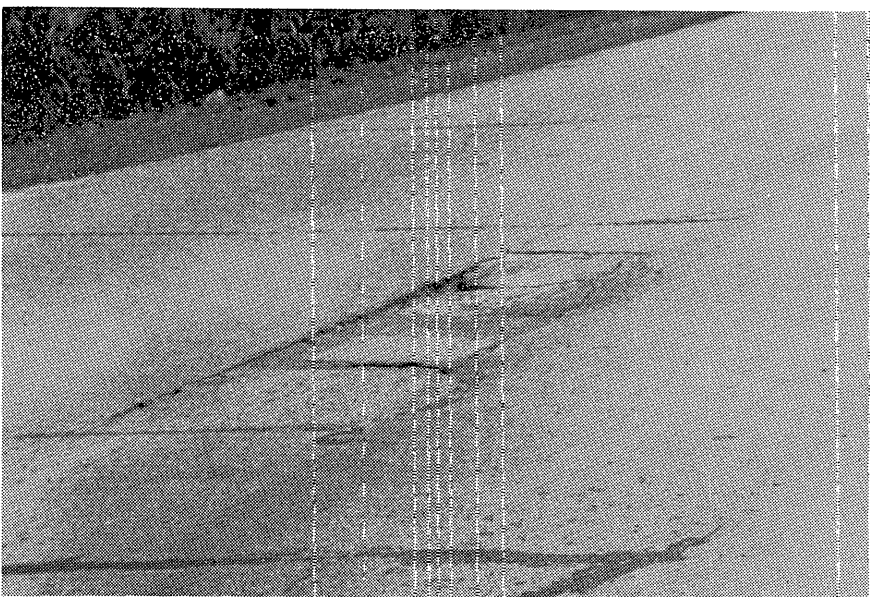


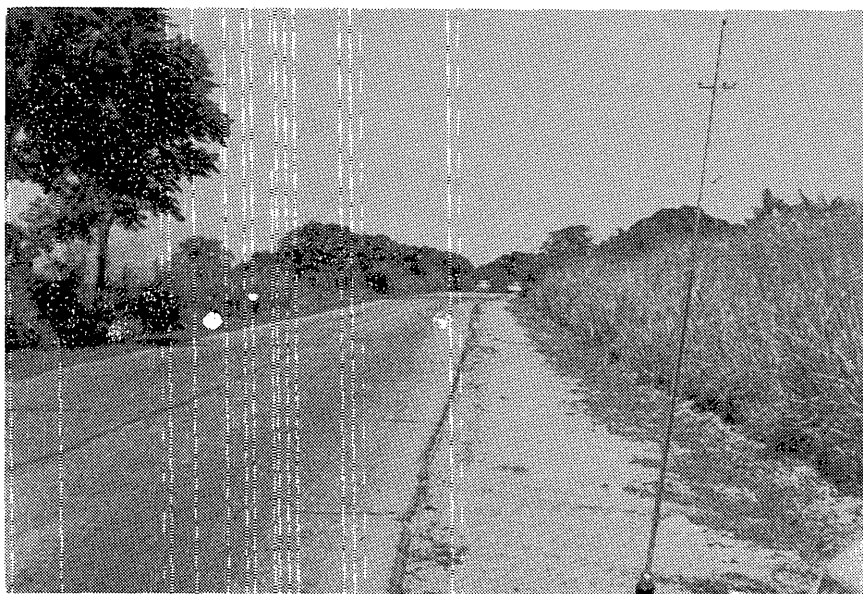
FOTOGRAFIA N° 5

6 kilómetros de Tejerías. Zona con escasos árboles. El pavimento se encuentra en condiciones regulares.

FOTOGRAFIA N° 6

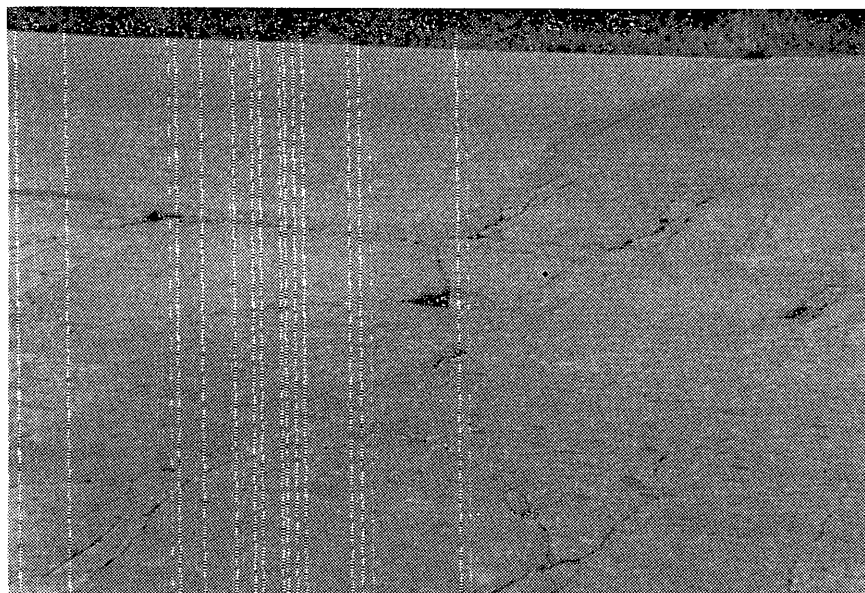
6 kilómetros de Tejerías. El agua presente debajo del pavimento causa una mala cimentación.





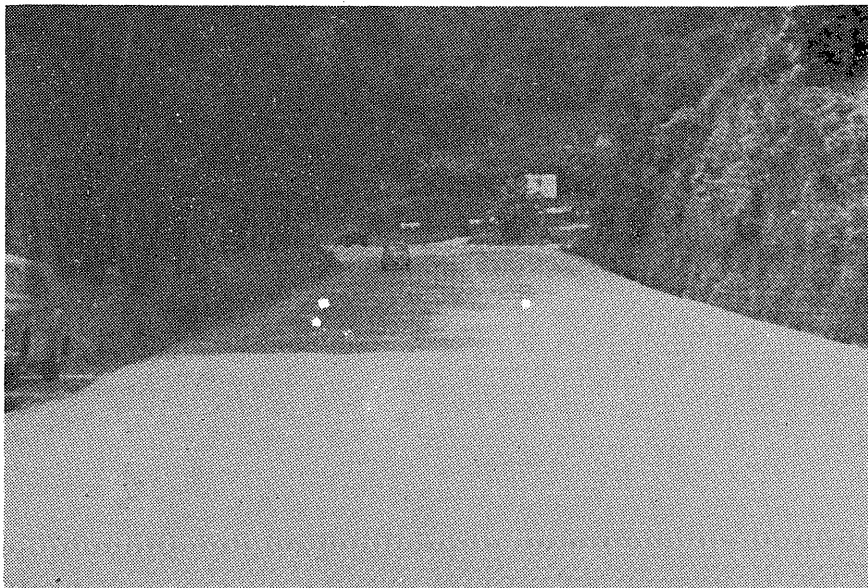
FOTOGRAFIA N° 7

14 kilómetros de Tejerías, tramo regularmente arborizado, árboles pequeños. Pavimento en condiciones regulares. Agrietados.



FOTOGRAFIA N° 8

14 kilómetros de Tejerías. Falla local del pavimento. El agua que proviene de las grietas y juntas, es señal de la causa del perjuicio.



FOTOGRAFIA N° 9

Carretera Panamericana: Caracas-Los
Teques.

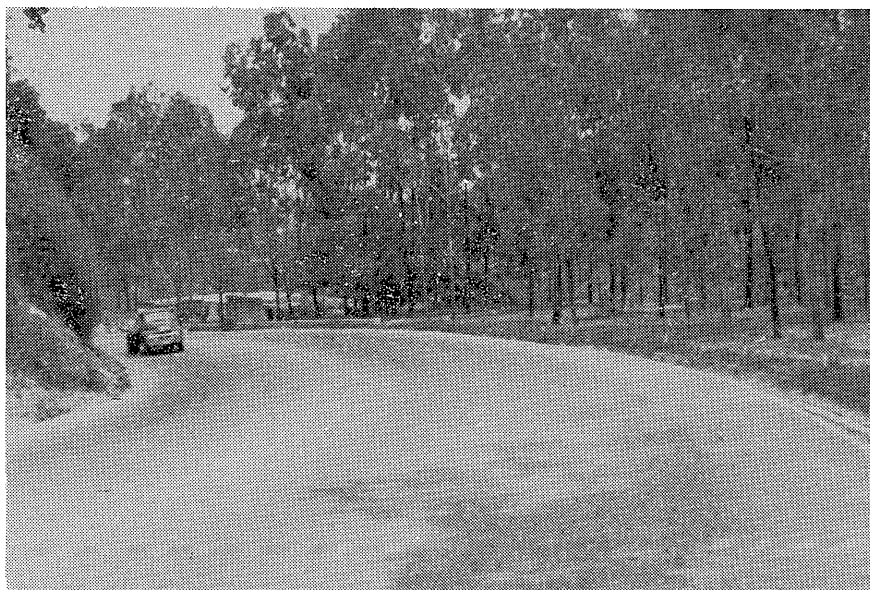
FOTOGRAFIA N° 10

13 kilómetros de Tejerías. Tramo con
pasto a ambos lados de la vía.



FOTOGRAFIA N° 11

17 kilómetros de Tejerías. Tramo sin ár-
boles. Pavimento en malas condiciones.

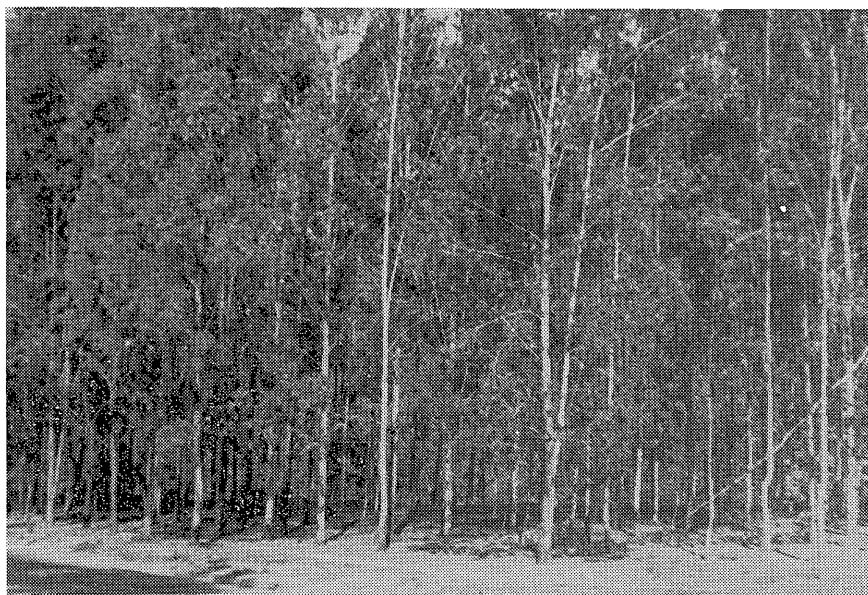


FOTOGRAFIA N° 12

Carretera Panamericana Caracas-Los Teques, Km. 12. Eucaliptos al lado de la vía. Pavimento en buenas condiciones.

FOTOGRAFIA N° 13

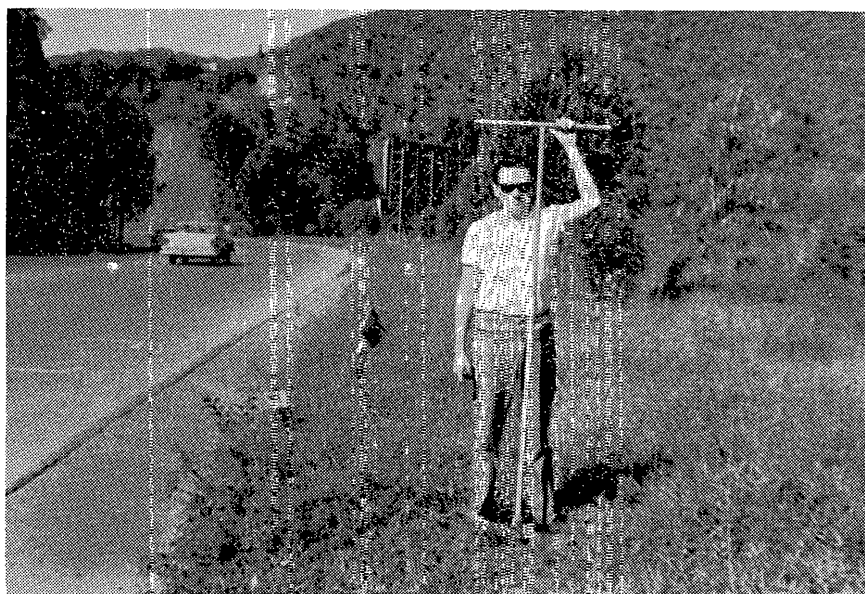
Carretera Panamericana. Caracas-Los Teques. Bosque de eucaliptos.



FOTOGRAFIA N° 14

Bosque de eucaliptos.





FOTOGRAFIA N° 15

Borrena utilizada. Longitud: 2.00 mts.



FOTOGRAFIA N° 16

B I B L I O G R A F I A

- 1) "Arboles Forestales", Juan A. Carnevale, Librería La Facultad, Buenos Aires, 1931.
- 2) "Fisiología Vegetal", N. Maximov, Acme Agency Soc. Rpble. Ltda., Buenos Aires, 1948.
- 3) "La Planta en relación con el Agua", N. Maximov, George Allen & Unwin Ltd., London, 1935.
- 4) "Desing of Drainage Facilities", S.A. Hataway, Transaction ASCE Vol. 110, 1945.
- 5) "La Vegetación a los lados de las Vías Públicas", Manuel A. González Valle, M.A.C. Serie Forestal 15, Maracaibo, 1945.
- 6) "Eucalyptus y Eucaliptoteencia", Domingo Cozzo, Librería "El Ateneo", Editorial, Buenos Aires.
- 7) "Arboles para Caminos", Joaquín Ximenes de Embum, Gráficos Uguina, Madrid, 1951.
- 8) "Naturaleza y Propiedades del Suelo, Edafología", Lyon y Buchman, Soc. Rpble. Ltda., Buenos Aires, 1952.
- 9) "Botánica Agrícola", A. Nelson, Salvat Editores S.A., Barcelona, 1952.
- 10) "El Género Eucalytus en Australia", Ricardo Goudelles Amengual, M.A.C., 1951.

B I B L I O G R A F I A

- 1) "Arboles Forestales", Juan A. Carnevale, Librería La Facultad, Buenos Aires, 1931.
- 2) "Fisiología Vegetal", N. Maximov, Acme Agency Soc. Rpble. Ltda., Buenos Aires, 1948.
- 3) "La Planta en relación con el Agua", N. Maximov, George Allen & Unwin Ltd., London, 1935.
- 4) "Desing of Drainage Facilities", S.A. Hataway, Transaction ASCE Vol. 110, 1945.
- 5) "La Vegetación a los lados de las Vías Públicas", Manuel A. González Valle, M.A.C. Serie Forestal 15, Maracaibo, 1945.
- 6) "Eucalyptus y Eucaliptoteencia", Domingo Cozzo, Librería "El Ateneo", Editorial, Buenos Aires.
- 7) "Arboles para Caminos", Joaquín Ximenes de Embum, Gráficos Uguina, Madrid, 1951.
- 8) "Naturaleza y Propiedades del Suelo, Edafología", Lyon y Buchman, Soc. Rpble. Ltda., Buenos Aires, 1952.
- 9) "Botánica Agrícola", A. Nelson, Salvat Editores S.A., Barcelona, 1952.
- 10) "El Género Eucalytus en Australia", Ricardo Goudelles Amengual, M.A.C., 1951.

- 11) "El Eucalipto", Tomo 1, Javier Pulgar Vidal, Ministerio de Agricultura, Bogotá, Colombia, 1955.
- 12) "Fisiología Vegetal", J. Bonner R., A.W. Galston, Aguilar, Madrid, 1955.
- 13) "El Eucalypto en la Repoblación Forestal", F.A.O. (Mayo 1956), Conferencia Mundial del Eucalipto, Roma, 1956.
- 14) "Hidrología para Ingenieros", Ray K. Linsley, Mc. Graw Hill Book Company, Inc., New York, 1958.
- 15) "Manual de Drenaje", The Armco International Corporation, R.R. Donnelly & Sons. Comp., Chicago - Illinois - U. S. A., 1958.
- 16) "Botánica General", Richar Holman, Unión Tipográfica Editorial Hispanoamericana, México, 1961.
- 17) "Principios y Aplicaciones del Riego", Israelse Hansen, Editorial Reverte, S.A., 1965.
- 18) "Arboles moderables en Fajas o Lineas", "Ornamental", Política relativa a los Arboles a lo largo de las Carreteras", Sistema Oxford de Clasificación Decimal.