

TA424
P38

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES / FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

CENTRO DE ESTUDIOS FORESTALES DE POSTGRADO

PERMEABILIDAD LONGITUDINAL AL AIRE Y SU RELACION CON

LA TRATABILIDAD DE DOS ESPECIES LATIFOLIADAS

VENEZOLANAS

Por

CESAR ALEX PUENTE VELLACHICH

Profesor Guía: Dr. JORGE A. DURAN P., Ph.D.

SERBIULA
Tulio Febres Cordero

Tesis presentada como requisito parcial para
optar al Grado de Magister Scientiae (M.Sc.).

SERBIULA - TULIO FEBRES CORDERO



TA424 P38

DONACION

MERIDA, ABRIL DE 1981

Adquirido por Donación
Fecha: 08 DIC. 1981

BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

Licencia Creative Commons

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

RESUMEN

Se determinó la permeabilidad longitudinal al aire en muestras de 50 cm de longitud y 5 cm de diámetro pertenecientes a las especies Brosimum sp y Mouriri barinensis. Se establecieron cinco grupos de permeabilidad, los cuales fueron tratados con un preservante hidrosoluble tipo CCA, mediante el proceso a célula llena.

La permeabilidad longitudinal al aire es el factor más influyente sobre la retención, seguido de la presión y del tiempo de tratamiento. Se estableció una relación lineal altamente significativa entre la retención volumétrica fraccional y el logaritmo de la [permeabilidad (Presión^{1,73} tiempo^{1,05})] dentro de los límites experimentales de las variables. La penetración del preservante es explicada significativamente solo por la permeabilidad longitudinal al aire.

SUMMARY

Five groups of wood samples of Brosimum sp and Mouriri barinensis , 50 cm long and 5 cm in diameter were tested for the long permeability to air flow . The sample were treated with a waterborne preservative of the CCA type by the full cell process.

The most important factor affecting retention of the trating substance , was the longitudinal permeability to air, followed by the pressure applied , and finally, the time of treatment . A highly - significant linear relation was found between the fractional volumetric retention and the logarithm of $\left[\text{Permeability (Pressure}^{1.73} \text{Time}^{1.05}) \right]$ within the experimental limits of the variables. - The penetration of the preservative is explained,only on the basis of the longitudinal permeability to air.

DEDICATORIA

A mis padres forjadores de mi formación académica.

A mi esposa por su cariño, dedicación y apoyo moral.

A mis suegros por su apoyo y estímulo.

AGRADECIMIENTO

El autor expresa su agradecimiento a la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (CIDA) por el financiamiento de sus estudios de Postgrado.

Al profesor Jorge A. Durán, por sus consejos y orientación durante la realización de esta investigación.

Al Laboratorio Nacional de Productos Forestales por la valiosa colaboración de su infraestructura instalada.

Al profesor José R. Rodríguez S. por su asesoramiento en el análisis estadístico y computación de los datos.

Al profesor Adolfo Rivera por su valiosa colaboración en la redacción del trabajo.

Al personal de la sección de Anatomía de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales, por su valiosa colaboración en la identificación microscópica de las especies estudiadas.

Al consejo de Postgrado de la Universidad de los Andes por el aporte económico para la publicación del trabajo.

A todas aquellas personas que contribuyeron en una u otra forma a la feliz culminación de este estudio.

0

3.4.3.2- Determinación del cromo	26
3.4.3.3- Determinación del arsénico	26

INDICE DE CUADROS

<u>Nº</u>	<u>Página</u>
1. Clases de permeabilidad	19
2. Variables en el tratamiento	20
3. Densidad, peso específico, porosidad y retención líquida promedio	34
4. Resumen del análisis de varianza de la permeabilidad, la presión y el tiempo de tratamiento, y de sus interacciones sobre la retención	36
5. Ecuaciones de regresión para retención volumétrica fraccional (Fv1) en función del logaritmo de la permeabilidad (K) para las diferentes combinaciones de presión y tiempo de tratamiento	37
6. Resumen del análisis de regresión de la retención volumétrica fraccional (Fv1) como función del logaritmo de la permeabilidad para cada especie	47
7. Resumen del análisis de regresión entre la retención volumétrica fraccional como función del logaritmo de la permeabilidad y retención volumétrica fraccional como función del logaritmo de permeabilidad($P^{1,73}t^{1,05}$) para todas las muestras	54
8. Ecuaciones de regresión entre la penetración y el logaritmo de la permeabilidad para cada especie y el total de ellas	59
9. Ecuaciones de regresión para la penetración en función del logaritmo de la permeabilidad para las diferentes combinaciones de presión y tiempo de tratamiento	63

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Cuadro

Página

10. Resumen del análisis de la varianza de la permeabilidad, la presión y el tiempo de tratamiento, y de sus interacciones sobre la penetración	65
11. Retención líquida y permeabilidad promedio para cada combinación de tratamiento por especie	69
12. Resumen de la retención líquida promedio obtenido por otros autores en charo amarillo y perhuétamo	71

ANEXO

1. Datos generales de las muestras	85
------------------------------------	----

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

INDICE DE FIGURAS

<u>Nº</u>		<u>Página</u>
1.	Preparación de las muestras y su codificación	13
2.	Muestras para los ensayos de permeabilidad, <u>con</u> tenido de humedad y peso específico	16
3.	Equipo de permeabilidad	16
4.	Muestras para ilustración del significado de los términos en la ley de Darcy	17
5.	Tanque de tratamiento con bombona de vacío y de presión (nitrógeno) con sus manómetros	22
6.	Determinación de la penetración	25
7.	Vista de corte transversal del perhuétamo	29
8.	Vista de corte tangencial del perhuétamo	29
9.	Vista de corte longitudinal de un vaso con sus punteaduras del perhuétamo	29
10.	Vista de corte transversal del charo amari- llo	32
11.	Vista de corte tangencial del charo amari - llo	32
12.	Vista de corte longitudinal de un vaso con sus punteaduras del charo amarillo	32
13.	Penetración en las muestras del grupo de per <u>me</u> abilidad 1	56
14.	Penetración en las muestras del grupo de per <u>me</u> abilidad 2	56
15.	Penetración en las muestras del grupo de per <u>me</u> abilidad 3	57
16.	Penetración en las muestras del grupo de per <u>me</u> abilidad 4	57
17.	Penetración en las muestras del grupo de per <u>me</u> abilidad 5	58

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

INDICE DE GRAFICOS

<u>Nº</u>	<u>Página</u>
1. Retención volumétrica fraccional (Fv1) como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para un tiempo de 3600 seg y presiones de 5,66; 10,50 y 15,34 atm	39
2. Retención volumétrica fraccional (Fv1) como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para un tiempo de 5400 seg y presiones de 5,66; 10,50 y 15,34 atm	40
3. Retención volumétrica fraccional (Fv1) como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para un tiempo de 7200 seg y presiones de 5,66; 10,50 y 15,34 atm	41
4. Retención volumétrica fraccional (Fv1) como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para una presión de 5,66 atm y tiempos de 3600, 5400 y 7200 seg	42
5. Retención volumétrica fraccional (Fv1) como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para una presión de 10,50 atm y tiempos de 3600, 5400 y 7200 seg	43
6. Retención volumétrica fraccional (Fv1) como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para una presión de 15,34 atm y tiempos de 3600, 5400 y 7200 seg	44
7. Líneas de regresión de la retención volumétrica fraccional (Fv1) como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para las diferentes combinaciones de presión y tiempo de tratamiento	45

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Gráfico

Página

8. Retención volumétrica fraccional (Fv1) como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para las muestras de charo amarillo 48
9. Retención volumétrica fraccional (Fv1) como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para las muestras de perhuétamo 49
10. Retención volumétrica fraccional (Fv1) como función del logaritmo de $\left[\text{permeabilidad}(\text{Presión}^{1,73} \text{ tiempo}^{1,05}) \right]$ para todas las muestras 51
11. Retención volumétrica fraccional (Fv1) como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para todas las muestras 53
12. Penetración como función del logaritmo de la permeabilidad para las muestras del charo amarillo y del perhuétamo 60
13. Penetración como función del logaritmo de la permeabilidad(K) para todas las muestras 61
14. Líneas de regresión de la penetración como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para las diferentes combinaciones de presión y tiempo de tratamiento 64

1.-INTRODUCCION

Los bosques tropicales están compuestos de gran variedad de especies, de las cuales un alto porcentaje es susceptible al deterioro por agentes patógenos. Por tal motivo para que su utilización resulte económica, se hace necesario tratar la madera adecuadamente de forma que permita aumentar su vida útil en servicio y de esta manera eliminar las limitaciones en el uso de muchas de ellas, factor muy importante para el aprovechamiento integral del bosque tropical.

Los tratamientos deben hacerse teniendo en cuenta las retenciones de preservante de acuerdo al tipo y condiciones de uso de la madera. Las investigaciones deben realizarse en una forma que permita controlar la cantidad de líquido retenido según las características de las especies. En este sentido es muy impor tante determinar la respectiva permeabilidad longitudinal al aire, pues ésta es un factor determinante en la retención de preservativos, según lo manifiestan algunos investigadores (Tesoro et al 1966, Siau 1970-72, Siau y Shaw 1971).

La medición de la proporción del flujo, cuando el flujo de aire a través de la madera es estable es un método sencillo y eficiente para la determinación de la permeabilidad y ha sido utilizado con mayor frecuencia en trabajos anteriores.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

El proceso de preservación a presión por el método a célula llena brinda buenas posibilidades de retención y penetración del preservante en la madera. Este método es considerado como el de mayor eficiencia para especies tropicales y además permite controlar las condiciones de tratamiento.

Conociendo las ventajas de la medición de la permeabilidad al aire por el método cuando el flujo se hace estable, de la preservación a célula llena y contando con la infraestructura necesaria, instalada en el laboratorio de investigación de las propiedades Físicas de la Madera del Laboratorio Nacional de Productos Forestales, se realizó un trabajo de investigación con dos especies latifoliadas venezolanas para estudiar el efecto que tiene la permeabilidad longitudinal al aire, la presión de impregnación y el tiempo de tratamiento sobre la retención y la penetración. Los objetivos principales que se persiguen en este trabajo son los siguientes:

- Determinar la permeabilidad longitudinal al aire de dos especies latifoliadas venezolanas.
- Estudiar la influencia de la permeabilidad longitudinal al aire, la presión de impregnación y el tiempo de tratamiento sobre la retención y la penetración.
- Establecer una relación empírica que permita predecir la retención de preservante en función de la permeabilidad

longitudinal al aire, presión de impregnación y tiempo de tratamiento.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

2.-REVISION DE LITERATURA

El tratamiento de la madera depende de su permeabilidad , la cual es importante para determinar la retención del líquido preservante (Siau 1970, Erickson 1970, Siau y Shaw 1971, Choong y Fogg 1972). El flujo de líquidos en la madera depende también de otras variables como la viscosidad del fluido, fuerzas capilares, polaridad del líquido, presión de regreso debido a la compresión del aire en la madera, tiempo de tratamiento, longitud de la muestra, dirección del flujo y estructura anatómica (Siau 1970, Nicholas 1973).

Erickson (1970), en resumen de trabajos publicados sobre permeabilidad de "southern pine" y otros pinos, indica que estos estudios son básicos para el mejoramiento de las técnicas de preservación.

La permeabilidad longitudinal por debajo del punto de saturación de las fibras es variable para diferentes especies y aún dentro de la misma especie. Esto fué determinado por Isaac et al (1971), Banks (1972), Choong et al (1974) y Cooper y Ross (1977). Por este motivo, algunos autores han optado por establecer intervalos de permeabilidad dentro de una misma especie y entre especies diferentes a fin de establecer grupos de clasificación (Comstock 1967, Siau 1970-72, Siau y Shaw 1971,

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Choong y Fogg 1972).

Comstock (1967) indica que la permeabilidad longitudinal de las maderas latifoliadas está en función del tamaño de los poros, ya que el flujo de líquidos o gases se realiza primero a través de los vasos y si estos están obstruidos por tilosis, este flujo ocurre a través de las punteaduras. Es decir que el flujo depende de la estructura anatómica y la presencia o no de extractivos (Nicholas 1973). De esta manera se considera que para cada especie pueden existir varias zonas de permeabilidad (Shaw 1970, Prak 1970, Siau 1970-72).

Wiley y Choong (1974) encontraron que el efecto de la presión diferencial en la determinación de la permeabilidad en maderas es más pronunciado en intervalos de alta permeabilidad. Para maderas con permeabilidades menores a $11,06 \text{ cm}^3(\text{fluido})/\text{cm} \cdot \text{atm seg.}$ el efecto de la presión diferencial fué despreciable.

Wiley y Choong (1975) observaron desviación de la ecuación de Darcy especialmente en muestras de alta permeabilidad. Es decir que la permeabilidad de la madera a un fluido gaseoso es afectada por la presión diferencial a altas presiones y a altos intervalos de permeabilidad.

Nicholas (1973) establece que la determinación de la permeabilidad basado en la ley de Darcy es usualmente bajo condición

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

estable. El flujo inestable es usado en la impregnación de la madera durante el proceso de tratamiento. La medición de permeabilidad por el método no estable puede diferir significativamente de los valores obtenidos bajo condiciones estables.

Siau (1971) indica que las soluciones preservantes del tipo hidrosoluble tienen reacciones químicas con los componentes de la pared celular durante el tratamiento y además poseen partículas suspendidas y aire disuelto en cantidades considerables, por lo cual es necesario vencer las fuerzas capilares para sobreponerse a la interfase gas-líquido y mantener así la proporción de flujo.

La preservación de la madera por el método de presión a célula llena brinda buenas posibilidades de retención de líquidos (Ni cholas 1973), y además permite hacer variaciones en el horario de tratamiento al combinar las presiones y los tiempos de proceso. Utilizando este método con muestras de Douglas fir, Hunt (1962) indica que la retención de cloruro de zinc fué mayor a mayores tiempos de tratamiento y que un aumento de dos horas en esta variable produjo mayor penetración y absorción que un incremento de presión de 3 a 5 Kg/cm². Siau (1970), Shaw(1970); Siau y Shaw (1971) combinaron presiones y viscosidades en el tratamiento y determinaron que la retención del preservante aumenta a medida que se aumenta la presión. Estos dos últimos au

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

tores agrupan a las especies por su permeabilidad y establecen que la influencia de la presión de impregnación es diferente para los grupos de maderas estudiadas, donde los valores encontrados son menos significativos que los obtenidos por Siau (1970) y esto es atribuido a que en la madera existen zonas de permeabilidad diferentes. En trabajos posteriores, Siau (1972) y Galvao et al (1974) relacionan longitud de las muestras con el tiempo de tratamiento y obtienen también un aumento en la retención a medida que se incrementa el tiempo de tratamiento. Esto nos indica que si se aumenta la presión y el tiempo de tratamiento en forma simultánea se pueden obtener retenciones favorables.

La absorción de agua por la madera, cuando es tratada mediante el proceso a célula llena decrece exponencialmente con el tiempo. La absorción durante el estado inicial es abundante, saturando las superficies externas (Nicholas 1973).

El mismo autor indica que las propiedades del líquido preservante producen una influencia significativa sobre retención y penetración. Estas propiedades incluyen viscosidad, la presencia de gases disueltos que pueden escaparse y formar burbujas durante el flujo, y partículas suspendidas como resultado de la reacción del preservante o por la remoción de extractivos de la madera.

La localización de los elementos constituyentes de los preservativos hidrosolubles en la pared celular ha sido objeto de varias investigaciones. El uso del microscopio electrónico para estudiar las sales preservantes en la pared celular se viene realizando desde 1956. D'ans y Schulze (1956) y Burmester (1970) utilizaron igual metodología para mostrar la distribución de la sal dentro de la pared celular. Rudman (1965) y Dickinson (1974) determinaron la localización de depósitos de sales de cobre, cromo y arsénico en la pared celular de dos especies de eucaliptos (Tomado de Peters 1980).

Belford et al (1958) y Belford y Preston (1960) señalan que cuando la madera es tratada con preservante a base de cobre, se forma un complejo cobre-celulosa por medio del cual la parte a morfa de la celulosa adsorbe la mayor parte del cobre. Michie (1960) insinuó una posible adsorción de cobre por grupos ácidos de la celulosa (Tomado de Peters 1980).

Nicholson y Levi (1971) y Nicholas (1973) determinaron que la fijación de cromo es ligeramente superior a la de arsénico o cobre respectivamente.

En general, la tratabilidad se puede basar en grupos de permeabilidad (Nicholas 1973). Siau (1970) concuerda con Tesoro, Chong y Skaar (1966) en establecer una relación altamente significativa.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

tiva entre la retención del aceite y el logaritmo de la permeabilidad del aire para algunas coníferas y latifoliadas. En el mismo trabajo encontró que la permeabilidad fué el factor más significativo para determinar la retención; mucho más que el incremento de presión o la disminución de la viscosidad. El efecto de estos últimos factores fué aproximadamente igual, pudiendo establecer una relación empírica entre la retención y el logaritmo de la $\left[\text{permeabilidad (presión/viscosidad)}^{0,42} \right]$. Relación similar fué obtenida por Siau y Shaw (1971) pero con el exponente más bajo y diferente para cada grupo de especie estudiada. Siau (1972) examinó el efecto del tiempo de tratamiento y de la longitud de las muestras, determinando una relación empírica entre la retención y el logaritmo de la $\left[\text{permeabilidad (tiempo}^{1,3} / \text{longitud}^{2,1} \right)]$ la cual combinada con la relación anterior se expresa de la forma siguiente:

$$Fv1 = 0,27 \left[\log \frac{K_g t^{1,3} P^{0,42}}{L^{2,1} \eta^{0,42}} \right] - 0,30$$

Esta relación empírica es válida dentro del rango limitado por las variables investigadas y cuando la retención no esté cerca a la saturación o cerca de cero.

Fv1= Retención volumétrica fraccional del aceite.

K_g = Permeabilidad superficial al gas, $\text{cm}^3(\text{aire})/\text{cm atm seg.}$

t = Tiempo de tratamiento, seg.

P = Presión absoluta de impregnación, atm.

L = Longitud de la muestra en la dirección del flujo, cm.

η = Viscosidad del aceite, poise o dina seg/cm².

Stamm (1971), indica que en trabajos anteriores no se tomó en cuenta el vacío que existe en la pared celular. El volumen máximo del vacío puede ser 4,6% del volumen de la pared celular.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

3.-MATERIALES Y METODOS

3.1- Materiales.

El estudio se basó sobre dos especies latifoliadas, provenientes de los diferentes compartimientos de la Unidad II de la Reserva Forestal de Ticoporo en el Estado Barinas (Venezuela), zona de explotación de la empresa Contraen - chapados Táchira (CONTACA).

Las especies seleccionadas fueron:

<u>Nombre Científico</u>	<u>Nombre Vernáculo</u>	<u>Familia</u>
Brosimum sp.	Charo amarillo	Moraceae
Mouriri barinensis	Perhuétamo	Melastomataceae

Los árboles, 5 de cada especie, con diámetro mayor de 30cm a la altura de pecho, elegidos en forma sistemática, fueron cortados y roleados al pié del tocón, en dimensiones de 2,5 m de longitud a partir del corte de tumba, codificados de acuerdo a la especie y árbol. Los extremos de las rolas fueron sellados con pintura de aluminio para evitar las grietas por rápida pérdida de humedad.

Las rolas de 2,5 m de largo, traídas y almacenadas en el aserradero del Laboratorio Nacional de Productos Forestales, se cortaron en planchones de 6,5 cm de espesor y en forma simultánea en cuartones de 6,5 x 6,5 cm, como se i-

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

lustra en la Figura N° 1.

Los cuartones seleccionados fueron introducidos en la estufa y secados mediante un programa de secado moderado por espacio de 18 días hasta obtener un contenido de humedad promedio del 12%, y se apilaron bajo techo. Luego se procedió a cortar una muestra de 60 cm de longitud de cada cuartón, teniendo en cuenta que fueran siempre de la parte superior de la rola. Después de esto se tornearon, para luego eliminar parte de los extremos y obtener muestras de 5 cm de diámetro por 56 de longitud.

Las muestras torneadas y enumeradas se almacenaron en un cuarto climático a condiciones de 23°C y 65% de humedad relativa durante un período de tres meses. Al tener peso constante se cortaron rodajas de 2,5 cm cada una, en ambos extremos, para obtener la muestra final de 5 cm de diámetro y 50 cm en el sentido longitudinal, utilizadas en el ensayo de permeabilidad longitudinal al aire y tratamiento a presión. Las rodajas de 2,5 cm de espesor sirvieron para determinar el contenido de humedad y el peso específico. El esquema utilizado para la obtención de las muestras para los diferentes ensayos se muestra en la Figura N° 2.

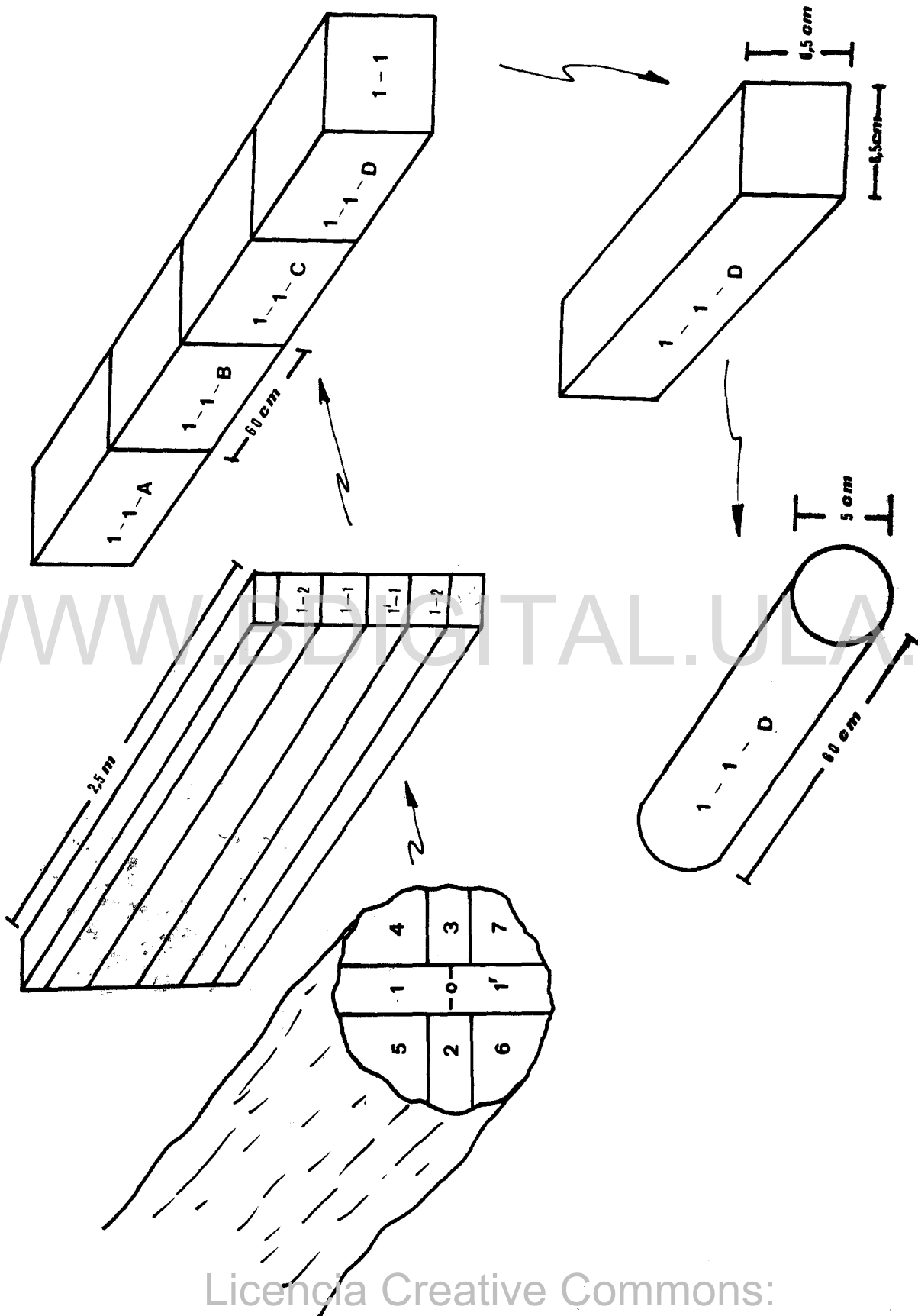


Figura N° 1. Preparación de las muestras y su modificación

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

3.2- Equipo.

Para la elaboración del presente estudio se emplearon los equipos con que dispone el laboratorio de investigación de las Propiedades Físicas de la Madera del Laboratorio Nacional de Productos Forestales, equipo de la sección de Anatomía de Maderas de la Facultad de Ciencias Forestales y para el procesamiento de datos el equipo del Centro de Computación de la Universidad de los Andes.

3.3- Productos Químicos Utilizados.

Sal a base de cromo, cobre y arsénico (CCA), difenilcarb~~z~~ida, ácido clorhídrico, amoníaco, alcohol isopropílico , alcohol etílico, nitrato de plata, peróxido de sodio y benzidina.

3.4- Métodos.

3.4.1- Permeabilidad.

Las muestras previamente acondicionadas, pesadas y medidas fueron impermeabilizadas por la superficie cilíndrica con tres capas de cola blanca de acetato de polivinilo para evitar el flujo de aire transversal durante el ensayo de permeabilidad.

La medición de permeabilidad al aire se realizó mediante el método de flujo estable.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Los medidores de flujo fueron de tubo de vidrio de $1/16$ y $1/8$ de pulgada de diámetro, con bolita de acero cali
brada para cada uno.

Para realizar el ensayo, las muestras fueron fijadas por sus extremos con dos mangueras de presión, asegura
das por abrazaderas que se ajustan por medio de un tor
nillo. Colocada la muestra se procedió a realizar el vacío en uno de sus extremos, con lo cuál se creó una gradiente de presión que es graduable mediante una vál
vula de precisión en la tubería de vacío. Manteniendo la gradiente deseada y cuando el flujo se hace constan
te se realiza la lectura en el Rotámetro (Figs. N° 3 y 4).

A cada muestra se le hicieron tres lecturas de proporción de flujo a gradientes de presión de 50, 40 y 30 cm
Hg. En estos ensayos no se determinó la presencia o au
sencia del flujo de deslizamiento molecular, por la cual, se promedió la proporción de flujo obtenido, a los gradientes de presión mencionados, para determinar la permeabilidad longitudinal aparente al aire.

Para las muestras de baja permeabilidad se utilizó el medidor de flujo de $1/16$ de pulgada de diámetro y para las de altas permeabilidades el medidor de flujo de $1/8$ de pulgada de diámetro. Ambas con bolitas de acero.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

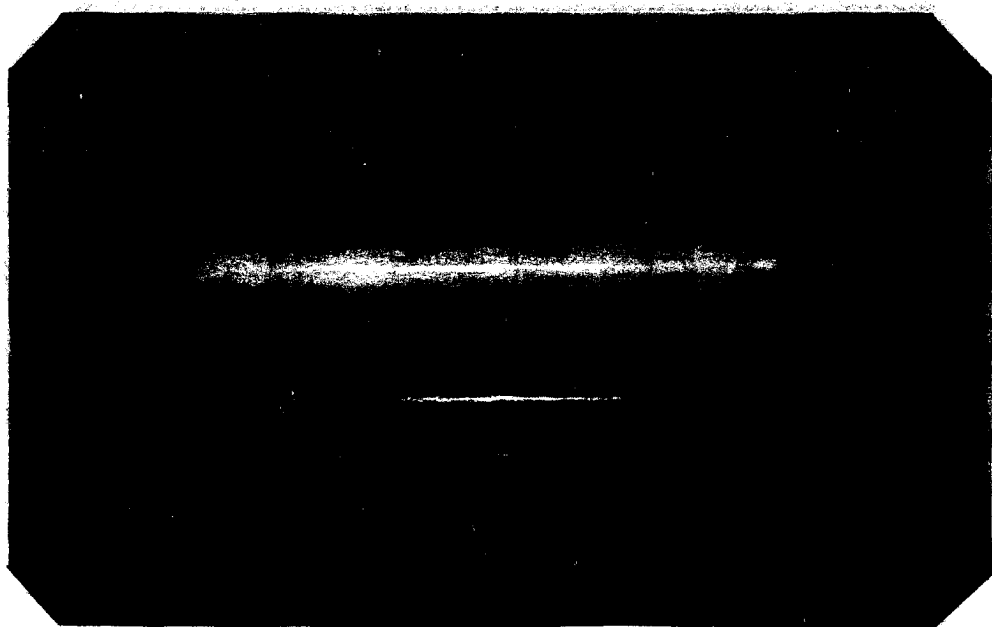


Figura N° 2. Muestras para los ensayos de permeabilidad, contenido de humedad y peso específico.

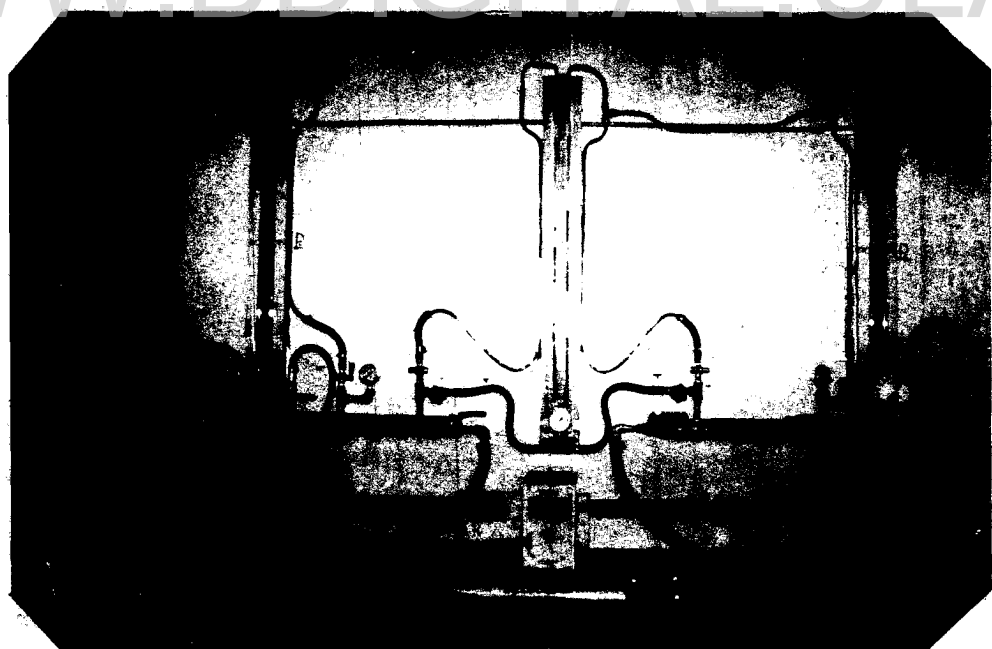


Figura N° 3. Equipo de permeabilidad.

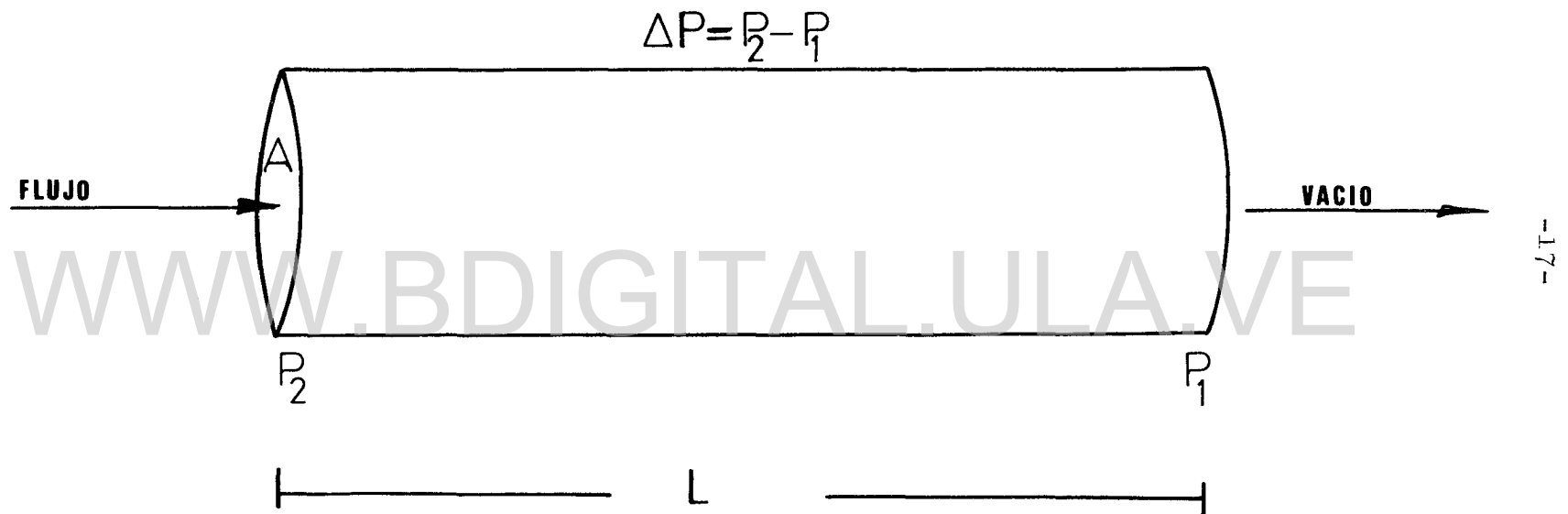


Figura N° 4. Muestra para la ilustración del significado de los términos en la ley de Darcy

Licencia Creative Commons:
 Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
 (CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Realizado el ensayo, se procedió a efectuar los cálculos de permeabilidad basados en la ley de Darcy para gases, la cuál es expresada por la siguiente ecuación (Siau 1971):

$$K = \frac{(Q L P_2) 76}{A AP \bar{P}} \quad (1)$$

donde:

K = Permeabilidad longitudinal al aire, $\text{cm}^3(\text{aire})/\text{cm atm seg.}$

Q = Proporción de flujo de aire, $\text{cm}^3/\text{seg.}$

AP= Gradiente de presión cuando el flujo es estable, cm Hg.

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

P_1 = Presión de flujo en vacío, cm Hg.

P_2 = Presión a la cual se determinó Q, cm Hg.

A = Area transversal de la muestra perpendicular a la dirección del flujo, cm^2 .

L = Longitud de la muestra, cm.

Obteniendo el cálculo de la permeabilidad aparente para cada una de las muestras, estas fueron ordenadas en cinco grupos de permeabilidad indicados en el Cuadro

Nº 1. Los grupos 4 y 5, de mayor permeabilidad, son exclusivamente de la especie perhuétamo.

CUADRO Nº 1

Clases de permeabilidad.

Grupos de permeabilidad	Intervalos en $\text{cm}^3 \text{aire} / \text{cm}^2 \text{atm seg}$
1	0,00 - 2,21
2	2,21 - 8,29
3	8,29 - 82,95
4	82,95 - 276,50
5	276,50 - 663,60

3.4.2- Tratamiento.

Las variables consideradas en el tratamiento fueron:

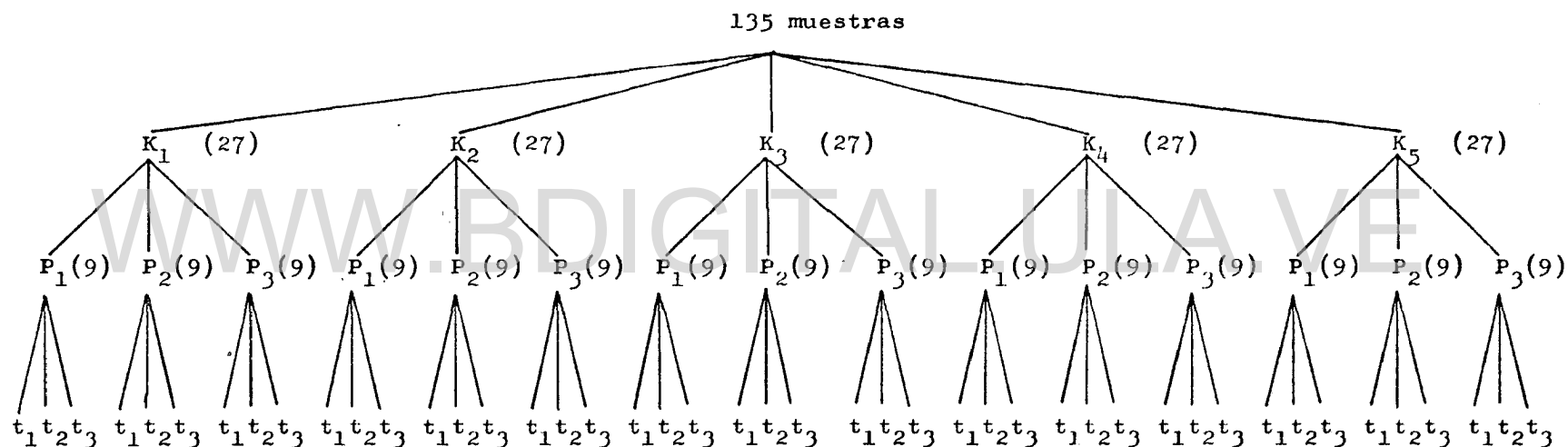
- Grupos de permeabilidad (5); indicados en el Cuadro Nº 1.
- Presión de impregnación (3): 5,66; 10,50 y 15,34 ~~atms~~
- Tiempo de tratamiento (3): 3600, 5400 y 7200 ~~seg.~~

Los detalles correspondientes se presentan en el Cua - dro Nº 2.

Las condiciones fijas fueron: densidad del líquido (~~104~~ gr/cm^3) y longitud de la muestra (50 cm).

CUADRO N° 2

Variables en el tratamiento.



K = Grupo de permeabilidad.

t = Tiempo de tratamiento.

P = Presión de impregnación.

La solución de tratamiento a base de cromo, cobre y arsénico (CCA tipo C) fué diluído en agua destilada a una concentración del 4% (peso del soluto)/ peso de la solución. Se le determinó una densidad de 1,04 gr/cm³ y un pH de 2,1. Datos que están dentro del rango indicado en la literatura (Nicholas 1973).

El tratamiento se realizó mediante el proceso a pre - sión, método a célula llena sin vacío final, utilizando el equipo de tratamiento que se muestra en la Figura N° 5.

Especificaciones del tratamiento

- 1- Después de pesadas, las muestras fueron colocadas en el cilindro de tratamiento y éste fué cerrado herméticamente.
- 2- Vacío inicial de 30 minutos. A una presión absoluta de 13 mm Hg.
- 3- Período de presión de 5,66; 10,50; 15,34 atm y tiempos de tratamiento para cada uno de 3600, 5400 y 7200 seg con la solución de tratamiento a tempera-tura ambiente. Para la aplicación de la presión se utilizó una bombona de nitrógeno.
- 4- Apertura del cilindro y pesada de las muestras.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

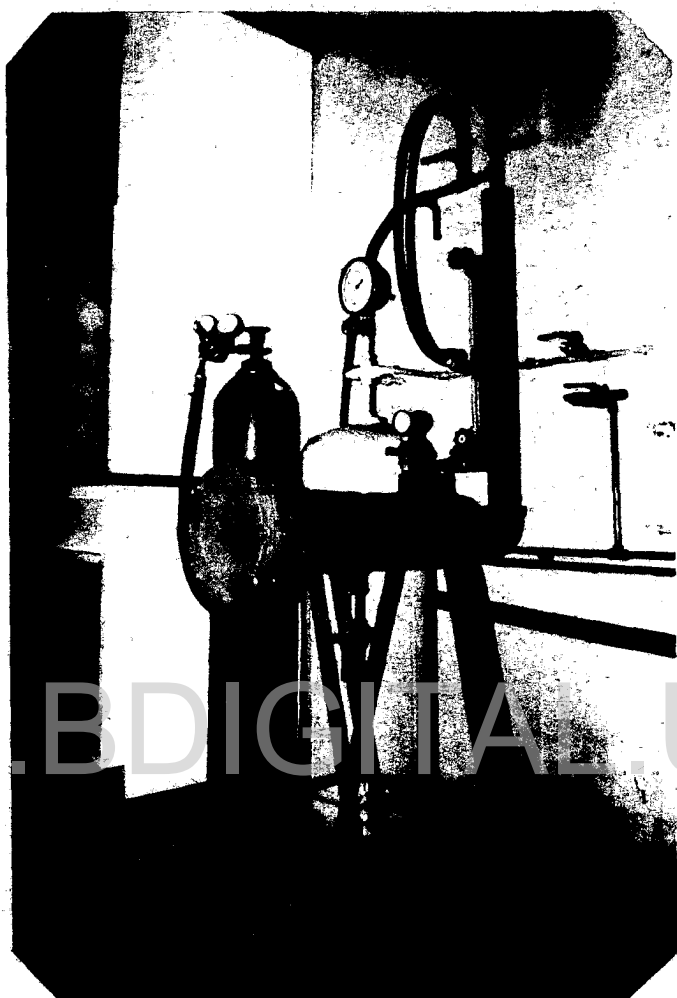


Figura N° 5. Tanque de tratamiento
con bombona de vacío, de presión
(nitrógeno) con sus manómetros.

Finalizado este proceso, por diferencia de peso, **antes** y después del tratamiento, se calculó la **retención** en función del volumen vacío ocupado por el líquido. La retención se determinó en base a la siguiente **fórmula** (Siau 1972):

$$Fv1 = \frac{m1}{\rho_1 V Va} \quad (2)$$

donde:

Fv1= Retención volumétrica fraccional (o sea la fracción del espacio vacío ocupado por el líquido).

m1 = Masa del líquido retenido, gr.

V = Volumen de la muestra, cm³.

Va = Porosidad de la madera.

ρ_1 = Densidad del líquido, gr/cm³.

La retención líquida también puede ser calculada a partir de la siguiente relación:

$$Rl = \frac{m1}{V} = Fv1 \rho_1 Va \quad (3)$$

La porosidad es el volumen fraccional de vacío de la madera, determinado en base al peso específico de la madera y al peso específico del agua de la pared celu-

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

lar a un contenido de humedad M, y al peso específico de la pared celular seca al horno.

Se determina por la siguiente fórmula (Siau 1971):

$$V_a = 1 - G (0,685 + 0,01 M/G_s) \quad (4)$$

donde:

G = Peso específico de la madera al contenido de humedad M.

G_s = Peso específico del agua de la pared celular al contenido de humedad M.

M = Contenido de humedad, %.

0,685 = 1/1,46 (inversa del peso específico de la pared celular seca al horno).

3.4.3- Determinación de la Penetración.

Las muestras después de tratadas se guardaron dentro de bolsas de polietileno, para evitar una rápida pérdida de humedad por los extremos.

Después de unos días de estacionamiento se sortearon 72 muestras de las cuáles 54 corresponden a los tres primeros grupos de permeabilidad y 18 a los dos últimos.

Las muestras fueron seccionadas en el sentido longitudinal para aplicarles, en principio, las soluciones de

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

coloración para cobre y cromo. Observada la penetración obtenida por el cromo, las muestras fueron cepilladas en la parte coloreada para aplicar otra solución de coloración y determinar la penetración de arsénico.

La medición de penetración se realizó de los extremos hacia el centro de cada una de las muestras coloreadas. La penetración está dada por el promedio de la medición y la forma de obtenerlo se ilustra en la Figura N° 6.

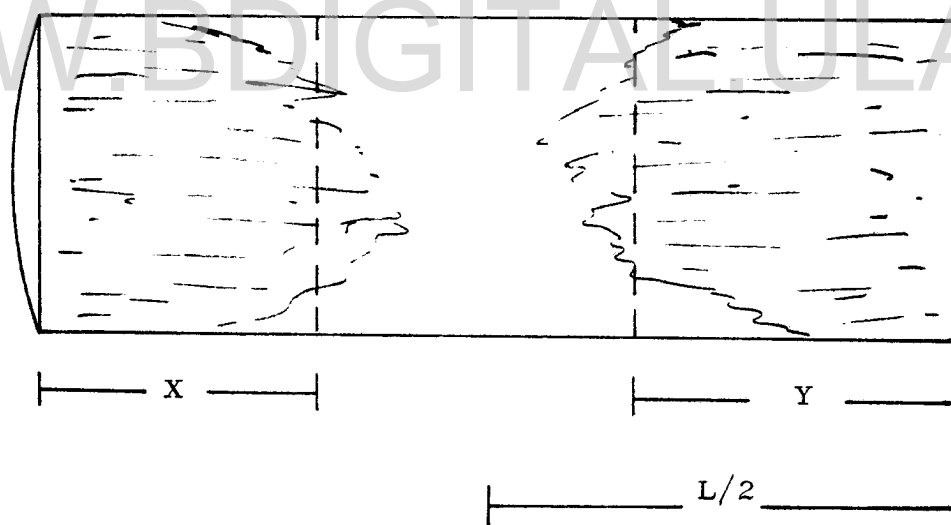


Figura N° 6. Determinación de la penetración.

3.4.3.1- Determinación del cobre.

Se utilizó una solución de difenilcarbazida, un gramo en 50 ml de alcohol isopropílico y 50 ml de agua destilada. Esta solución fué aplicada por aspersión y antes de que se secara completamente se aplicó amoníaco (NH_3) al 25% por aspersión. Rápidamente la madera se tornó de color púrpura en el área de penetración del cobre.

En el charo amarillo no fué necesario aplicar el amoníaco, por que sin el amoníaco el contraste de color es bastante claro.

3.4.3.2- Determinación del cromo.

Se utilizó una solución de difenilcarbazida, un gramo en 50 ml de ácido clorhídrico concentrado (HCl) y se completó con 100 ml de etanol al 50%. Se aplicó por aspersión sobre la madera tratada y conforme se fué secando se tornó de un color naranja en el área de penetración del cromo.

3.4.3.3- Determinación del arsénico.

Se utilizó una solución de nitrato de plata, un gramo en 20 ml de agua destilada. Después de aplicada por aspersión ésta se fué tornando de color gris oscuro en el área de penetración de arsénico.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Para la aspersión de las soluciones de coloración para determinar la penetración de los elementos indicados se utilizó una pistola de aspersión conectada a la manguera de aire comprimido.

3.4.4- Estudio Anatómico.

Para completar el estudio de permeabilidad y preservación, se realizó el estudio anatómico macroscópico y microscópico de las maderas en estudio.

La observación macroscópica se realizó con una lente de 10x y para el estudio microscópico se prepararon láminas microtómicas de 18 μ de espesor, se colorearon y se montaron en láminas portaobjeto. Para la preparación de este material se siguió la metodología utilizada en la sección de Anatomía de la Madera de la Escuela de Ingeniería Forestal.

Para su ilustración se tomaron fotografías de las láminas, unas a 90x y otras a 405x.

3.4.4.1- Descripción anatómica del Mouriri barinensis (Per - huétamo).

Características generales.

Albura de color castaño rosado, transición gradual al duramen de un color ligeramente más intenso; lí-

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

neas vasculares visibles pero no conspicuas, madera medianamente lustrosa, olor y sabor ausentes o no distintivos, dura y pesada, grano récto a entrecruzado produciendo este último zonas altamente lustrosas y opacas en el corte radial, textura mediana.

Descripción anatómica.

Anillos ausentes, porosidad difusa, poros visibles a simple vista, pequeños a medianos ($60-165\mu$) y por promedio moderadamente medianos (120μ), de distribución uniforme, numerosos (entre 10-15 poros por mm^2), predominantemente solitarios y la mayoría abiertos.

Elementos vasculares de cortos a medianos ($0,15-0,5 \text{ mm}$), platinas de perforación horizontales a ligeramente oblicuas, perforaciones simples, punteaduras intervasculares alternas, muy pequeñas (4μ), ornadas.

Parénquima indistinguible a simple vista y bastánte indistintivo aún con la lente de 10x, escasamente paratraqueal, vasicéntrico angosto, aliforme con extensiones finas, apotraqueal difuso y en líneas muy finas e indistintas de parénquima aparentemente terminal con contenido gomoso.



Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela

(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

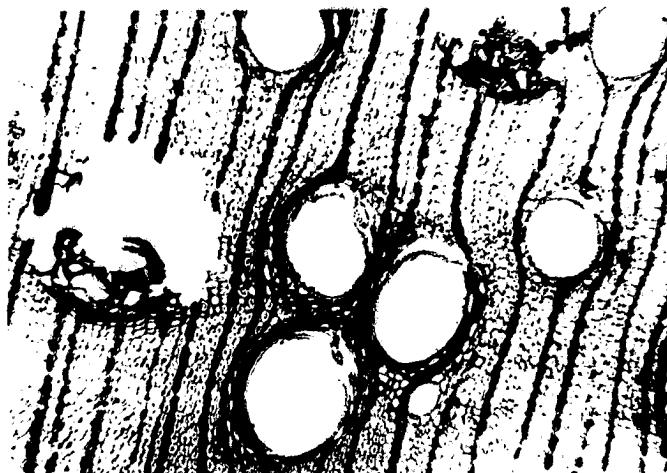


Figura N° 7. Vista de corte transversal del perhuétamo.

Figura N° 8. Vista de corte tangencial del perhuétamo.



Figura N° 9. Vista de corte longitudinal de un vaso con sus pun - teaduras del perhuétamo.

Radios indistinguibles a simple vista en los cortes transversal y tangencial e indistintos en el radial, finos a muy finos ($0,015-0,030\mu$), heterogéneos (generalmente formado por células erectas y/o cuadradas) casi exclusivamente uniseriados con pocos biseriados o solo parcialmente así, muy numerosos y dispuestos compactamente (alrededor de 32 por mm), frecuentemente radios muy bajos a bajos ($0,060-0,15$ mm) y solo ocasionalmente de 0,8 mm, con depósitos gomosos abundantes; punteaduras radiovasculares similares a las intervasculares.

Fibrotraqueidas con punteaduras areoladas pequeñas de paredes gruesas.

Estratificación ausente.

Conductos gomíferos ausentes.

Floema incluso presente en la forma de islas dispersas en el incremento de crecimiento (tipo foraminado) sin ninguna asociación definida con los poros.

3.4.4.2- Descripción anatómica del Brosimum sp (Charo amarillo).

Características generales.

Madera de color amarillo crema, diferencia abrupta entre albura y duramen, líneas vasculares claramen-

te visibles a simple vista, madera lustrosa, olor y sabor ausentes o no distintivos, moderadamente dura y pesada, grano recto o algo irregular, textura mediana a fina.

Descripción anatómica.

Anillos ausentes o pobremente definidos, porosidad difusa, poros visibles a simple vista, pequeños a medianos ($60-120 \mu$), y por promedio (100μ), con cierta disposición ondulada tangencial y numerosos a muy numerosos (más de 10 por mm^2), comúnmente solitarios y en múltiples radiales cortos de 2 o 3 y algunos de 5, tílides presentes.

Elementos vasculares cortos ($0,15-0,23 \text{ mm}$), platinas de perforación horizontales a oblicuas, perforaciones simples, punteaduras intervasculares alternas y pequeñas ($4 \text{ a } 6 \mu$).

Parénquima no visible a simple vista en el corte transversal humedecido; predominantemente confluentes conectando unos cuantos poros y en bandas finas (2-3 células), también aliformes de alas largas (finas a ala fina), radios visibles a simple vista en las tres secciones y evidentes al ser observados con lentes de 10x en los cortes transversal y tan -

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

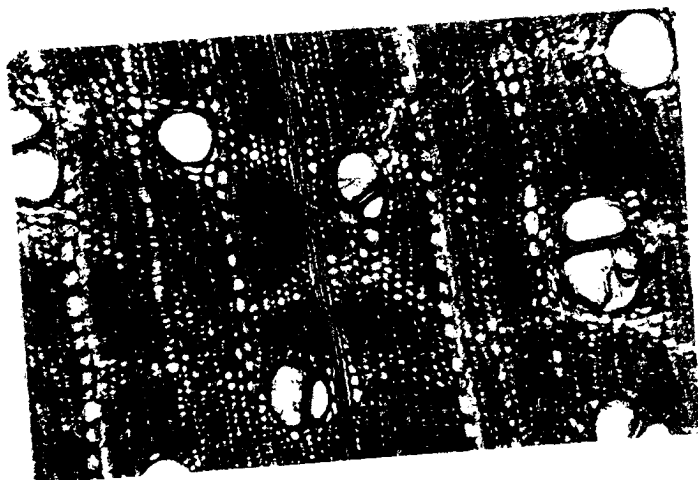


Figura N° 10. Vista de corte transversal del charo amarillo.

Figura N° 11. Vista de corte tangencial del charo amarillo.

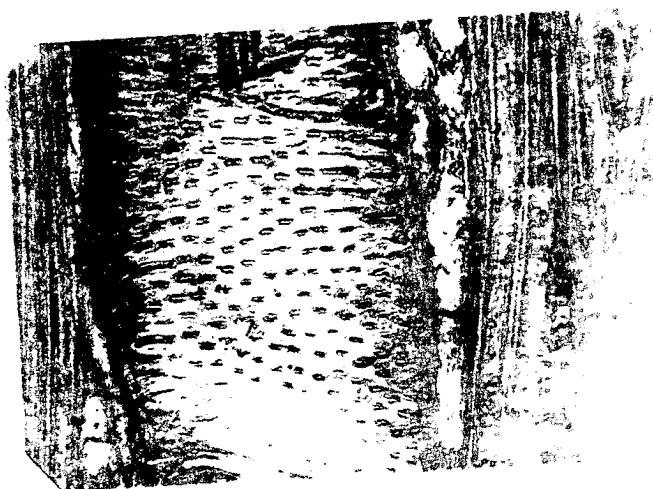


Figura N° 12. Vista de corte longitudinal de un vaso con sus punteaduras del charo amarillo.

gencial humedecidos, finos (50 o menos), de una a cuatro células de ancho pero comunmente tres, muy numerosos (más de 10 por mm), con radios uniseriados de pocos a moderadamente numerosos, ~~cristales~~ presentes, radios heterocelulares tipo II de Kribs; punteaduras radiovasculares similares a intervasculares, alargadas con areolas visibles.

Fibras liberiformes no tabicadas, con punteaduras simples; de paredes delgadas.

Estratificación ausente.

Conductos gomíferos ausentes.

3.4.5- Análisis estadístico.

Con los resultados obtenidos en los ensayos para la variable retención, se efectuó el análisis de varianza del experimento factorial. Además se realizaron análisis de regresión de curvas logarítmicas para tener una línea final ajustada, con una ecuación para determinar retención en función de las variables independientes usadas.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

4. -RESULTADOS

Los resultados de los cálculos de peso específico, densidad básica y porosidad se indican en el Cuadro N° 3. Se incluyen las siguientes condiciones: peso específico básico (peso seco al horno, dividido por volúmen húmedo), densidad (peso húmedo, dividido por volúmen húmedo) y porosidad al contenido de humedad M.

CUADRO N° 3

Densidad, peso específico, porosidad y ~~contenido de~~
humedad promedio.

Espece	Peso específico	Densidad	Porosidad	M%
Charo amarillo	0,72	0,81	0,43	13,3
Perhuétamo	0,90	1,01	0,28	13,4

Los resultados de la retención y de la permeabilidad de cada una de las muestras seleccionadas se indican en el anexo, Cua - dro N° 1.

Durante el ensayo de permeabilidad se pudo observar que el efecto de la presión diferencial (gradiente de presión) sobre la proporción de flujo (Q) es más pronunciado en las muestras de alta permeabilidad. Para maderas con permeabilidad menor a 12

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

$\text{cm}^3 / \text{cm atm seg}$ el efecto de la presión diferencial fué insignificante, lo cuál concuerda con lo hallado por Wiley y Choong (1974).

Para conocer el efecto de la presión, tiempo de tratamiento, permeabilidad y sus respectivas interacciones sobre la retención del preservante se efectuó un análisis de varianza y su resultado se indica en el Cuadro N° 4. Se puede observar que las variables permeabilidad longitudinal al aire y presión de impregnación son altamente significativas; el tiempo de tratamiento es significativo al 5%, y las interacciones entre ellas no dan un aporte significativo sobre la retención.

Se obtuvieron ecuaciones de regresión lineal altamente significativas al relacionar la retención volumétrica fraccional (F_v1) y el logaritmo de la permeabilidad para las diferentes combinaciones de presión y tiempo de tratamiento; los resultados de estos análisis se presentan en el Cuadro N° 5.

Las muestras tratadas a presión de 10,5 atm y tiempo de 5400 seg (1,5 horas) presentan una mejor relación y coeficiente de determinación que las otras combinaciones de tratamientos. La línea de regresión es presentada en el Gráfico N° 2.

Las líneas de regresión que relacionan la retención volumétrica fraccional y el logaritmo de la permeabilidad, demostrando el e

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

CUADRO N° 4

Resumen del análisis de varianza de la permeabilidad, la presión y el tiempo de tratamiento, y de sus interacciones sobre la retención.

	Retención			
Variables	G1	SC	CM	F
Permeabilidad	4	13,49	3,37	109,04**
Presión	2	0,43	0,22	6,97**
Tiempo	2	0,19	0,10	3,14*
Perm x Presión	8	0,35	0,04	1,40
Perm x Tiempo	8	0,21	0,03	0,85
Presión x Tiempo	4	0,14	0,04	1,17
Perm x Presión x Tiempo	16	0,31	0,02	0,63
Error	90	2,78	0,03	----

CUADRO N° 5

Ecuaciones de regresión para retención volumétrica fraccional (Fv1) en función del logaritmo de la permeabilidad (K) para las diferentes combinaciones de presión y tiempo de tratamiento.

Variable	Retención						
	R ²	CV	Fv1	S	F significancia	intersección	Pendiente
P ₁ t ₁	0,78	23,26	0,78	0,18	45,80**	0,33	0,33
P ₁ t ₂	0,76	28,55	0,76	0,22	44,85**	0,33	0,34
P ₁ t ₃	0,87	13,90	0,87	0,12	85,36**	0,41	0,31
P ₂ t ₁	0,80	21,84	0,85	0,19	53,16**	0,36	0,34
P ₂ t ₂	0,87	16,96	0,90	0,15	90,47**	0,40	0,38
P ₂ t ₃	0,73	23,51	0,90	0,21	34,93**	0,48	0,31
P ₃ t ₁	0,60	23,85	0,85	0,20	19,43**	0,59	0,21
P ₃ t ₂	0,76	15,91	1,001	0,16	42,01**	0,67	0,25
P ₃ t ₃	0,70	19,12	0,98	0,19	30,85**	0,67	0,24

fecto de la presión de impregnación para valores de tiempo de tratamiento constante están agrupadas en los Gráficos N° 1, 2 y 3. Se puede apreciar que la retención disminuye ligeramente en las muestras de alta permeabilidad tratadas a altas presiones; algo similar ha sido encontrado por Liese (1979) en muestras de Tectona grandis y Shorea sp tratándolas con preservante hidrosoluble.

Las líneas de regresión que relacionan la retención volumétrica fraccional y el logaritmo de permeabilidad y que demuestran el efecto del tiempo de tratamiento a valores de presión de impregnación constantes están agrupados en los Gráficos N° 4, 5 y 6.

Se observa también que la retención disminuye ligeramente en las muestras de alta permeabilidad a un tiempo de tratamiento de 7200 seg (2 horas).

En los gráficos que muestran el efecto de presión y tiempo de tratamiento se puede apreciar que al aumentar la permeabilidad aumenta considerablemente la retención.

En el Gráfico N° 7 se muestran las líneas de regresión bajo todas las condiciones de presión y tiempo de tratamiento, con un total de 9 ecuaciones.

En términos generales se puede decir que existe una relación entre permeabilidad longitudinal al aire, presión y tiempo

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

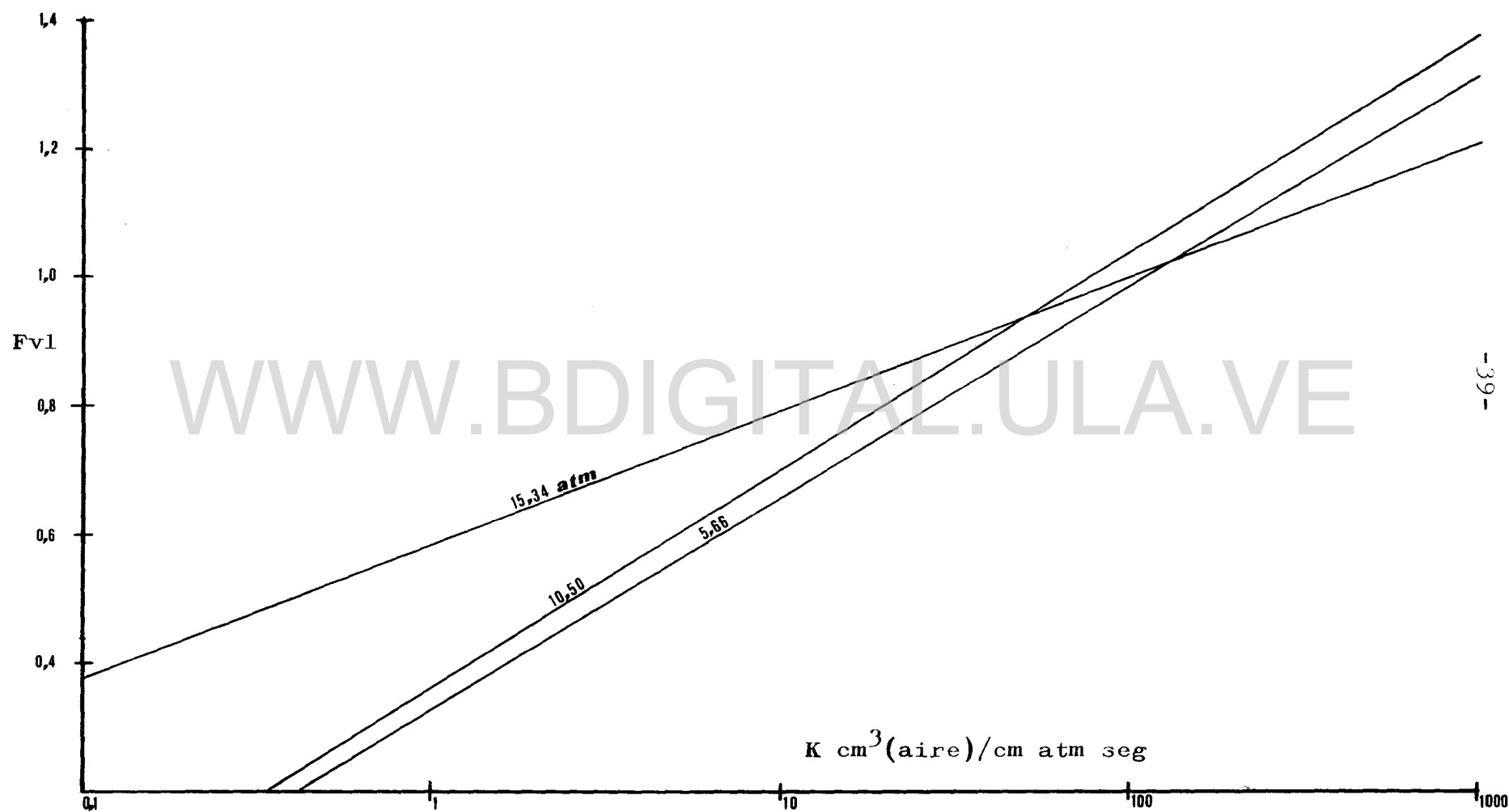


Gráfico N° 1. Retención volumétrica fraccional (F_{v1}) como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para un tiempo de 3600 seg y presiones de 5,66; 10,50 y 15,34 atm.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

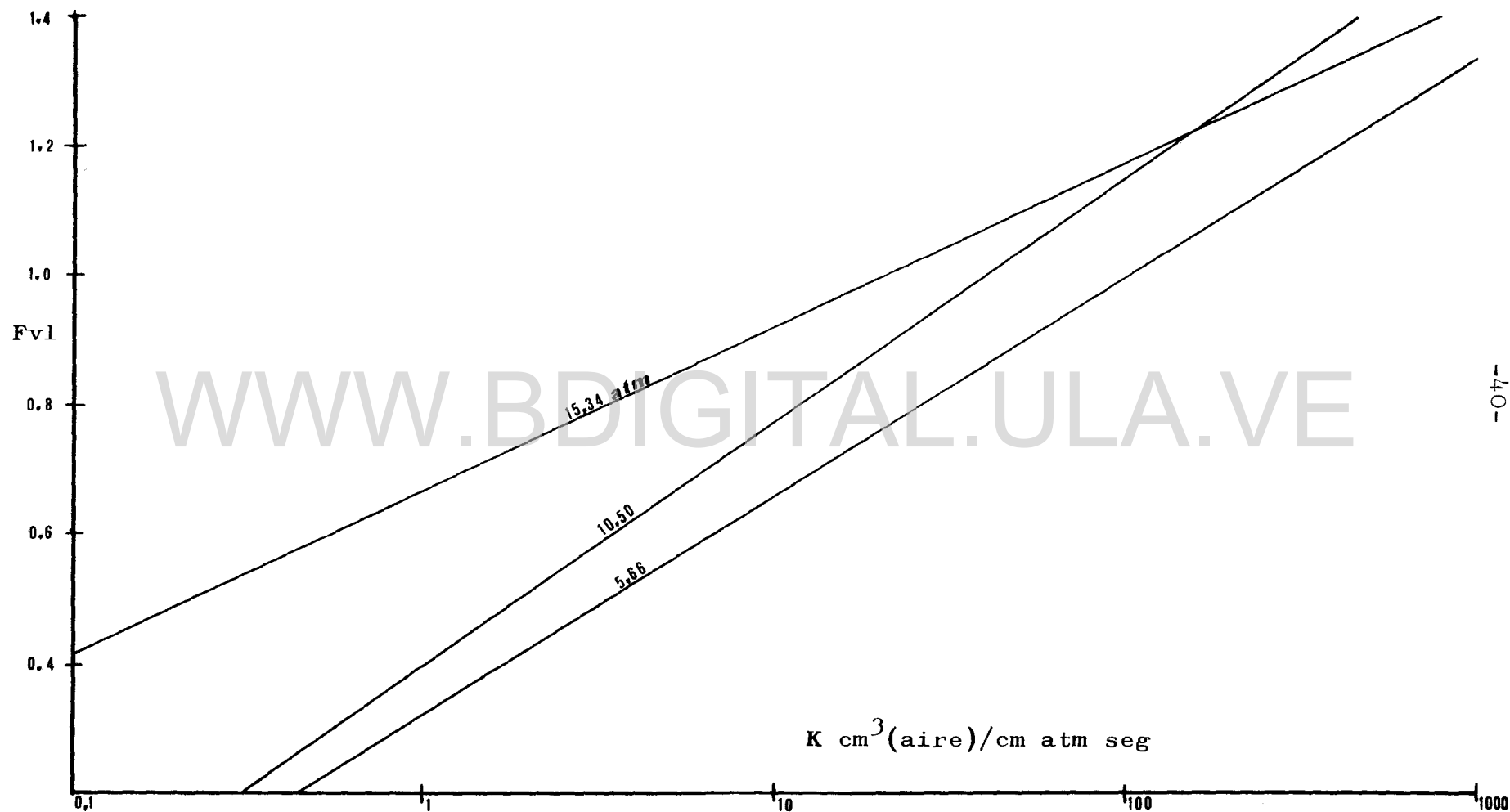


Gráfico N° 2. Retención volumétrica fraccional (F_{v1}) como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para un tiempo de 5400 seg y presiones de 5,66; 10,50 y 15,34 atm.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

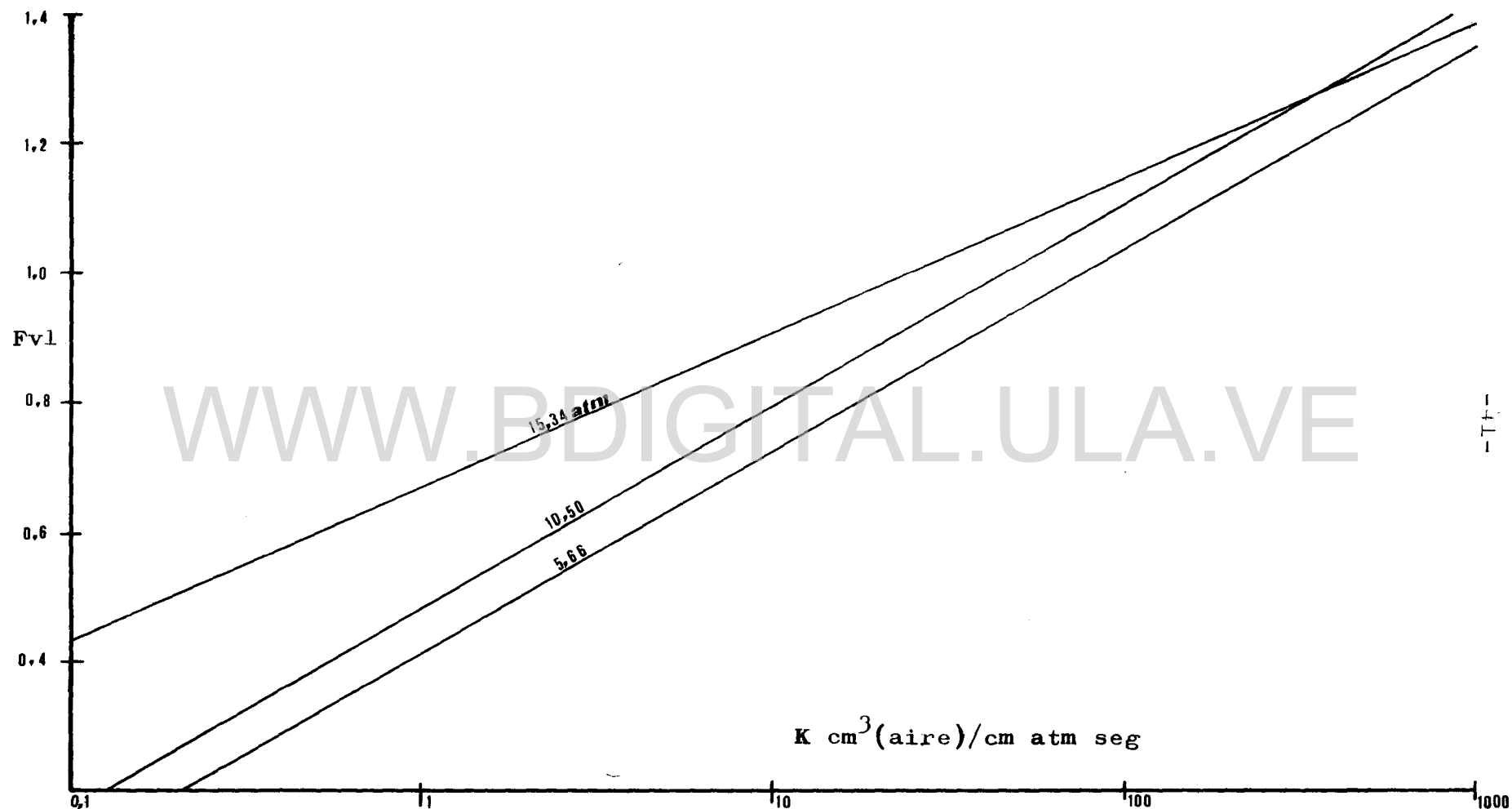


Gráfico N° 3. Retención volumétrica fraccional (F_{v1}) como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para un tiempo de 7200 seg y presiones de 5,66; 10,50 y 15,34 atm.

Licencia Creative Commons:
 Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
 (CC BY-NC-SA 3.0 VE)

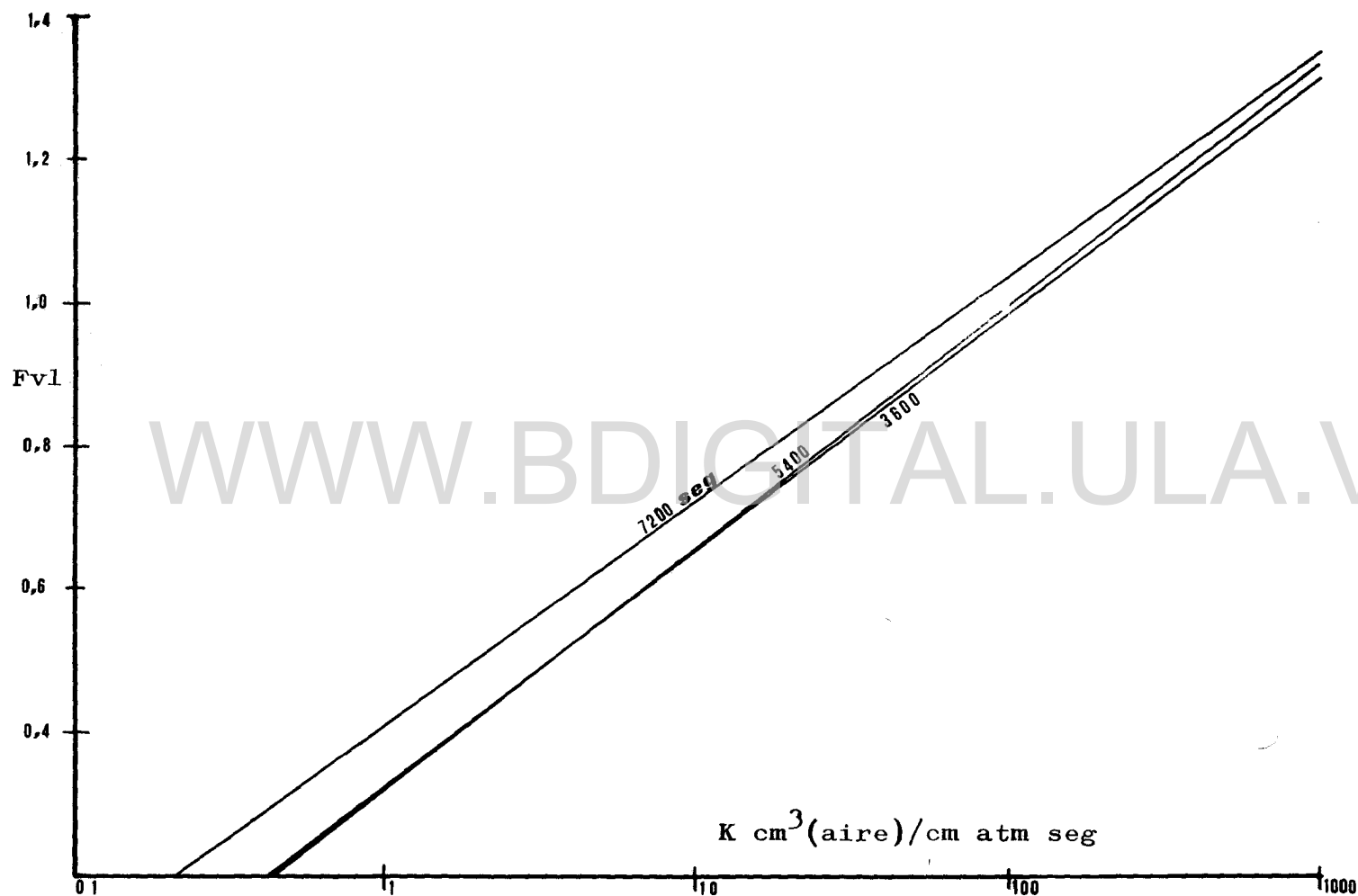


Gráfico N° 4. Retención volumétrica fraccional (F_{v1}) como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para una presión de 5,66 atm y tiempos de 3600, 5400 y 7200 seg.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

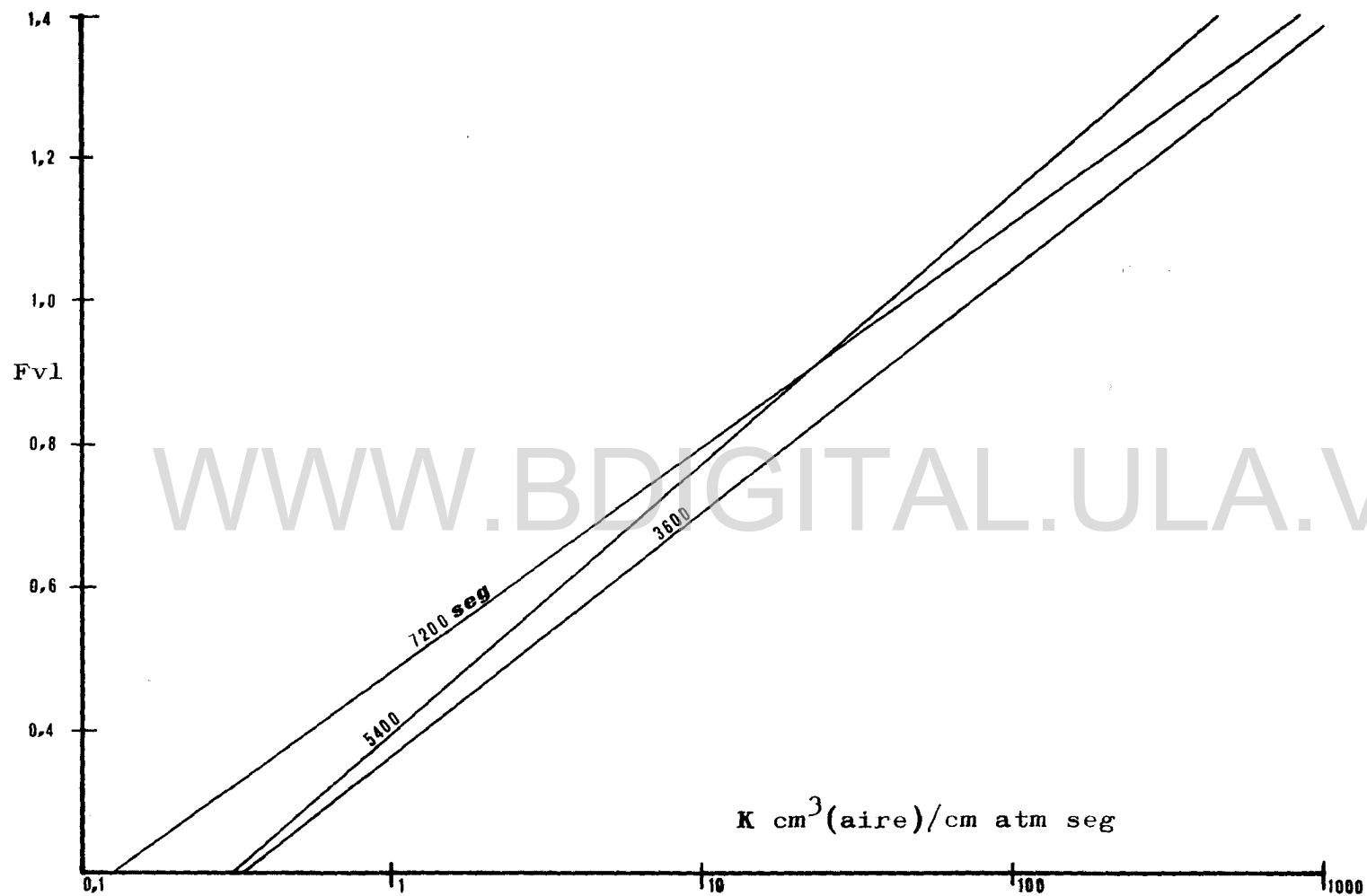


Gráfico N° 5. Retención volumétrica fraccional (F_{v1}) como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para una presión de 10,50 atm y tiempos de 3600, 5400 y 7200 seg.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

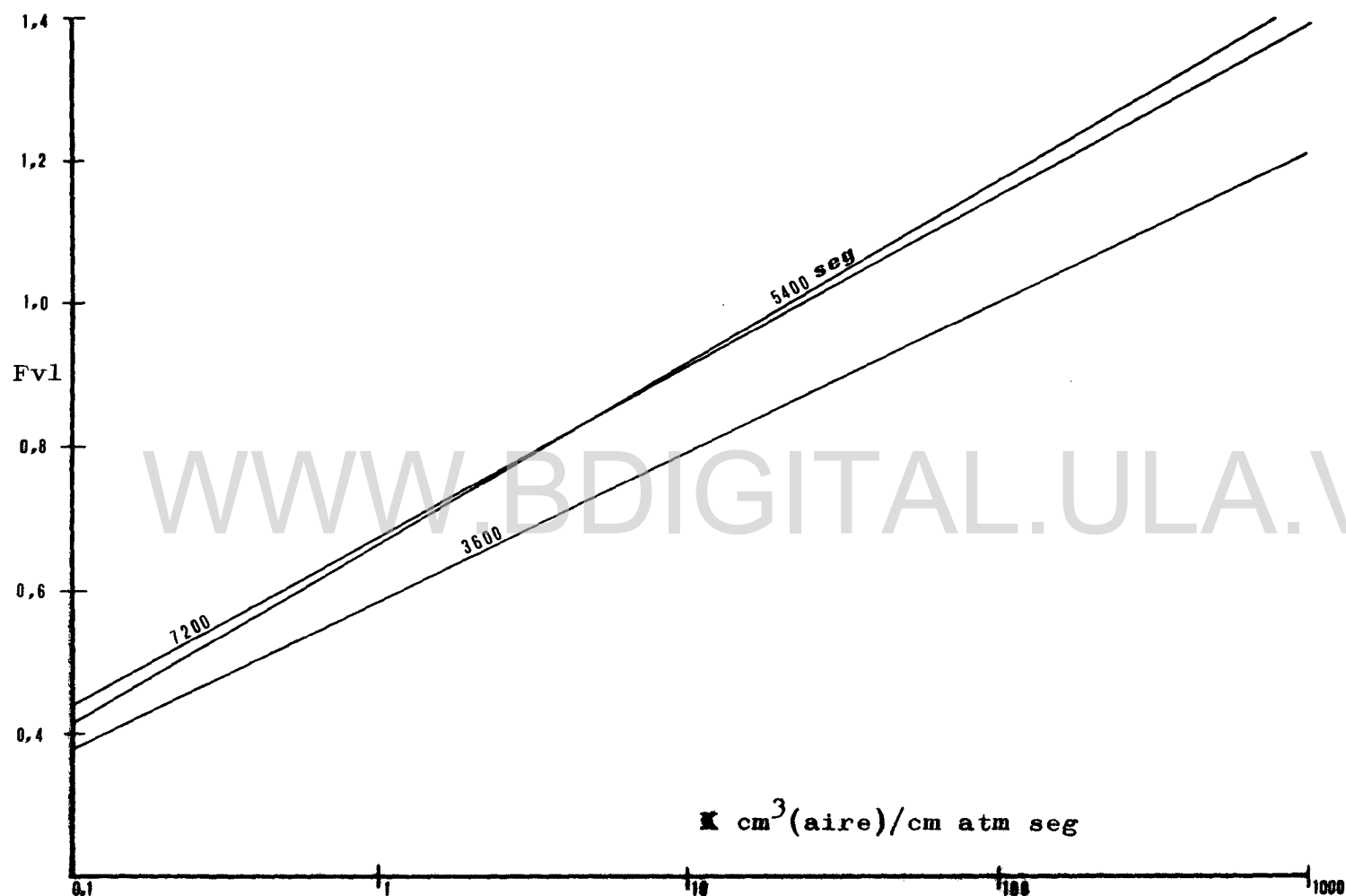


Gráfico N° 6. Retención volumétrica fraccional (F_{v1}) como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para una presión de 15,34 atm y tiempos de 3600, 5400 y 7200 seg.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

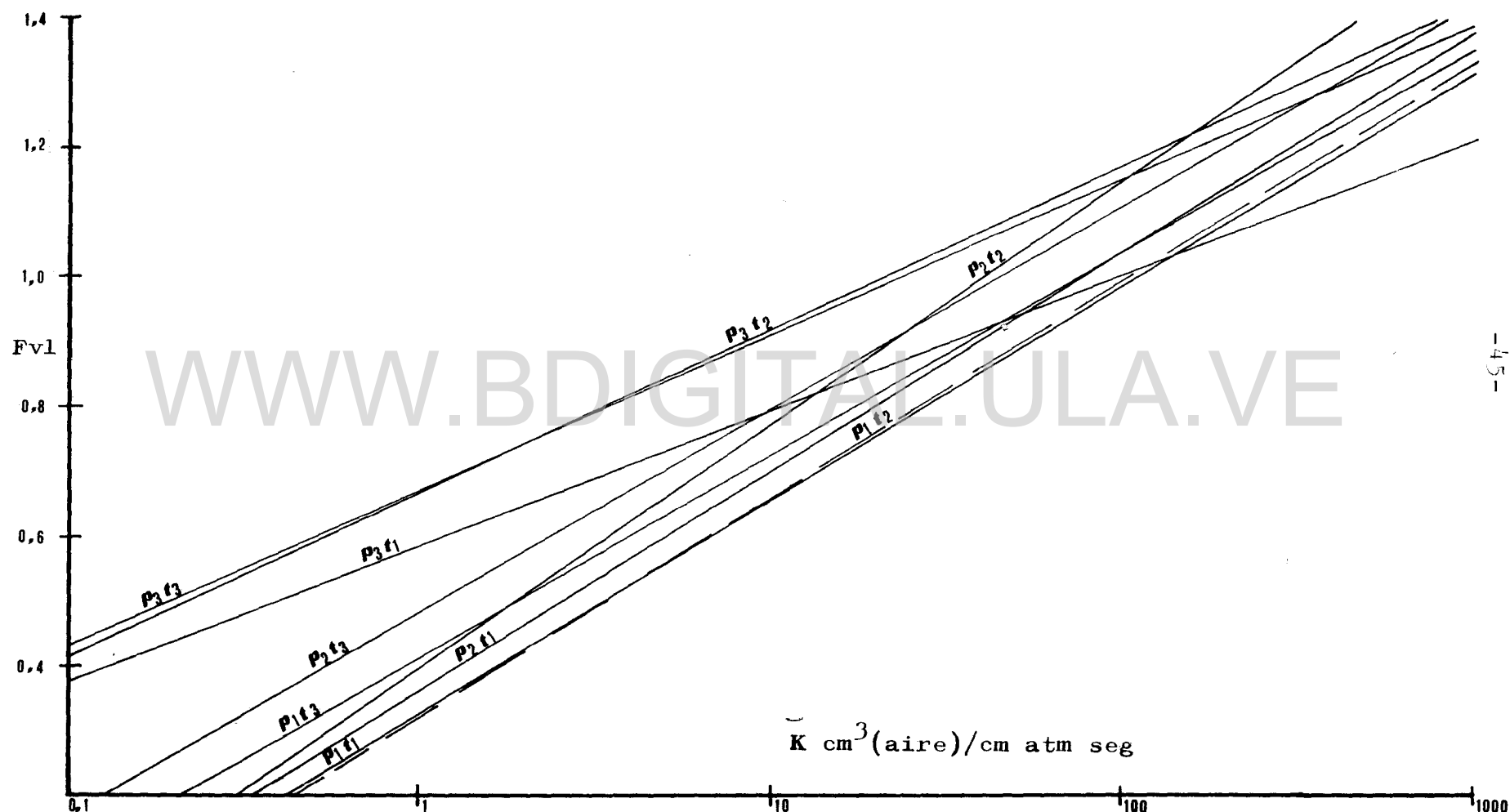


Gráfico N° 7. Líneas de regresión de la retención volumétrica fraccional (F_{v1}) como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para las diferentes combinaciones de presión y tiempo de tratamiento.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

de tratamiento, sobre la retención.

El Cuadro N° 6 nos muestra un resumen de los resultados del análisis de regresión cuando se relacionan la retención volumétrica fraccional y el logaritmo de la permeabilidad en muestras de charo amarillo y perhuétamo. Los análisis de regresión dan como resultado ecuaciones altamente significativas, obteniendo se un mejor ajuste en el perhuétamo que en el charo amarillo. Estas líneas de regresión son presentadas en los Gráficos N° 8 y 9.

De los Gráficos N° 1, 2 y 3 se tomaron valores de permeabilidad sobre presión, para retenciones de 0,4; 0,7 y 1,0. Haciendo un análisis de regresión a estos valores, se establece una relación lineal significativa entre el logaritmo de la permeabilidad y el logaritmo de la presión. La ecuación resultante tuvo una pendiente promedio de -1,73.

$$\log K \text{ proporcional a } -1,73 \log P$$

$$K \text{ proporcional a } 1/P^{1,73} \quad (5)$$

El efecto del tiempo de impregnación sobre la retención se determinó de los Gráficos N° 4, 5 y 6, siguiendo el mismo método. En este caso se obtuvo una ecuación lineal significativa y una

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

CUADRO N° 6

Resumen del análisis de regresión de la retención volumétrica fraccional(Fv1) como función del logaritmo de la permeabilidad para cada especie.

	Retención	
	Charo amarillo	Perhuétamo
Valor de F	34,49**	239,57**
r^2	0,46	0,72
Coef. de Variación	43,09	14,37
Media (Fv1)	0,55	1,02
Desviación Standar	0,24	0,15
Intersección	0,35	0,63
Pendiente	0,35	0,24

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM

17:14 WEDNESDAY, DECEMBER 3, 1980

PLOT OF FVL*K, LEGEND: A = 1 OBS, B = 2 OBS, ETC.

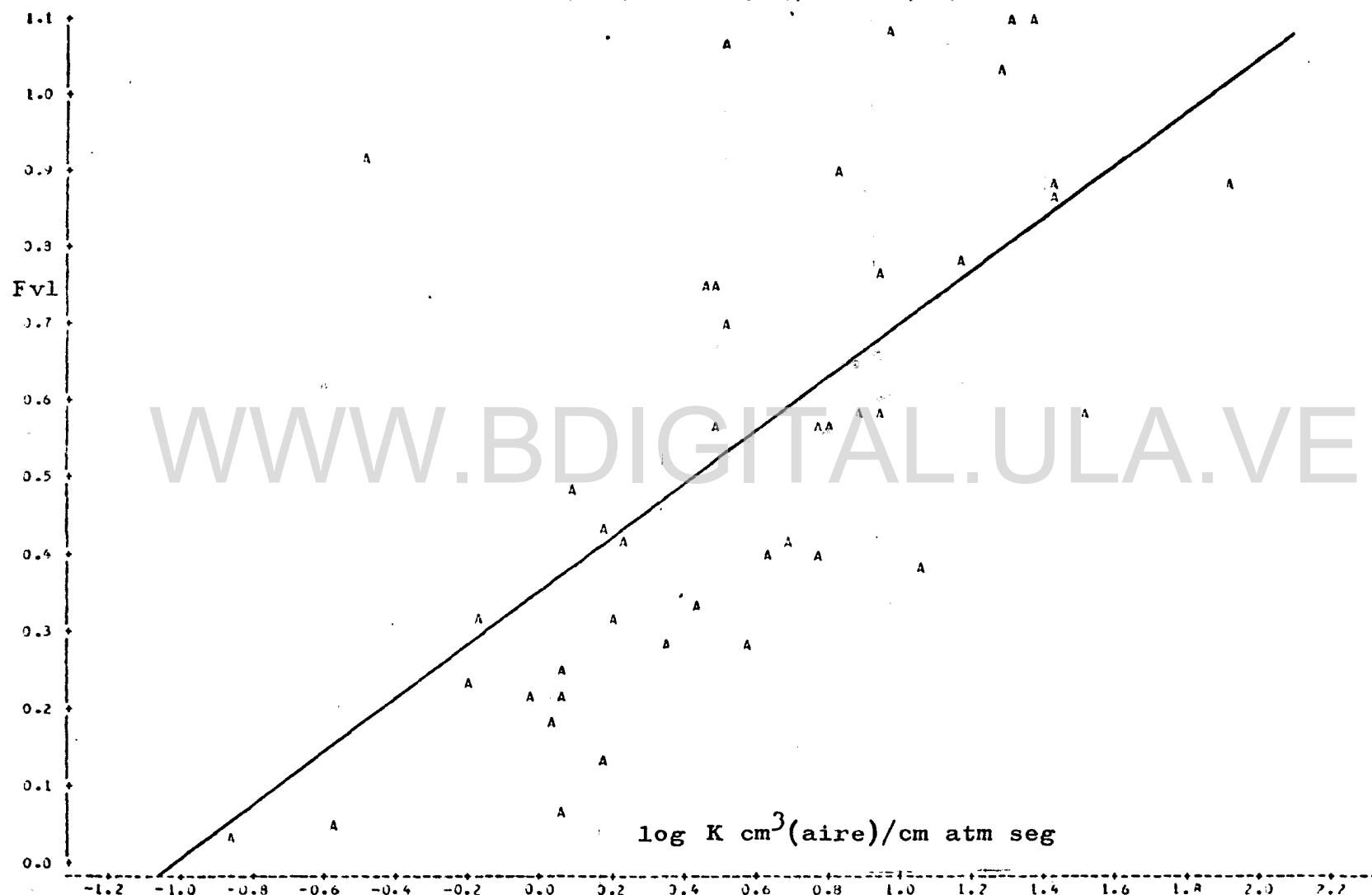


Gráfico N° 8. Retención volumétrica fraccional (Fvl) como función del logaritmo de la permeabilidad para las muestras de charo amarillo.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM

16:57 WEDNESDAY, DECEMBER 3, 1980

PLOT OF FVL*K LEGEND: A = 1 OBS, B = 2 OBS, ETC.

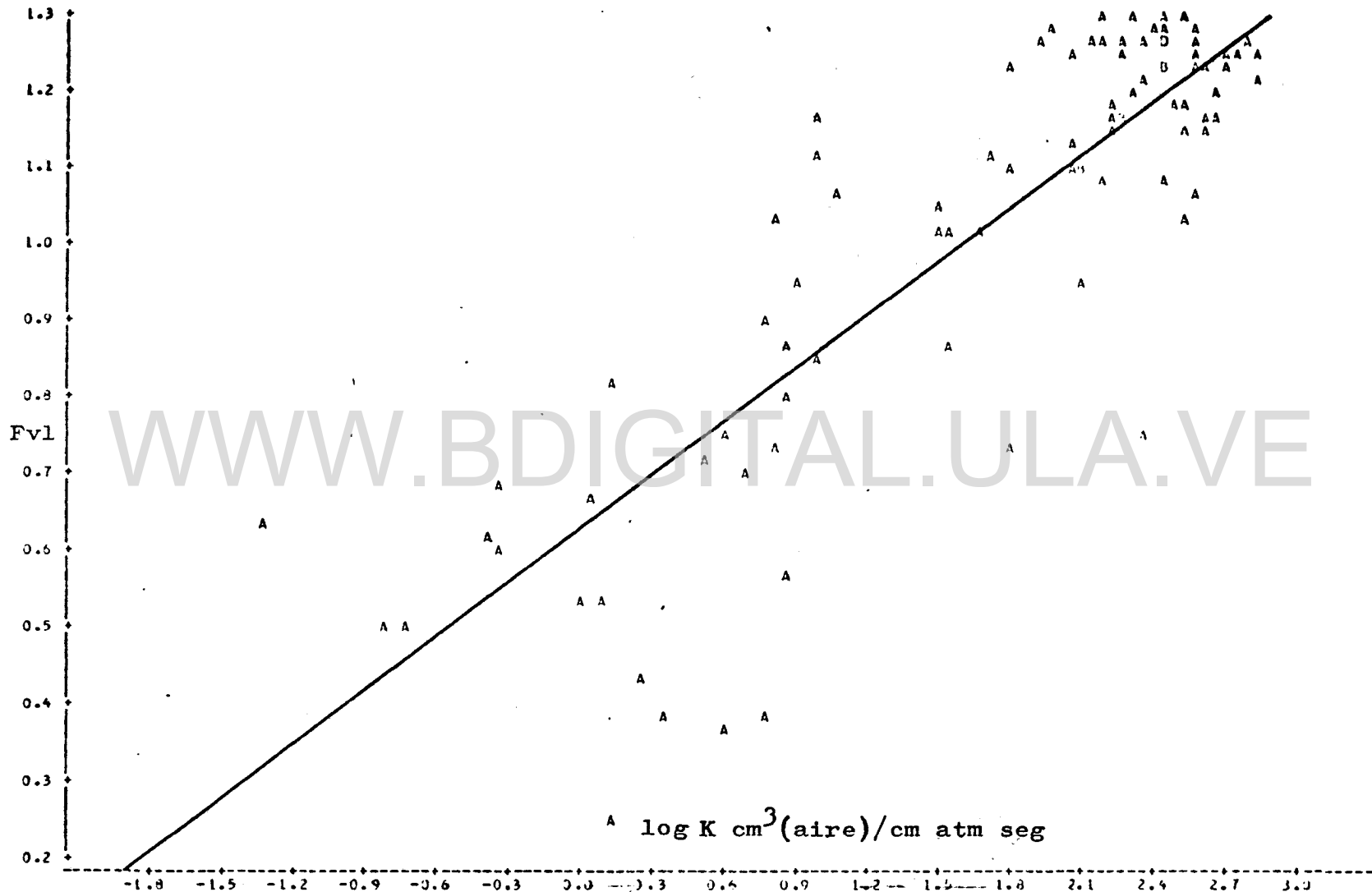


Gráfico Nº 9. Retención volumétrica fraccional (Fv1) como función del logaritmo de la permeabilidad para las muestras de perhuétamo.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

pendiente promedio de -1,05 relacionando el logaritmo de la permeabilidad y el logaritmo del tiempo.

$\log K$ proporcional a $-1,05 \log t$

$$K \text{ proporcional a } 1/t^{1,05} \quad (6)$$

Las relaciones proporcionales (5) y (6) nos indican que las muestras de alta permeabilidad requieren de menor presión y tiempo de tratamiento para obtener retenciones constantes. Esto es presentado en el Gráfico N° 7, donde:

$$Fv1 \text{ proporcional a } \log K \quad (7)$$

Combinando los efectos de permeabilidad, presión y tiempo de tratamiento se puede escribir la siguiente proporción:

$$Fv1 \text{ proporcional a } \log \left[K (p^{1,73} t^{1,05}) \right] \quad (8)$$

Los datos de permeabilidad obtenidos durante el ensayo fueron transformados multiplicándolos por el factor $(p^{1,73} t^{1,05})$.

Haciendo un análisis de regresión a estos nuevos valores, se obtuvo una línea de regresión altamente significativa entre retención y $\log \left[K (p^{1,73} t^{1,05}) \right]$. Los puntos de los datos normalizados ubicados y la línea de regresión se ilustran en el Gráfico N° 10. La ecuación de esta línea de regresión es:

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Plot of Fv1*APIN LEGEND: A = 1 CES, B = 2 CES, ETC.

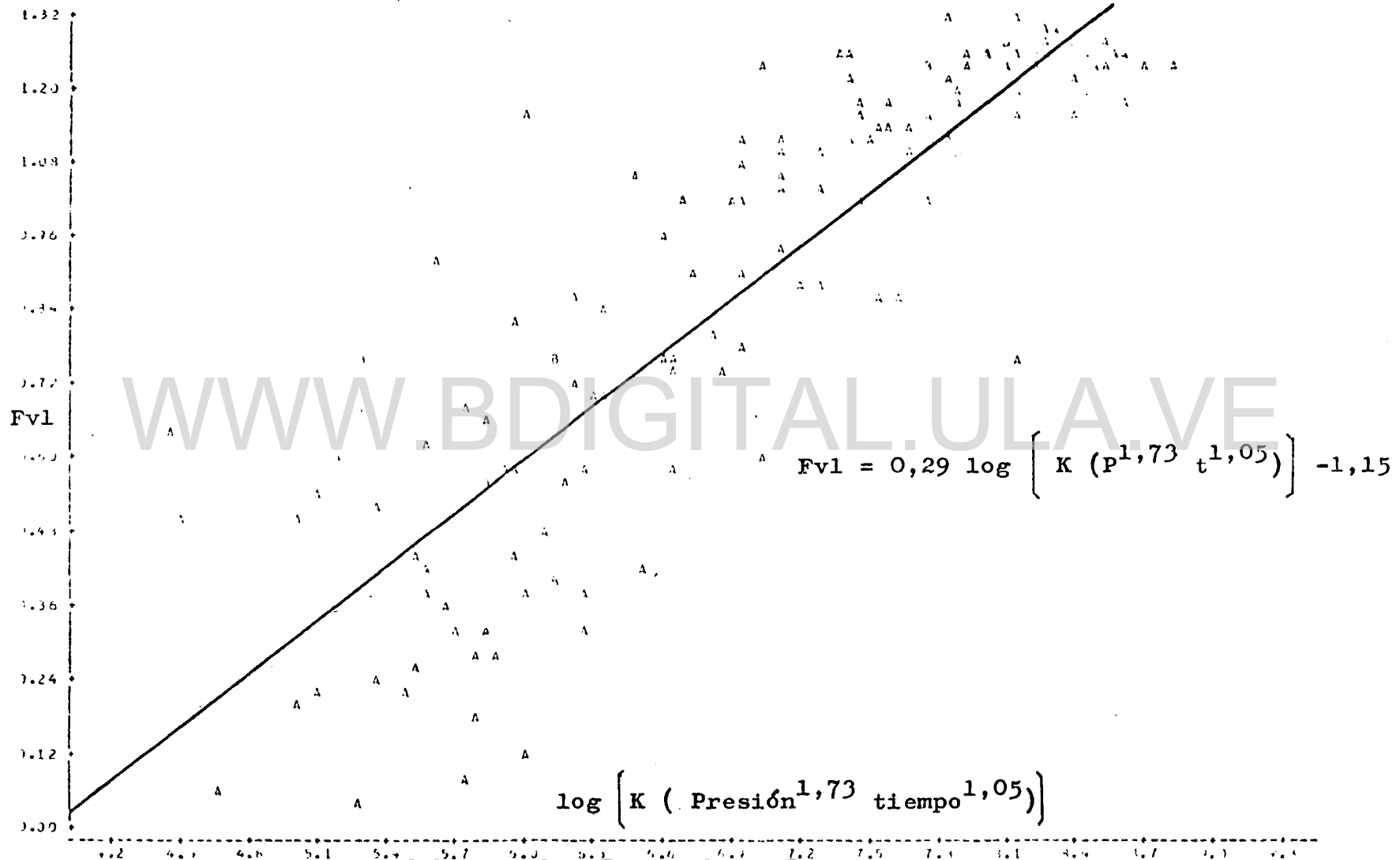


Gráfico N° 10. Retención volumétrica fraccional (Fv1) como función del logaritmo de permeabilidad $\left[K (Presión^{1,73} tiempo^{1,05}) \right]$ para todas las muestras.

$$Fv1 = 0,29 \log \left[K (P^{1,73} t^{1,05}) \right] - 1,15 \quad (9)$$

donde:

Fv1 = Retención volumétrica fraccional.

K = Permeabilidad longitudinal al aire aparente, $\text{cm}^3(\text{aire}) / \text{cm atm seg.}$

P = Presión de impregnación, atm.

t = Tiempo de tratamiento, seg.

En el Gráfico N° 11 se presenta la ubicación de los puntos de los datos no transformados. El análisis de regresión da una ecuación lineal altamente significativa cuando se relaciona retención y logaritmo de permeabilidad.

El Cuadro N° 7 nos muestra los resultados resumidos de las relaciones Fv1 con $\log K$ y Fv1 con $\log \left[K (P^{1,73} t^{1,05}) \right]$ de todas las muestras.

En este cuadro podemos observar que cuando se relaciona la retención volumétrica fraccional con el logaritmo de la permeabilidad se obtiene una significación inferior que cuando se relaciona la retención volumétrica fraccional con el logaritmo de los datos transformados que presentan una mejor relación.

PLOT OF FVL*KL LEGEND: A = 1 GRS, B = 2 GRS, ETC.

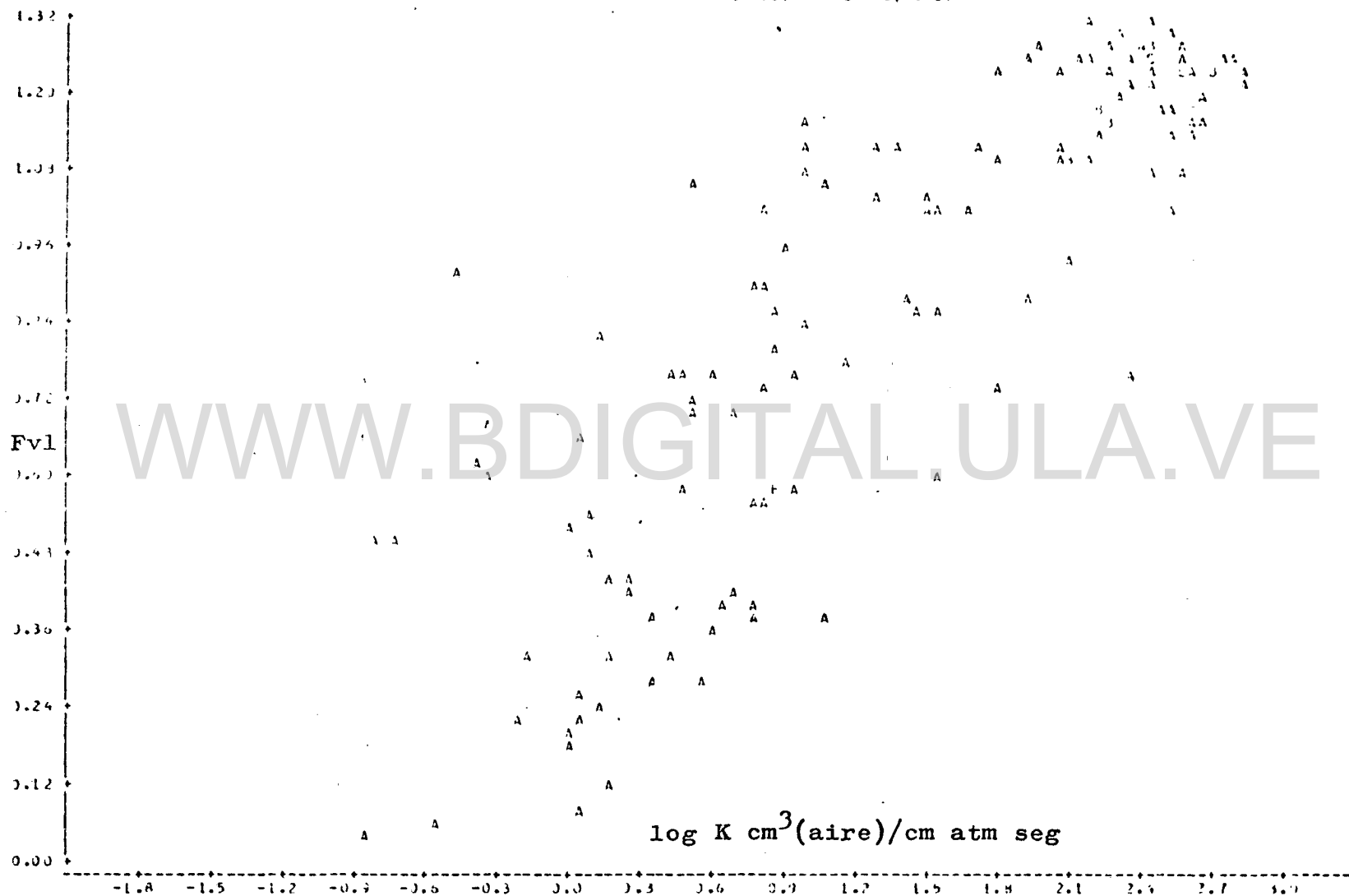


Gráfico N° 11. Retención volumétrica fraccional (Fv1) como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para todas las muestras.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

CUADRO N° 7

Resumen del análisis de regresión entre la retención volumétrica fraccional como función del logaritmo de la permeabilidad, y retención volumétrica fraccional como función del logaritmo de $\left[\text{permeabilidad}(P^{1,73} t^{1,05}) \right]$, para todas las especies.

	Retención (Fvl)	
	log K	* log KPTN
F	327,11**	401,78**
r ²	0,71	0,75
CV	22,54	20,91
$\overline{\text{Fvl}}$	0,88	0,88
S	0,20	0,18
Intersección	0,48	-1,15
Pendiente	0,29	0,29

$$* \text{KPTN} = \left[K (P^{1,73} t^{1,05}) \right]$$

PENETRACION

La forma y profundidad de la penetración del preservante es indicada por la reacción de coloración para el elemento cobre y es mostrado en las Figuras N° 13, 14, 15, 16 y 17

Se puede apreciar que conforme se aumenta la presión y tiempo de tratamiento hay un ligero aumento en penetración. Esto es más claro en las muestras de charo amarillo que presentan un mejor contraste de coloración. Las muestras de las Figs. 16 y 17 que pertenecen a los grupos de mayor permeabilidad tuvieron una penetración total.

Los análisis de regresión entre la penetración y el logaritmo de la permeabilidad para las muestras de charo amarillo y para las muestras de perhuétamo dieron como resultado ecuaciones lineales altamente significativas. Estos resultados se indican en el Cuadro N° 8. Las líneas de regresión se dan en el Gráfico N° 12, y se puede apreciar que para muestras de igual permeabilidad, se consigue una mejor penetración en el charo amarillo.

El análisis de regresión entre penetración y el logaritmo de la permeabilidad para todas las muestras dió como resultado una ecuación lineal altamente significativa (Gráfico N° 13).

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

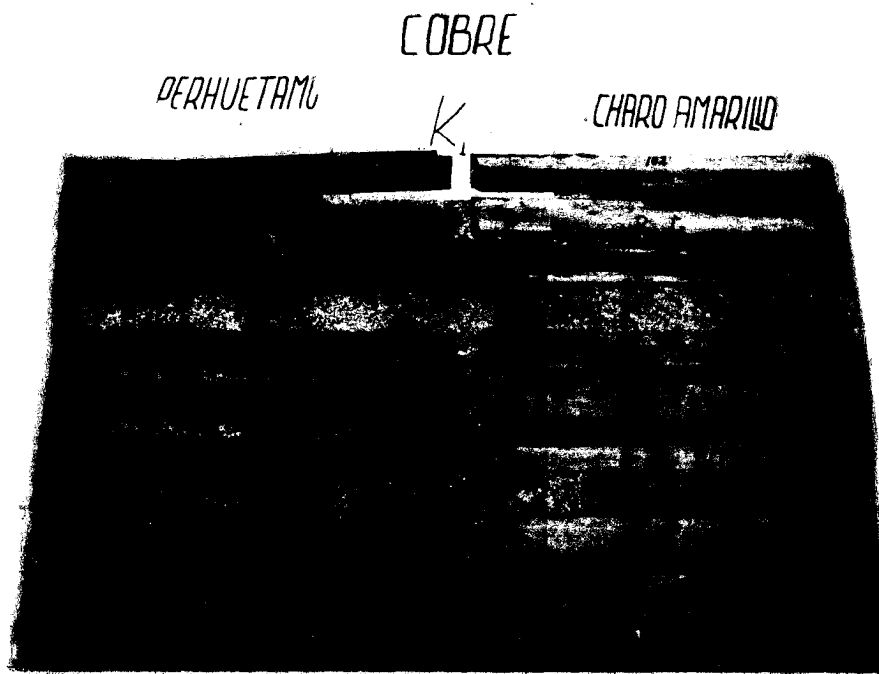


Figura N° 13. Penetración en las muestras del grupo de permeabilidad 1.



Figura N° 14. Penetración en las muestras del grupo de permeabilidad 2.

COBRE

PERHUETAMO

K_3

CHARO AMARILLO



Figura N° 15. Penetración en las muestras del grupo de permeabilidad 3.

COBRE

PERHUETAMO

K_4

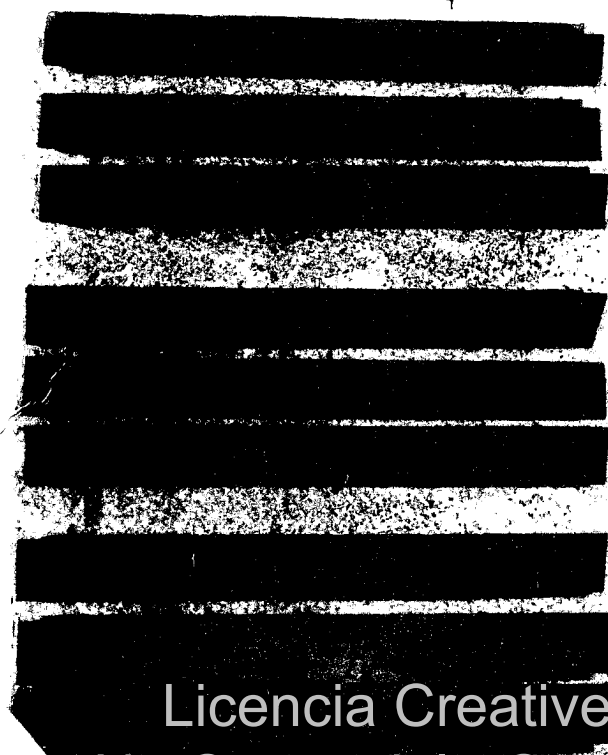


Figura N° 16. Penetración en las muestras del grupo de permeabilidad 4.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

COBRE

PERHUETAMO K_5



Figura Nº 17. Penetración en las muestras del grupo de permeabilidad 5.

CUADRO N° 8

Ecuaciones de regresión entre la penetración y el logaritmo de la permeabilidad para cada especie y el total de ellas.

Penetración							
	r^2	CV	Penetra. promedio.	S	F	Intersec.	Pendiente
Charo amarillo	0,24	40,07	15,56	6,23	7,78**	12,09	5,72
Perhuétamo	0,75	13,67	18,40	3,43	129,12**	10,97	5,53
Total	0,56	26,73	17,33	4,63	90,33**	11,65	5,33

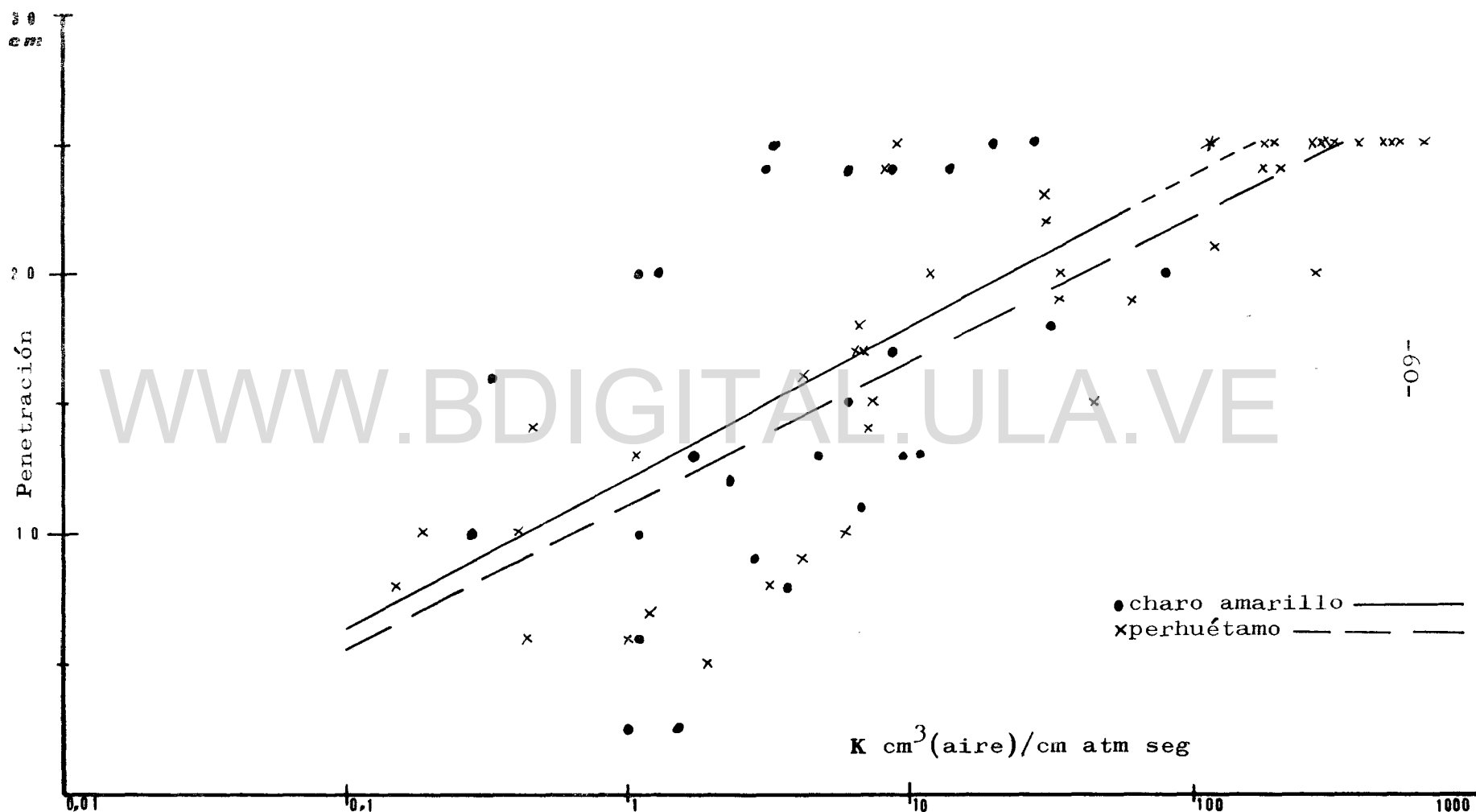


Gráfico N° 12. Penetración como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para las muestras del charo amarillo y del perhuétamo.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

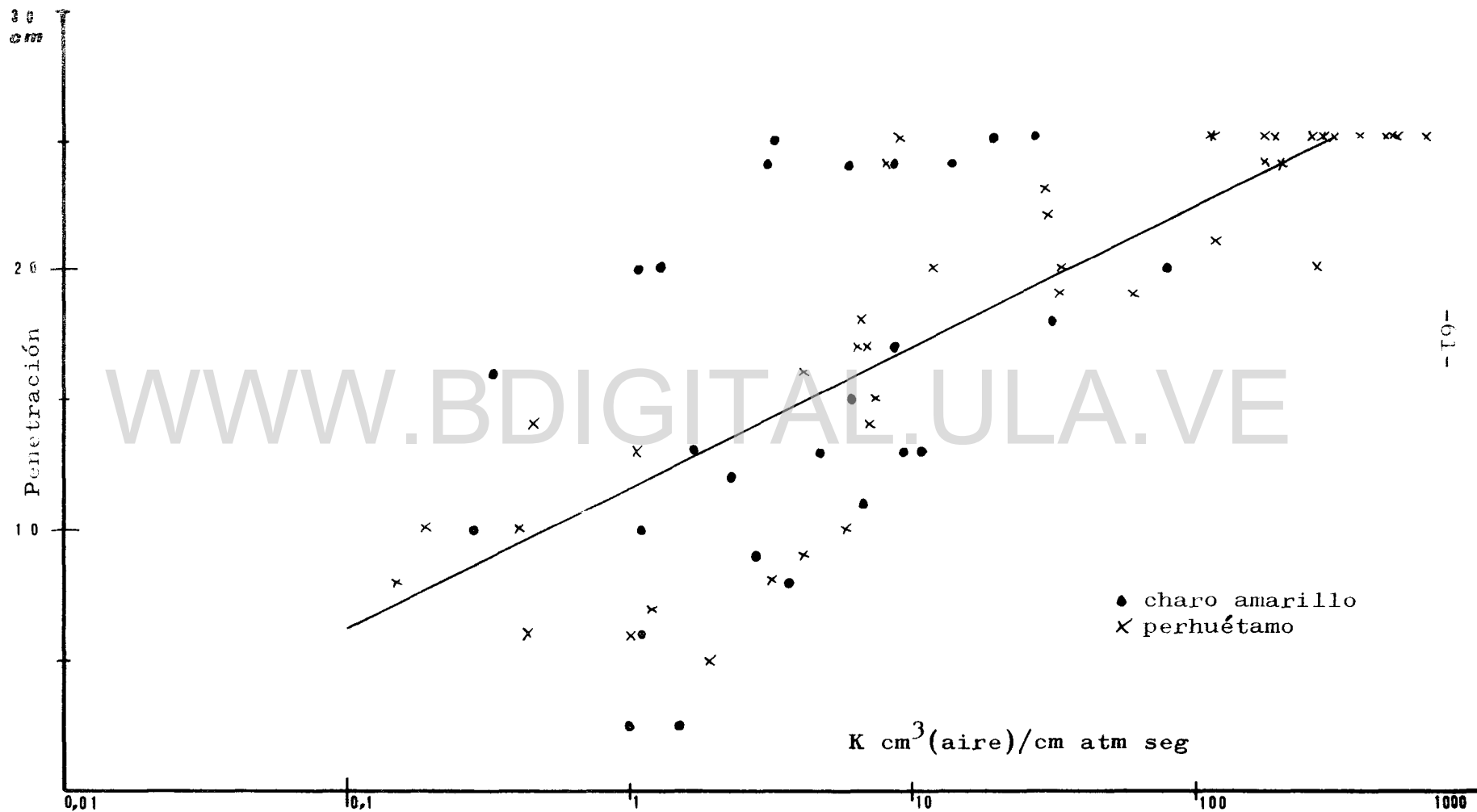


Gráfico Nº 13. Penetración como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para todas las muestras.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

En el Cuadro N° 9 se observan las relaciones de la penetración con el logaritmo de la permeabilidad para las diferentes combi
naciones de presión y tiempo de tratamiento, éstas dan como re
sultado ecuaciones lineales significativas y altamente signifii
cativas. Las líneas de regresión son presentadas en el Gráfico N° 14.

Se puede apreciar que no hay una diferencia marcada entre pre
sión y tiempo de tratamiento sobre penetración. El análisis de varianza aplicado a los datos de penetración de las muestras del charo amarillo, perhuétamo y el total de ellas indican que la permeabilidad longitudinal al aire es el factor más influ -
yente, siendo la permeabilidad longitudinal al aire el factor de mayor influencia para las muestras de perhuétamo, tal como se observa en el Cuadro N° 10.

CUADRO N° 9

Ecuaciones de regresión para la penetración en función del logaritmo de la permeabilidad para las diferentes combinaciones de presión y tiempo de tratamiento.

Penetración							
	r^2	CV	Penetra.	S	F	Intersec.	Pendiente
$P_1 t_1$	0,52	37,13	18,13	6,73	6,47 ^{**}	14,09	6,78
$P_1 t_2$	0,73	27,16	15,50	4,21	16,04 ^{**}	10,54	5,27
$P_1 t_3$	0,87	13,41	16,63	2,23	40,10 ^{**}	9,51	5,49
$P_2 t_1$	0,85	13,05	17,13	2,24	33,81 ^{**}	12,14	4,44
$P_2 t_2$	0,47	38,88	16,63	6,47	5,33 [*]	10,36	6,53
$P_2 t_3$	0,66	32,23	16,19	5,22	11,73 ^{**}	9,59	6,16
$P_3 t_1$	0,47	33,77	18,19	6,14	5,31 [*]	11,84	5,91
$P_3 t_2$	0,43	24,19	19,38	4,69	4,46 [*]	15,74	3,51
$P_3 t_3$	0,66	24,32	18,25	4,44	11,64 ^{**}	12,68	5,20

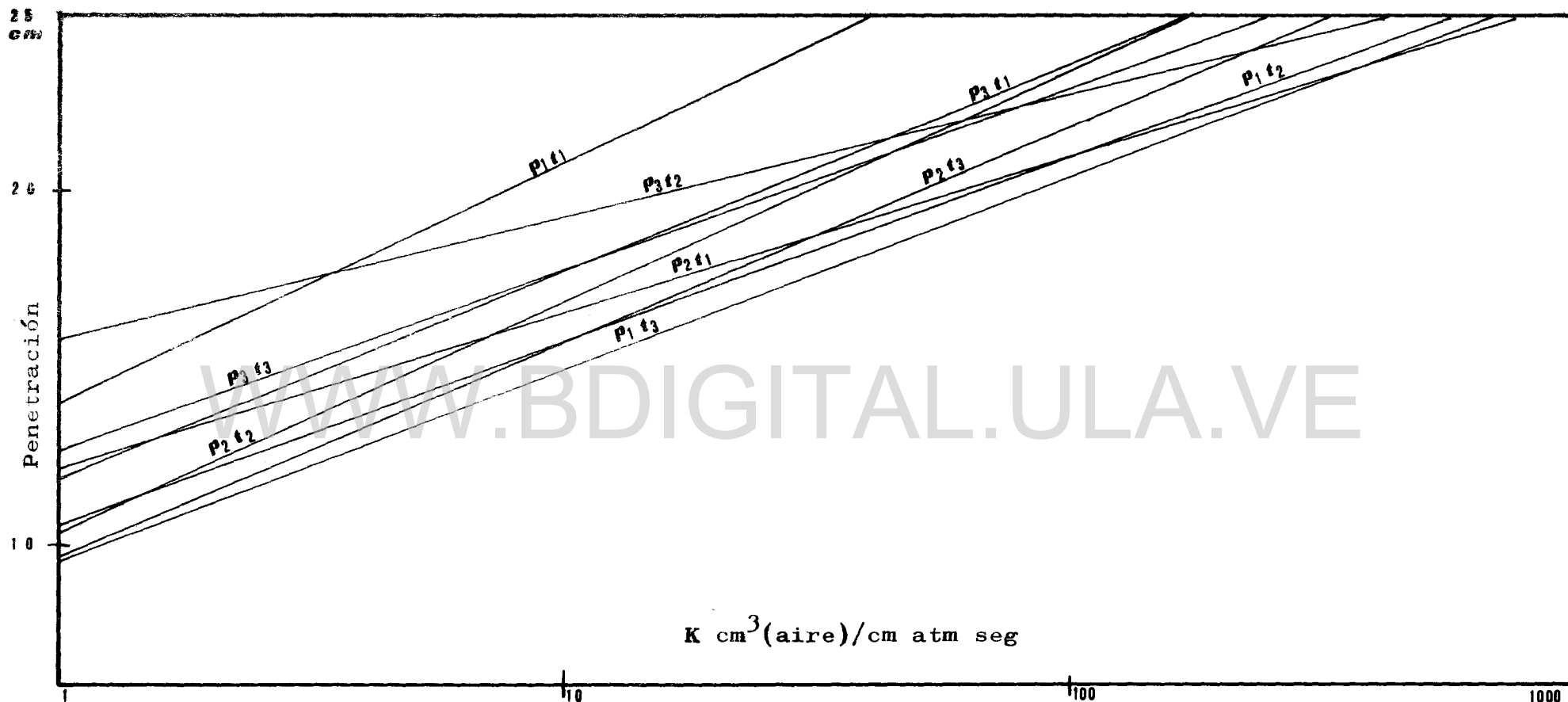


Gráfico N° 14. Líneas de regresión de la penetración como función del logaritmo de la permeabilidad (K) para las diferentes combinaciones de presión y tiempo de tratamiento.

CUADRO N° 10

Resumen del análisis de la varianza de la permeabilidad, la presión y el tiempo de tratamiento, y de sus interacciones sobre la penetración.

Fuente de Variación	Charo amarillo			Perhuétamo			Total		
	G1	CM	F	G1	CM	F	G1	CM	F
K	2	173,44	4,08*	4	431,03	53,78**	4	541,07	20,35**
P	2	36,19	0,85	2	5,27	0,66	2	29,14	1,10
t	2	2,53	0,06	2	3,80	0,47	2	4,26	0,16
KP	--	-----	-----	--	-----	-----	8	9,82	0,37
Kt	--	-----	-----	--	-----	-----	8	16,97	0,64
Pt	--	-----	-----	--	-----	-----	4	7,47	0,28
KPt	--	-----	-----	--	-----	-----	16	15,53	0,58
Error	20	42,49	-----	36	8,01	-----	27	26,58	-----

5.-DISCUSION

Tomando en cuenta que el objeto fundamental de este trabajo fué estudiar la influencia de la permeabilidad longitudinal al aire, presión de impregnación y tiempo de tratamiento sobre retención y penetración, la discusión se presenta para cada una de las variables, por especie y en forma global.

La ecuación de Darcy es válida para éstas especies debido a que la proporción del flujo es directamente proporcional a la gradiente de presión. Cuando se incrementa la gradiente de presión aumenta la proporción de flujo.

La permeabilidad longitudinal al aire aumenta cuando se disminuye la presión media, aún cuando el efecto de turbulencia es más pronunciado en muestras de alta permeabilidad. Esto ha sido determinado anteriormente por Comstock (1967), Choong y Fogg (1972), Petty (1976) y Siau (1971).

El charo amarillo, con un peso específico promedio de 0,72 y una porosidad de 0,43, es una madera de menor permeabilidad que el perhuétamo con peso específico y porosidad promedio de 0,90 y 0,28 respectivamente. Esto es debido a que las abertu - ras de sus poros se encuentran obstruidas por tálides que impiden el flujo de aire en el sentido longitudinal. Es decir, la permeabilidad longitudinal de las especies latifoliadas está

en función del tamaño y número de poros no obstruidos. Esto también ha sido manifestado por Comstock (1967).

La permeabilidad longitudinal al aire varía grandemente de especie a especie, así como también dentro de una misma especie. Mediante el análisis de varianza aplicado a los valores de la permeabilidad longitudinal al aire se determinó un coeficiente de variación de 164 para el charo amarillo y de 100 para el perhuétamo. El charo amarillo tiene un intervalo de permeabilidad de 0,14 a 40,24 $\text{cm}^3(\text{aire})/\text{cm atm seg}$, con un promedio de 8,76 $\text{cm}^3(\text{aire})/\text{cm atm seg}$ y el perhuétamo de 0,05 a 660,36 $\text{cm}^3(\text{aire})/\text{cm atm seg}$, con un promedio de 175,63 $\text{cm}^3(\text{aire})/\text{cm atm seg}$. Estas variaciones son controladas por la estructura anatómica de las especies.

En las muestras de baja permeabilidad se notó un ligero incremento en proporción de flujo con el tiempo. Esto ocurre generalmente en muestras de charo amarillo donde las vías para el paso de aire no son continuas.

Wiley y Choong (1975) indican que en muestras de alta permeabilidad puede haber una desviación de la ley de Darcy sobre todo cuando se disminuye la gradiente de presión. Kumar (1979) observó flujo turbulento en casi todas las especies estudiadas y que tuvieron un intervalo de permeabilidad de 0,24 a 961,1 cm^3

(nitrógeno)/ cm atm seg, pero con algunas excepciones en muestras de permeabilidad menor a 11 cm^3 (nitrógeno)/ cm atm seg. La turbulencia está en función del diámetro de los poros y de la presencia o no de incrustaciones y tálides.

Los datos de permeabilidad encontrados en este estudio están dentro del intervalo determinado por otros autores: Isaac, Choong y Skaar (1971), Siau (1972), Choong y Fogg (1972), Choong, Tesoro y Manwiller (1974) y Kumar (1979).

Los cálculos de permeabilidad determinados con la ecuación teórica 3.20 de Siau (1971), resultan muy altos comparados con los valores experimentales obtenidos usando la ecuación de Darcy. Esta diferencia es más acentuada en el charo amarillo, el cuál posee poros obstruidos por tálides, por lo que el área efectiva de flujo es menor que la teórica calculada.

La retención de preservante en la madera depende del líquido que se use. Las soluciones polares se unen a la madera por medio de puentes de hidrógeno (Nicholas 1973), y su absorción es acompañada por una hinchazón de la pared celular (Banks 1972).

La retención líquida obtenida en las diferentes combinaciones de presión y tiempo de tratamiento se muestran en el Cuadro N° 11. Se puede observar que las retenciones líquidas obtenidas

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

CUADRO N° 11

Retención líquida y permeabilidad promedio para cada combinación de tratamiento por especie.

	Charo amarillo				Perhuétamo			
	Albura		Duramen		Albura		Duramen	
	$\overline{Rl}$	$\overline{K}$	$\overline{Rl}$	$\overline{K}$	$\overline{Rl}$	$\overline{K}$	$\overline{Rl}$	$\overline{K}$
$P_1 t_1$	-----	-----	187,67	24,33	324,66	250,99	212,26	62,95
$P_1 t_2$	-----	-----	97,87	5,07	297,51	179,27	172,86	60,26
$P_1 t_3$	199,34	3,09	238,60	6,29	313,10	177,88	-----	-----
$P_2 t_1$	135,53	2,26	173,86	10,13	341,20	203,93	-----	-----
$P_2 t_2$	398,35	8,86	159,92	1,52	320,36	181,90	258,36	8,33
$P_2 t_3$	-----	-----	268,20	9,75	314,97	175,82	-----	-----
$P_3 t_1$	354,26	3,33	254,36	11,30	294,45	147,59	-----	-----
$P_3 t_2$	-----	-----	320,05	3,72	398,23	272,54	238,78	78,53
$P_3 t_3$	450,32	25,80	292,29	2,55	338,92	187,41	-----	-----
$\overline{X}$	307,56		221,42		327,04		220,56	

$\overline{Rl}$ = Retención líquida promedio, Kg/m³.

$\overline{K}$ = Permeabilidad longitudinal al aire promedio, cm³ (aire)/cm atm seg.

para las condiciones máximas de tratamiento de este estudio son muy similares a las determinadas para el perhuétamo y charo amarillo (Conejos 1979), utilizando sal hidrosoluble CCA y superior a lo obtenido por Conejos (1969) y LABONAC (1972) utilizando creosota y los resultados se presentan en el Cuadro N°12.

En el Cuadro N° 9 se puede apreciar que la presión y el tiempo de tratamiento, no tuvieron mayor efecto sobre la penetración del preservante en las muestras. Haciendo el análisis de varianza sobre la penetración para cada especie y el total de las muestras, indicadas en el Cuadro N° 10, donde se observa que la permeabilidad longitudinal al aire es el único factor significativo y que en el perhuétamo se obtiene una mejor relación. El incremento de presión y tiempo de tratamiento son importantes en muestras de la misma clase de permeabilidad pues se nota un incremento en la penetración y esto puede ser observado en las Figuras N° 13, 14 y 15. Esto ha sido determinado anteriormente por Siau y Shaw (1971) y Siau (1972).

Los resultados de la retención volumétrica fraccional sobrepasan los límites proporcionales debido a que la fórmula usada solo considera los espacios vacíos del lumen de los vasos y no los espacios intercelulares ni el agua que puede ser absorbida.

CUADRO N° 12

Resumen de retención líquida promedio obtenido por otros autores en charo amarillo y perhuétamo.

	Retención kg/m ³			
	* Hidrosoluble(CCA)		Creosota	
	Albura	Duramen	Albura	Duramen
Charo amarillo	511	378	** No difieren	301
			*** No difieren	85
Perhuétamo	330	172	** No difieren	158
			*** 160	160

* Conejos (1979)

** Conejos (1969)

*** Mérida, Venezuela, Laboratorio Nacional de Productos Forestales (1972)

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

por la pared celular. Esto fué observado después del tratamiento a presión debido a la hinchazón que presentaban algunas probetas.

Del análisis de varianza, Cuadro N° 4, puede deducirse que la permeabilidad longitudinal al aire es el factor más importante que actúa sobre la retención, seguido de la presión y el tiempo de tratamiento y que las interacciones entre ellas no mostraron significancia. Esto nos indica la independencia del efecto de estas variables cuando el tratamiento de la madera se realiza por el método a presión a célula llena. La varianza resultó altamente significativo, con un coeficiente de determinación de 0,84.

Las variables presión y tiempo de tratamiento se relacionan en forma directa con la retención como se puede observar en los Gráficos N° 1,2,3,4,5 y 6. Cuando las muestras de madera son tratadas a presión y tiempo elevados la retención tiende a disminuir. Este fenómeno también ha sido observado por Liese (1979) en muestras de Tectona grandis y Shorea sp cuando fueron tratadas con sales hidrosolubles a altas presiones. Liese manifiesta que es posible que las altas presiones tengan más influencia sobre alteraciones estructurales que el tiempo de tratamiento.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

La retención volumétrica fraccional promedio del perhuétamo es casi dos veces superior a la del charo amarillo (Cuadro N° 6); esta diferencia es menos notoria cuando se compara la retención líquida promedio, que sólo alcanza a 1,16 veces a la del charo amarillo y esto es debido a que la fórmula empleada está en función de la porosidad de la madera. La ecuación de regresión entre la retención volumétrica fraccional y el logaritmo de la permeabilidad del perhuétamo tiene un mejor ajuste que la del charo amarillo, aunque ambas ecuaciones son altamente significativas. Esto es debido a que la porosidad del perhuétamo es más uniforme y no posee poros obstruidos por tálides como se presenta en el charo amarillo.

Cuando los datos de permeabilidad de las muestras se expresan en forma de logaritmo y se relacionan con la retención volumétrica fraccional se obtiene una ecuación de regresión mejor ajustada.

Las Ecuaciones 5 y 6 nos muestran el efecto de la presión y el tiempo de tratamiento sobre la retención. Estas relaciones nos indican como deben variarse la presión o el tiempo de tratamiento para obtener retenciones constantes. Para maderas de alta permeabilidad las variables de tratamiento pueden ser menores, sobre todo la presión de impregnación.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

La Ecuación 9 es una fórmula ajustada para determinar retención y es válida dentro del intervalo de los valores experimentales obtenidos en este trabajo. De este modo los valores de la permeabilidad, de la presión y del tiempo de tratamiento no pueden ser extremadamente bajos o altos. La relación obtenida en este trabajo es:

$$Fv1 = 0,29 \log \left[K (P^{1,73} t^{1,05}) \right] - 1,15$$
$$r^2 = 0,75$$

Esta ecuación predice una relación directa de la permeabilidad longitudinal al aire, presión de impregnación y el tiempo de tratamiento con la retención. La permeabilidad longitudinal al aire es más importante cuando los poros no están obstruidos por tálides. La presión y el tiempo de tratamiento se hacen más importantes cuando las muestras son de baja permeabilidad o cuando los poros se encuentran obstruidos por tálides. En términos generales el orden de importancia para obtener una buena retención es como sigue: permeabilidad longitudinal al aire, presión de impregnación y tiempo de tratamiento. Relaciones similares han sido obtenidas en trabajos anteriores utilizando aceites en maderas coníferas:

Siau 1972

$$Fv1 = 0,27 \log \left[K_g \frac{t^{1,3} P^{0,42}}{L^{2,1} \eta^{0,42}} \right] - 0,3$$

Siau y Shaw 1971

$$\begin{aligned} \text{Grupo A: } Fv1 &= 0,56 \log \left[K_g (P/\eta)^{0,32} \right] - 0,12 \\ \text{Grupo B: } Fv1 &= 0,37 \log \left[K_g (P/\eta)^{0,18} \right] - 0,03 \end{aligned}$$

En la ecuación determinada por Siau (1972) se puede apreciar que la retención es más influenciada por el tiempo de tratamiento que por la presión de impregnación, mientras que en este estudio se determinó lo contrario. La diferencia de los exponentes de estas ecuaciones puede ser atribuida a la diferencia de preservantes o de las especies utilizadas, pues este estudio se realizó con una sal hidrosoluble en especies latifoliadas y Siau lo hizo con un aceite en coníferas. Estas especies varían grandemente en su estructura anatómica y la adsorción de preservativos hidrosolubles es diferente a la de los preservativos oleosos.

Esta misma explicación puede mencionarse para las fórmulas determinadas por Siau y Shaw (1971) que agrupan las especies por su permeabilidad. El grupo A es válido para muestras uniformes de albura o de duramen, mientras que el grupo B es para mues -

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

tras con ambos elementos.

Con el análisis de regresión entre la retención y el logaritmo de permeabilidad ($p^{1,73}t^{1,05}$) se obtuvo una mejor relación que cuando se realiza el análisis de regresión entre la retención y el logaritmo de la permeabilidad. Estos datos se muestran en el Cuadro N° 7. Las líneas de regresión son presentadas en los Gráficos N° 10 y 11.

La penetración de líquidos en las maderas estudiadas se realiza primero a través de los vasos abiertos y, si éstos están obstruidos, continúa en el sentido transversal (Figuras N° 13 y 14). Wardrop y Davies (1961) observaron que en la albura de Eucaliptus regnans tratada con una sal hidrosoluble el flujo se realizó primero por los vasos abiertos, luego a través de los radios, parénquima vertical y por las punteaduras de las fibras.

La penetración de la solución en el perhuétamo se realiza principalmente a través de los vasos y, cuando éstos se saturan, fluye en el sentido transversal al mismo tiempo que es adsorbido por la pared celular, causante de la sobresaturación (Figuras N° 16 y 17).

La penetración de la solución en el charo amarillo se inicia también a través de los vasos, pero la presencia de tílides hace que el líquido continúe en sentido transversal buscando otras vías de flujo como son las punteaduras intervasculares , punteaduras radiovasculares, a través de las fibras liberiformes y del parénquima longitudinal; modalidad que fué observada por Wardrop y Davies (1961). Debido a esto, cuando se hace la coloración de la madera para determinar la distribución del elemento cobre, se observan pequeñas concentraciones de color violeta en los lados adyacentes a los vasos, como se ilustra en las Figuras N° 13, 14 y 15.

La penetración del preservante se determinó en base a la coloración del elemento cobre, debido a que el cromo y el arsénico no presentaron un buen contraste con los reactivos colorimétricos usados en este estudio.

6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los resultados encontrados se obtuvieron las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- 1- La permeabilidad longitudinal al aire de las especies charo amarillo (Brosimum sp) y perhuétamo (Mouriri barinensis), es tá en función de su estructura anatómica. El charo amarillo a pesar de poseer una mayor proporción de espacio vacío (po rosidad) por unidad de área presentó un intervalo de permea bilidad inferior al del perhuétamo debido a la presencia de tílides en sus poros. La permeabilidad longitudinal al aire depende del tamaño y número de poros no obstruidos.
- 2- Existe una relación significativa entre la permeabilidad lon gitudinal al aire, la presión de impregnación y el tiempo de tratamiento con la retención volumétrica fraccional. La permeabilidad longitudinal al aire es el factor que tiene mayor influencia sobre la retención, seguido de la presión y el tiempo de tratamiento.
- 3- El charo amarillo requiere de una alta presión o largo tiem po de tratamiento para vencer el bloqueo producido por las tílides y lograr una buena retención, mientras que la especie perhuétamo no necesita de esas condiciones de tratamien to debido a su alta permeabilidad.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

- 4- La ecuación empírica obtenida es una fórmula ajustada para determinar la retención volumétrica fraccional y es válido para éstas especies, dentro de los límites experimentales de las variables utilizadas.
- 5- La permeabilidad longitudinal al aire es la variable que más influye en la penetración. La presión y el tiempo de tratamiento se hacen importantes sobre la penetración dentro de cada grupo de permeabilidad.
- 6- Este estudio debe continuarse con otras especies maderables debido a que estas investigaciones ayudan a mejorar las técnicas de preservación. Conjuntamente a esto, se debe determinar la distribución de los elementos del preservante dentro de la madera para garantizarle una prolongada vida útil.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

7.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1- ARSENAULT, R.D. 1977. Health aspects of C.C.A. wood preservatives-A review- of arsenates and cancer. B.W.P.A. Annual Convention: 129-180.
- 2- ASTON, D. 1978. The treatment of the heartwood of hardwood and softwood species. J. Timb. Dev. Assoc. (India) 24 (3): 30-32.
- 3- BANKS, W.B. 1972. Factors affecting the introduction of preservatives into wood. Pestic Sci. N° 3: 219-227.
- 4- _____ and LEVY, J.F. 1980. The affects of cell wall swelling on the permeability of grand fir wood. Wood Sci. Technol. 14: 49-62.
- 5- BRAMHALL, G. 1971. The validity of Darcy's law in the axial penetration of wood. Wood Sci. Technol. 5: 121-134.
- 6- BURILLO, G., ECHENIQUE, R. and GALVEZ, L. 1973. Radiochemical assay of wood treated with chromated copper arsenate preservatives. Wood and Fiber 5 (3): 249-256.
- 7- CHOONG, E.T. and FOGG, P.J. 1972. Variation in permeability and treatability in shorleaf pine and yellow poplar. Wood and Fiber 4 (1): 2-12.
- 8- _____ and KIMBLER, O.K. 1971. A technique of measuring water flow in woods of low permeability. Wood Sci. 4 (1): 32-36.
- 9- _____, TESORO, F.O. and MANWILLER, F.G. 1974. Permeability of twenty-two small diameter hardwood growing on southern pine sites. Wood and Fiber 6 (1): 91-101.
- 10- COMSTOCK, G.L. 1967. Longitudinal permeability of wood to gases in nonswelling liquids. For. Prod. J. 17 (10) : 41-46.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

- 11- CONEJOS, J. 1969. Características de preservación de 127 maderas de la Guayana venezolana, V.6. Mérida, Venezuela, Laboratorio Nacional de Productos Forestales. 32 p.
- 12- _____. 1979. Características de secado y preservación de 32 maderas de los altos llanos occidentales de Venezuela. In Mérida, Venezuela, Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Posibilidades de aprovechamiento integral de 32 maderas de los altos llanos occidentales de Venezuela. Informe a CORPOANDES. p. var. Parte XI.
- 13- COOPER, P.A. and ROSS, N.A. 1977. Treatability of western hemlock lumber from coastal and interior British Columbia region with waterborne preservatives. For. Prod. J. 27 (12): 36-39.
- 14- DAHLGREN, S. 1972. The course of fixation of Cu, Cr, As wood preservative. B.W.P.A. Annual Convention: 109-126.
- 15- ERICKSON, H.D. 1970. Permeability of southern pine wood a review. Wood Sci. 2 (3): 149-158.
- 16- _____ and BALATINECZ, J.J. 1964. Liquid flow paths into wood using polymerization techniques - Douglas - fir and styrene. For. Prod. J. 14 (7): 293-299.
- 17- ESPINOSA, L.A. 1969. Relación entre secado, preservación y anatomía del cobalongo (Billia columbiana) y quindú (Laplaceae semiserrata). Tesis Magister Scientiae. Mérida, Venezuela, Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. 59 p.
- 18- GALVAO, A.P., SIAU, J.F. and SKAAR, C. 1974. Factors influencing the transient flow of oils into coniferous wood. Wood Sci. 7 (2): 85-91.
- 19- HUNT, G.M. and GARRAT, G.A. 1962. Preservación de la madera. Trad. por Abelardo Sachis Batalla. Barcelona, España, Salvat. 486 p.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

- 20- ISAAC, C.P., CHOONG, E.T. and FOGG, P.J. 1971. Permeability variation within a cottonwood tree. Wood Sci. 3 (4): 231-237.
- 21- KOLLMAN, F. and COTE, W. 1968. Principles of wood science and technology. Solid Wood. V.1. New York, Springer-Verlag. 592 p.
- 22- KUMAR, S. 1979. Validity of Darcy flow equation for gas flow through wood in axial penetration. J. Timb. Dev. Assoc. (India) 25 (3): 17-41.
- 23- LIESE, W. 1979. The effects of high pressure treatment on the structure of wood. J. Timb. Dev. Assoc. (India) 25 (1): 9-11.
- 24- MERIDA, VENEZUELA. LABORATORIO NACIONAL DE PRODUCTOS FORESTALES. 1972. Estudio tecnológico de 104 maderas de los altos llanos occidentales. pp. 114-140. 175 p.
- 25- NICHOLAS, D.D. 1973. Wood deterioration and its prevention by preservatives treatments. Vol. II, Syracuse, USA, Syracuse University Press. 402 p.
- 26- NICHOLSON, J. and LEVY, M.P. 1971. The fixation of C.C.A. preservatives in spotted gum. B.W.P.A. Annual Convention: 77-90.
- 27- OSTLE, B. 1965. Estadística aplicada. México, Limusa. 629 p.
- 28- PANSHIN, A.J. and ZEEUW, C. 1970. Textbook of wood technology. V.1. 3rd. ed. New York, Mc Grawhill. 705 p.
- 29- PEREZ, A. 1969. Estructura anatómica de 37 maderas de la Guayana venezolana y clave para su identificación. Mérida, Venezuela, Facultad de Ciencias Forestales. 122 p.
- 30- _____. 1977. Identificación macroscópica de algunas maderas de la Guayana venezolana. Mérida, Venezuela, Facultad de Ciencias Forestales. 56 p.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

- 31- PETERS, G.A. and PARAMESWARAN, N. 1980. Transmission electron microscopical localization of salt preservative components in wood cell walls. Wood Sci. Technol. 14 : 81-88.
- 32- PETTY, J.A. 1976. Influence of mean free path on gas flow in wood. Wood and Fiber 8 (3): 168-171.
- 33- PRAK, A.L. 1970. Unsteady-state gas permeability of wood. Wood Sci. Technol. 4 (1): 50-69.
- 34- ROSEN, H.N. 1974. Penetration of water into hardwood. Wood and Fiber 5 (4): 275-287.
- 35- SEARS, Z. y ZEMANSKY, M. 1966. Física. Madrid, Aguilar. 1010 p.
- 36- SIAU, J.F. 1969. Corrections for gas permeability measurement by the volume displacement method. For. Prod. J. 19 (6): 36-37.
- 37- _____. 1971. Flow in wood. Syracuse, USA, Syracuse University Press. 122 p.
- 38- _____. 1970. Pressure impregnation of refractory woods. Wood Sci. 3 (1): 1-7.
- 39- _____. 1972. The effects of specimen length and impregnation time upon the retention of oils in woods. Wood Sci. 4 (3): 163-170.
- 40- _____ and SHAW, J.S. 1971. The treatment of refractory softwood. Wood and Fiber 3 (1): 1-12.
- 41- SKAAR, C. 1972. Water in wood. Syracuse, USA, Syracuse University Press. 218 p.
- 42- STAMM, A.J. 1972. Maximum effective vessel diameters of hardwood. Wood Sci. Technol. 6: 263-271.
- 43- _____. 1967. Movement of fluids in wood- Part I. Flow of fluids in wood. Wood Sci. Technol. 1: 122-141.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

- 44- _____. 1963. Permeability of wood to fluids. *For.Prod.* J. 13 (13): 503-507.
- 45- TESORO, F.O.. CHOONG, E.T. and SKAAR, C. 1966. Transverse air permeability of wood. *For. Prod. J.* 16 (3): 57-59.
- 46- THOMAS, R.L. 1976. Anatomical features affecting liquid penetrability in three hardwood species. *Wood and Fiber* 7 (4): 256-265.
- 47- WARDROP, A.B. and DAVIES, G.W. 1961. Morphological factors relating to the penetration of liquids into wood. *Holzforchung* 15 (5): 129-141.
- 48- WILEY, A.I. and CHOONG, E.T. 1974. Some aspects of non-Darcy behavior of gas flow in wood. *Wood and Fiber* 6 (4): 298-304.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

8. - A N E X O

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Cuadro N° 1. Datos generales de las muestras

DBS	N	K	KD	CK	PRES	TIEM	FVL	KPIN
1	11	1.1695	0.02115	1	1	1	0.5359	127140
2	93	0.9621	0.01740	1	1	1	0.2098	104556
3	102	1.1264	0.02037	1	1	1	0.2110	122459
4	35	0.1911	0.00346	1	1	2	0.4996	31804
5	112	1.3476	0.02437	1	1	2	0.2475	224259
6	34	0.2757	0.00498	1	1	2	0.0555	45874
7	69	1.0060	0.01819	1	1	3	0.5262	226452
8	94	1.4533	0.02628	1	1	3	0.4395	327136
9	105	1.7203	0.03112	1	1	3	0.4174	387344
10	3	0.4663	0.00843	1	2	1	0.5973	147660
11	88	1.1083	0.02004	1	2	1	0.2539	250565
12	104	1.5420	0.02733	1	2	1	0.3201	438281
13	77	1.8941	0.03425	1	2	2	0.4320	518111
14	12	1.1225	0.02030	1	2	2	0.0739	544092
15	110	0.6301	0.01139	1	2	2	0.2280	305408
16	4	1.3952	0.02523	1	3	3	0.8147	514762
17	75	0.1516	0.00274	1	2	3	0.4917	99415
18	62	1.5185	0.02746	1	3	3	0.1292	595677
19	36	0.0453	0.00082	1	3	1	0.6378	27640
20	74	1.0686	0.01932	1	3	1	0.6002	651977
21	10	1.0353	0.01873	1	3	1	0.1816	631971
22	33	0.4108	0.00743	1	3	2	0.6103	383632
23	122	0.6907	0.01249	1	3	2	0.3112	645066
24	148	1.2581	0.02275	1	3	2	0.4841	1174589
25	47	0.4361	0.00789	1	3	3	0.6788	550915
26	41	0.1424	0.00257	1	3	3	0.0411	175843
27	139	0.3295	0.00596	1	3	3	0.9157	416219
28	65	4.1510	0.07506	2	1	1	0.3586	451280
29	144	6.0746	0.10985	2	1	1	0.5586	650407
30	151	7.5065	0.13574	2	1	1	0.5818	816077
31	67	5.9160	0.10698	2	1	2	0.3867	984454
32	116	2.2417	0.04054	2	2	2	0.3883	373040
33	85	3.7115	0.06711	2	2	2	0.2761	617637
34	53	7.3913	0.13367	2	2	3	0.8615	1563873
35	57	5.2886	0.11372	2	2	3	0.5684	1415562
36	66	6.0890	0.11012	2	2	3	0.4060	1370762
37	122	4.1747	0.07549	2	2	1	0.7583	1321503
38	108	2.2623	0.04091	2	2	2	0.2820	716377
39	145	4.1839	0.07566	2	2	1	0.3924	1324878
40	42	3.2319	0.05344	2	2	2	0.7224	1566554
41	73	4.7413	0.03574	2	2	2	0.7039	2298153
42	77	2.8155	0.05091	2	2	2	0.7546	1364713
43	30	6.3993	0.11571	2	2	3	0.7371	4195446
44	54	2.6415	0.04777	2	2	3	0.3289	1731524
45	137	4.6173	0.08711	2	2	3	0.4106	2153514
46	105	7.1623	0.12452	2	2	1	0.5742	4385525
47	64	3.3276	0.06017	2	2	1	0.6997	2030261
48	143	3.0742	0.05559	2	2	3	0.5748	1875643
49	26	6.8729	0.12428	2	2	2	0.7935	6418899
50	63	5.7888	0.10453	2	2	3	0.8966	5406447
51	163	3.3010	0.05959	2	2	2	1.0643	3092502
52	43	6.6412	0.12009	2	2	3	1.0289	8329776
53	80	3.0591	0.05532	2	2	3	0.7531	3864555
54	156	6.6846	0.12038	2	2	3	0.3937	8416633
55	37	9.2435	0.16724	3	1	1	1.1598	1005456
56	102	64.4413	1.16530	3	1	1	0.7335	7005757
57	129	3.6584	0.15657	3	1	1	0.5809	541303
58	29	53.6319	1.15067	3	1	2	1.2358	10509155
59	62	30.3207	0.54329	3	1	2	1.0117	5045751
60	158	11.2307	0.20309	3	1	2	0.3860	1868533
61	32	34.4560	0.62307	3	1	3	1.0200	7750000
62	61	9.5447	0.17750	3	1	3	0.2491	2148459
63	154	82.4522	1.49100	3	1	3	0.3813	18559260
64	17	82.5532	1.49463	3	2	1	1.2694	26173152
65	34	61.5610	1.11322	3	2	1	1.0949	19494033
66	164	33.6782	0.60901	3	2	1	0.5909	10664616
67	46	3.3322	0.15057	3	2	2	0.9211	4038785
68	49	54.1975	0.93806	3	2	2	1.1232	26270662
69	49	8.3567	0.16016	3	2	2	0.7622	4292021
70	59	45.5221	0.82313	3	2	3	1.0209	25846534
71	70	19.5509	0.35354	3	2	3	1.0356	12818712
72	168	20.2211	0.36966	3	2	3	1.1263	13253134
73	56	30.6563	0.55437	3	2	1	1.0478	13704703
74	136	14.3914	0.26024	3	3	1	0.7322	8730666

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Cuadro Nº 1 A

DBS	N	K	KD	CK	PRES	TIEM	FVL	KPTN
75	141	26.625	0.4827	3	3	1	0.8762	16237430
76	63	4.604	0.1737	3	3	2	1.1117	8569808
77	92	12.147	0.2137	3	3	2	1.0696	13344724
78	69	5.639	0.1745	3	3	2	1.0894	9001848
79	60	33.680	0.4990	3	3	3	0.8605	47548034
80	33	24.076	0.3354	3	3	3	1.1164	30415238
81	165	27.524	0.4977	3	3	3	0.8612	34770597
82	44	123.252	2.2283	4	1	1	0.9495	14309346
83	35	223.356	+1.294	4	1	1	1.2267	24625030
84	120	114.313	2.0672	4	1	1	1.0952	12427829
85	16	134.749	2.4357	4	1	1	1.2620	22423897
86	84	179.235	3.2411	4	1	2	1.1665	29826984
87	95	164.355	2.5311	4	1	2	1.1706	27433585
88	23	267.022	+3.235	4	1	3	1.0755	60106255
89	37	176.168	3.1365	4	1	3	1.1441	39655586
90	83	169.355	3.0625	4	1	3	1.1856	38121602
91	22	176.554	3.2252	4	2	1	1.1666	56478060
92	41	130.880	3.2710	4	2	1	1.2457	57280084
93	128	154.455	2.7955	4	2	1	1.0914	48610035
94	13	149.534	2.7041	4	2	1	1.3152	72432515
95	18	262.946	+7.759	4	2	2	1.2882	127213201
96	39	114.404	2.3643	4	2	2	1.2495	55455558
97	2	156.914	2.3375	4	2	3	1.2637	102882235
98	8	120.793	2.1343	4	2	3	1.0975	75193502
99	130	206.341	3.7313	4	2	3	1.1960	135239130
100	52	234.115	4.2325	4	3	1	0.7558	142840957
101	76	115.925	2.3054	4	3	1	1.1289	76731673
102	103	121.575	2.1985	4	3	1	1.0956	74177135
103	19	201.112	3.6263	4	3	2	1.2963	187827341
104	70	267.145	4.8333	4	3	2	1.2291	249493854
105	91	267.386	4.5352	4	3	2	1.2800	245722792
106	15	98.214	1.7750	4	3	3	1.2819	124073142
107	40	224.571	4.9654	4	3	3	1.2630	284078447
108	61	135.045	3.5270	4	3	3	1.2725	246397679
109	21	415.402	7.5118	5	1	1	1.1430	45150619
110	96	660.363	11.2815	5	1	1	1.2139	71791561
111	107	325.052	5.9387	5	1	1	1.1470	35342455
112	100	345.484	6.3199	5	1	2	1.0300	59158649
113	101	476.644	8.6192	5	1	2	1.2023	79319725
114	113	355.631	5.9734	5	1	2	1.0738	64173975
115	110	376.703	5.9120	5	1	3	1.2640	84795182
116	118	349.153	5.3159	5	1	3	1.1816	78594985
117	126	388.000	7.0163	5	1	3	1.2355	87338188
118	115	433.370	7.3457	5	2	1	1.1649	137390205
119	117	531.492	9.6111	5	2	1	1.2554	168205567
120	123	411.382	7.4341	5	2	1	1.2307	130249245
121	86	290.764	5.2577	5	2	2	1.2630	140939448
122	97	291.241	5.2665	5	2	2	1.3179	141170076
123	127	646.581	11.6042	5	2	2	1.2440	312411685
124	50	260.750	5.0749	5	2	3	1.2740	184076228
125	93	327.434	5.9210	5	2	3	1.3068	214684413
126	124	612.400	11.0752	5	2	3	1.2687	401564423
127	14	293.275	7.1115	5	3	1	1.1835	239548356
128	94	290.260	5.2483	5	3	1	1.2697	177097307
129	121	281.784	5.3956	5	3	1	1.2378	171925517
130	54	376.235	6.3955	5	3	2	1.2678	351331925
131	79	367.425	5.6442	5	3	2	1.2486	342153588
132	104	513.747	9.2902	5	3	2	1.2444	479810184
133	24	320.011	5.7568	5	3	3	1.1782	404268526
134	80	287.988	5.2077	5	3	3	1.2694	363815028
135	125	519.777	7.3992	5	3	3	1.2383	656633263

N = Número de la muestra

K = Pemeabilidad, cm(aire)/cm atm seg

KD = Permeabilidad longitudinal en Darcy

CK = Clase de permeabilidad

PRES = Presión de impregnación

TIEM = Tiempo de tratamiento

Fvl = Retención volumétrica frac.

KPTN = Datos normalizados

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)