

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

"HUMEDAD DE SEMILLAS FORESTALES: DETERMINACION  
MEDIANTE TABLAS DE CONVERSION BASADAS EN  
EL DETERMINADOR DOLE 400"



Guatemala, Julio de 1982

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central  
Sección de Tesis

01  
T(636)  
c.3

**JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**RECTOR**

**Dr. Eduardo Meyer Maldonado**

<b>Decano:</b>	<b>Dr. Antonio Sandoval Sagastume</b>
<b>Vocal 1o.:</b>	<b>Ing. Agr. Oscar Leiva Ruano</b>
<b>Vocal 2o.:</b>	<b>Ing. Agr. Gustavo Méndez G.</b>
<b>Vocal 3o.:</b>	<b>Ing. Agr. Fernando Vargas</b>
<b>Vocal 4o.:</b>	<b>Prof. Leonel Enríquez D.</b>
<b>Vocal 5o.:</b>	<b>P.A. Roberto Morales</b>
<b>Secretario:</b>	<b>Ing. Agr. Carlos René Fernández</b>

**TRIBUNAL QUE REALIZO EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO**

<b>Decano:</b>	<b>Dr. Antonio Sandoval Sagastume</b>
<b>Examinador:</b>	<b>Ing. Agr. Angel Gutiérrez</b>
<b>Examinador:</b>	<b>Ing. Agr. Gustavo Méndez G.</b>
<b>Examinador:</b>	<b>Dr. José de Jesús Castro U.</b>
<b>Secretario a.i.:</b>	<b>Ing. Agr. Negli Gallardo P.</b>

**DEDICO ESTA TESIS A:**

**Mis Padres:**

Héctor E. Aguilar Villegas  
María Teresa Díaz de Aguilar.

**Mi esposa:**

Maryan Lowenthal de Aguilar.

**Mis hermanos, cuñados, familiares y amigos.**

## **AGRADECIMIENTO**

**Al Banco de Semillas Forestales (BANSEFOR) del INAFOR por las facilidades que me fueron prestadas para la realización de este trabajo.**

**A todas las personas que bondadosamente colaboraron para hacer posible este trabajo; en especial a la Licda. Karen L. de Mulet por su orientación y dedicación al estudio; lo mismo que al Ing. Agr. Luis A. Castañeda por su acertada asesoría.**

Guatemala,  
24 de mayo de 1982

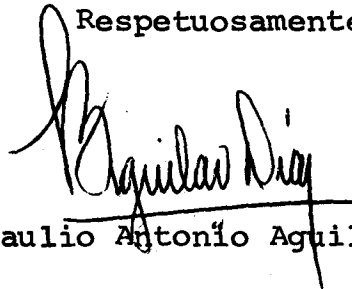
Honorable Junta Directiva,  
Honorable Tribunal Examinador:

De conformidad con lo estipulado por los estatutos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

"HUMEDAD DE SEMILLAS FORESTALES: DETERMINACION MEDIANTE TABLAS DE CONVERSION BASADAS EN EL DETERMINADOR DOLE 400"

Al presentarlo como requisito previo para optar el título de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas, espero que merezca vuestra aprobación.

Respetuosamente,



Braulio Antonio Aguilar Díaz

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia .....
Asunto .....
.....

Guatemala,  
28 de mayo de 1982

Doctor  
Antonio A. Sandoval S.  
Decano de Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos  
Guatemala

Señor Decano:

En atención a la designación emanada de la Decanatura de esta Facultad, he asesorado el trabajo de tesis titulado "HUMEDAD DE SEMILLAS FORESTALES: DETERMINACION MEDIANTE TABLAS DE CONVERSION BASADAS EN EL DETERMINADOR DOLE 400" desarrollado por el Br. Braulio Antonio Aguilar Díaz. Considero que este trabajo constituye un aporte importante en el campo de las semillas forestales, a la vez estimo que llena los requisitos exigidos por la Universidad de San Carlos para constituir Tesis de Graduación.

Por lo anterior, recomiendo a esa decanatura la aprobación de dicho trabajo como Tesis de Graduación del Br. Braulio Antonio Aguilar Díaz.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. Agr. Luis A. Castañeda R.  
A S E S O R

LACA/avg

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
RESUMEN	1
1. INTRODUCCION	2
2. OBJETIVOS	3
3. HIPOTESIS	4
4. REVISION DE LITERATURA	5
4.1 Importancia y Aspectos Generales de la Determinación del Contenido de Humedad de las Semillas.	5
4.2 Métodos para Determinar el Contenido de Humedad.	6
5. MATERIALES Y METODOS	10
5.1 Especies Analizadas	10
5.2 Procedimiento	12
5.3 Modelos Estadísticos Utilizados	15
6. RESULTADOS Y DISCUSION	16
6.1 <i>Alnus jorulensis</i>	16
6.2 <i>Cupressus lusitánica</i>	19
6.3 <i>Eucalyptus cinerea</i>	22
6.4 <i>Eucalyptus citriodora</i>	25
6.5 <i>Eucalyptus maculata</i>	28
6.6 <i>Eucalyptus microcorys</i>	31
6.7 <i>Pinus ayacahuite</i>	34
6.8 <i>Pinus caribaea</i>	37
6.9 <i>Pinus chiapensis</i>	40
6.10 <i>Pinus filifolia</i>	43
6.11 <i>Pinus maximinoi</i>	46
6.12 <i>Pinus oocarpa</i>	49
6.13 Discusión	52
7. CONCLUSIONES	53
BIBLIOGRAFIA	54

## LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

		Página
Figura No. 1	Indicación de las partes del determinador de humedad utilizado en el estudio.	13
Cuadro No. 1	Correcciones por temperatura del porcentaje de humedad dado por el horno.	14
Cuadro No. 2	Resultados de las lecturas de humedad de la semilla de <i>Alnus jorulensis</i> .	16
Figura No. 2	Curva de regresión del contenido de humedad de la especie <i>Alnus jorulensis</i> .	17
Cuadro No. 3	Correspondencia entre la lectura del dial y la humedad de la semilla de <i>Alnus jorulensis</i> .	18
Cuadro No. 4	Resultados de las lecturas de humedad de la semilla de <i>Cupressus lusitánica</i> .	19
Figura No. 3	Curva de regresión del contenido de humedad de la especie <i>Cupressus lusitánica</i> .	20
Cuadro No. 5	Correspondencia entre la lectura del dial y la humedad de la semilla de <i>Cupressus lusitánica</i> .	21
Cuadro No. 6	Resultados de las lecturas de humedad de la semilla de <i>Eucalyptus cinerea</i> .	22
Figura No. 4	Curva de regresión del contenido de humedad de la especie <i>Eucalyptus cinerea</i> .	23
Cuadro No. 7	Correspondencia entre la lectura del dial y la humedad de la semilla de <i>Eucalyptus cinerea</i> .	24
Cuadro No. 8	Resultados de las lecturas de humedad de la semilla de <i>Eucalyptus citriodora</i> .	25
Figura No. 5	Curva de regresión del contenido de humedad de la especie <i>Eucalyptus citriodora</i> .	26
Cuadro No. 9	Correspondencia entre la lectura del dial y la humedad de la semilla de <i>Eucalyptus citriodora</i> .	27
Cuadro No. 10	Resultados de las lecturas de humedad de la semilla de <i>Eucalyptus maculata</i> .	28
Figura No. 6	Curva de regresión del contenido de humedad de la especie <i>Eucalyptus maculata</i> .	29



	<b>Página</b>	
Cuadro No. 11	Correspondencia entre la lectura del dial y la humedad de la semilla de <b>Eucalyptus maculata</b> .	30
Cuadro No. 12	Resultados de las lecturas de humedad de la semilla de <b>Eucalyptus microcorys</b> .	31
Figura No. 7	Curva de regresión del contenido de humedad de la especie <b>Eucalyptus microcorys</b> .	32
Cuadro No. 13	Correspondencia entre la lectura del dial y la humedad de la semilla de <b>Eucalyptus microcorys</b> .	33
Cuadro No. 14	Resultados de las lecturas de humedad de la semilla de <b>Pinus ayacahuite</b> .	34
Figura No. 8	Curva de regresión del contenido de humedad de la especie <b>Pinus ayacahuite</b> .	35
Cuadro No. 15	Correspondencia entre la lectura del dial y la humedad de la semilla de <b>Pinus ayacahuite</b> .	36
Cuadro No. 16	Resultados de las lecturas de humedad de la semilla de <b>Pinus caribaea</b> .	37
Figura No. 9	Curva de regresión del contenido de humedad de la especie <b>Pinus caribaea</b> .	38
Cuadro No. 17	Correspondencia entre la lectura del dial y la humedad de la semilla de <b>Pinus caribaea</b> .	39
Cuadro No. 18	Resultados de las lecturas de humedad de la semilla de <b>Pinus chiapensis</b> .	40
Figura No. 10	Curva de regresión del contenido de humedad de la especie <b>Pinus chiapensis</b> .	41
Cuadro No. 19	Correspondencia entre la lectura del dial y la humedad de la semilla de <b>Pinus chiapensis</b> .	42
Cuadro No. 20	Resultados de la lectura de humedad de la semilla de <b>Pinus filifolia</b> .	43
Figura No. 11	Curva de regresión de contenido de humedad de la especie <b>Pinus filifolia</b> .	44
Cuadro No. 21	Correspondencia entre la lectura del dial y la humedad de la semilla de <b>Pinus filifolia</b> .	45
Cuadro No. 22	Resultados de la lectura de humedad de la semilla de <b>Pinus maximinoi</b> .	46

		<b>Página</b>
Figura No. 12	Curva de regresión de contenido de humedad de la especie <b>Pinus maximinoi</b> .	47
Cuadro No. 23	Correspondencia entre la lectura del dial y la humedad de la semilla de <b>Pinus maximinoi</b> .	48
Cuadro No. 24	Resultados de las lecturas de humedad de la semilla de <b>Pinus oocarpa</b> .	49
Figura No. 13	Curva de regresión de contenido de humedad de la especie <b>Pinus oocarpa</b> .	50
Cuadro No. 25	Correspondencia entre la lectura del dial y la humedad de la semilla de <b>Pinus oocarpa</b> .	51

## RESUMEN

### "HUMEDAD DE SEMILLAS FORESTALES: DETERMINACION MEDIANTE TABLAS DE CONVERSION BASADAS EN EL DETERMINADOR DOLE 400"

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de semillas del Banco de Semillas Forestales (BANSEFOR) del Instituto Nacional Forestal (INAFOR), en los meses de noviembre de 1981 a febrero de 1982. Los objetivos que persigue son: 1) Elaborar las curvas de regresión entre el contenido de humedad de semillas de 12 especies forestales y la lectura del dial del determinador de humedad marca Dole, que servirán para encontrar cualquier valor de humedad de las especies analizadas. 2) Elaborar tablas de conversión para determinar los contenidos de humedad de 12 especies forestales, para poder utilizar un determinador de humedad electrónico. 3) Contribuir a agilizar las labores de procesamiento y almacenamiento que realice cualquier institución, cooperativa o empresa relacionada con la obtención, comercialización y distribución de semillas forestales. La hipótesis planteada fue la siguiente: "Para las especies forestales ensayadas, existe una correlación entre el contenido de humedad de la semilla y la lectura del dial del determinador de humedad electrónico".

Se analizó el contenido de humedad por el método de secado al horno, de las especies *Alnus jorulensis*, *Cupressus lusitánica*, *Eucalyptus cinerea*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus maculata*, *Eucalyptus microcorys*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus caribaea*, *Pinus chiapensis*, *Pinus filifolia*, *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa*. Las semillas fueron sometidas a una temperatura de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  por un tiempo de  $17 \pm 1$  hora, y se compararon las mediciones de humedad así obtenidas con las lecturas dadas por el determinador de humedad marca Dole modelo 400. Los datos obtenidos se analizaron utilizando los modelos estadísticos de regresión lineal, logarítmica, exponencial y cuadrática, encontrándose que el modelo de regresión cuadrática de la forma  $\hat{y} = B_2 X^2 + B_1 X + B_0$  mostró la correlación más alta para 11 de las especies estudiadas. Para una sola especie, la regresión lineal mostró la correlación más alta.

Resultaron las siguientes ecuaciones para las distintas especies analizadas, obtenidas del modelo de regresión cuadrática:

- 1) *Alnus jorulensis*:  $\hat{y} = 1.1944484 \times 10^{-3} X^2 + 0.375536746 X - 15.0517408 \therefore r = 0.9887$
- 2) *Cupressus lusitánica*:  $\hat{y} = 2.051585743 \times 10^{-4} X^2 + 0.155521086 X - 8.64769143 \therefore r = 0.99773$
- 3) *Eucalyptus cinerea*:  $\hat{y} = -2.64487917 \times 10^{-3} X^2 + 0.710695982 X - 33.3529502 \therefore r = 0.9752$
- 4) *Eucalyptus maculata*:  $\hat{y} = -1.17760103 \times 10^{-3} X^2 + 0.390878375 X - 17.284195 \therefore r = 0.9968$
- 5) *Eucalyptus microcorys*:  $\hat{y} = -1.42868102 \times 10^{-3} X^2 + 0.493292613 X - 24.5542613 \therefore r = 0.99753$
- 6) *Pinus ayacahuite*:  $\hat{y} = 1.84624746 \times 10^{-4} X^2 + 0.0812014 X - 0.14025495 \therefore r = 0.9989$
- 7) *Pinus caribaea*:  $\hat{y} = -9.99264462 \times 10^{-4} X^2 + 0.331413772 X - 12.5699021 \therefore r = 0.99764$
- 8) *Pinus chiapensis*:  $\hat{y} = -5.8136069 \times 10^{-4} X^2 + 0.218520187 X - 6.12904151 \therefore r = 0.99556$
- 9) *Pinus filifolia*:  $\hat{y} = -5.21057672 \times 10^{-4} X^2 + 0.236307605 X - 8.54373361 \therefore r = 0.99605$
- 10) *Pinus maximinoi*:  $\hat{y} = -6.6450475 \times 10^{-4} X^2 + 0.253517104 X - 9.19442676 \therefore r = 0.9991$
- 11) *Pinus oocarpa*:  $\hat{y} = -4.44593991 \times 10^{-4} X^2 + 0.206296794 X - 6.23100348 \therefore r = 0.99964$

La ecuación de la especie *Eucalyptus citriodora* fue obtenida del modelo de regresión lineal y es la siguiente:  $\hat{y} = 0.17297 X - 7.25674 \therefore r = 0.99973$ .

Se elaboraron, en base a estas curvas, las tablas correspondientes para poder convertir la lectura del medidor de humedad Dole a porcentaje de humedad de la semilla.

## 1. INTRODUCCION

El recurso forestal de Guatemala se ha visto drásticamente reducido debido al uso irracional que se hace de él a consecuencia de la gran demanda de madera existente en el país. Esto evidencia la creciente necesidad de establecer programas de reforestación, que contribuyan a aumentar la potencialidad y calidad del bosque. Un factor determinante en estos programas lo constituye la disponibilidad de suficiente semilla de buena calidad, por lo que este trabajo se ha dirigido a reforzar e incrementar las actividades ligadas al estudio de las semillas forestales.

La semilla ha sido el centro de atención de numerosos estudios... con la finalidad de conocer sus procesos internos y los mecanismos que permiten la multiplicación de las especies; así como las características externas que tienen influencia en estos procesos. Una de las herramientas que más utilidad han prestado en estos campos indudablemente lo constituyen los análisis de semillas.

El objetivo primario de un análisis de laboratorio para semillas forestales consiste en determinar la capacidad de las mismas para germinar, por medio de métodos convencionales, a fin de que los encargados de propagarlas para fines de reforestación cuenten con la información necesaria para programar adecuadamente la producción de planta en los viveros.

Los análisis de semillas permiten también evaluar la calidad de un lote de semillas y los resultados del mismo influyen en el precio que se le fija. Por otro lado, a través de estos ensayos es posible detectar fallas que pueden existir en la recolección y manejo de semillas, además de permitir anotar la presencia de cualquier plaga o enfermedad y evitar su difusión a otras zonas forestales.

Siendo el contenido de agua y otras sustancias factores determinantes en la viabilidad, germinación y conservación de las semillas, ya que éstas pueden favorecer o inhibir su germinación o su descomposición, es preciso y necesario determinar la proporción de agua contenida en cada lote obtenido del campo. Este contenido se debe determinar tan pronto como se reciba la misma del patio de secado o, si se encuentra ya en las cámaras de almacenamiento, para corroborar su contenido de humedad. Este trabajo busca poner al alcance de las personas involucradas en el manejo de semillas forestales, un método fácil y suficientemente confiable para medir la humedad de 12 especies forestales de interés en los programas de reforestación nacional.

## 2. OBJETIVOS

- a) Elaborar las curvas de regresión entre el contenido de humedad de semillas de 12 especies forestales y la lectura del dial del determinador de humedad marca Dole 400, que servirán para encontrar cualquier valor de humedad de las especies analizadas.
- b) Elaborar tablas de conversión para determinar los contenidos de humedad de semillas de 12 especies forestales, para poder utilizar un determinador de humedad electrónico.
- c) Contribuir a agilizar las labores de procesamiento y almacenamiento que realice cualquier institución, cooperativa o empresa relacionada con la obtención, comercialización y distribución de semillas forestales.

### **3. HIPOTESIS**

**“Para las especies forestales ensayadas, existe una correlación entre su contenido de humedad y la lectura del dial del determinador de humedad electrónico”.**

## 4. REVISION DE LITERATURA

### 4.1 Importancia y Aspectos Generales de la Determinación del Contenido de Humedad de las Semillas

La mayoría de las especies forestales presentan producción irregular de semillas (4, 9, 5, 11), lo que permite contar con una regulación de suministro anual que satisfaga las necesidades de los programas de producción e investigación. Por lo tanto, se ha hecho indispensable buscar técnicas que permitan mantener las semillas viables durante el mayor tiempo posible.

Esto ha obligado a investigar métodos que en combinación con los factores temperatura y humedad relativa del medio, aseguren la conservación de la semilla de las diferentes especies.

Ningún otro factor afecta tan profundamente la calidad de las semillas como el contenido de humedad (2, 3, 8, 11). Las semillas secas y sanas normalmente se pueden almacenar por períodos largos sin pérdida de viabilidad, pero es seguro que las semillas mojadas se deteriorarán completamente en un tiempo corto.

Los límites seguros de contenido de humedad varían con la clase de semilla y tienen que determinarse experimentalmente para cada clase. Cerca de este nivel de humedad crítico, el contenido de humedad debe determinarse con exactitud. Un error de 0.5o/o en contenido de humedad puede significar la diferencia entre almacenaje seguro y ataque por hongos con la consecuente pérdida rápida de viabilidad. Para las coníferas, por ejemplo, A. M. J. Robbins recomienda un rango de humedad que va del 8o/o al 12o/o (9). Los valores de humedad incorrectos pueden ocasionar dificultades en la compra y venta de semillas en base seca.

Por lo tanto, métodos precisos de determinación de humedad son de importancia vital para la industria de mercadeo de semillas. Los métodos y estándares no son los mismos en todos los países y consiguientemente es necesario un acuerdo en cuanto a la precisión de los métodos, así como a la estandarización de los que se aplicarán a la semilla que se mueve en el mercado internacional.

Muchos de estos métodos son de naturaleza empírica pero dan resultados reproducibles dentro de límites aceptables, no sólo por el mismo analista sino también entre diferentes laboratorios. Relativamente poco trabajo se ha realizado en otras semillas agrícolas o forestales (3).

En los procedimientos usados para determinar el contenido de humedad de semillas, se remueve el agua de las semillas y se estima su cantidad. Esta estimación se hace determinando la pérdida de peso (métodos de horno), volumen de agua extraído (métodos de destilación), o reteniendo el agua en un solvente dentro del cual es determinado químicamente o espectrofotométricamente.

Es un sistema biológico, tal como una semilla, el agua existe en dos estados. El agua "libre" es detenida por las fuerzas capilares en los poros y los espacios intersticiales y exhibe todas las características normales del agua, teniendo la misma tensión de vapor de agua líquida. El agua libre se puede remover con secamiento relativamente leve (2, 10).

El agua "ligada", por otra parte, está adsorbida sobre las superficies de la estructura de la semilla y está detenida más firmemente. Hay interacción química y física entre las moléculas de agua y los constituyentes moleculares de la semilla, especialmente aquellos que contienen grupos polares. Las semillas contienen compuestos de alto peso molecular, tales como carbohidratos y proteínas, que tienen muchos grupos polares. Estos grupos polares son centros de polaridad que pueden atraer moléculas de agua. Las fuerzas de atracción, llamadas Fuerzas de Van der Waal, también sirven para retener las moléculas de agua en superficies.

Como resultado de la interacción de todas estas fuerzas de atracción, el agua se detiene en las semillas con grados de fuerzas variantes, variando desde la atracción capilar relativamente débil hasta una fuerza equivalente a la de un enlace químico covalente.

Para un conjunto dado de condiciones de temperatura, presión y humedad relativa, debe existir una condición de equilibrio dinámico entre el agua libre y los varios tipos de agua ligada y entre la cantidad total de agua presente en la semilla y la humedad en la atmósfera circundante. La cantidad total de agua es lo que llamamos contenido de humedad y es constante bajo un conjunto de condiciones. Así, al secar semillas a dada temperatura, presión y humedad relativa, no se puede asumir que porque las semillas han llegado a un peso constante, toda el agua ha sido removida (3).

## **4.2 Métodos para Determinar el Contenido de Humedad**

### **4.2.1 Clasificación**

Los métodos de determinación de humedad se pueden clasificar como primarios o secundarios. En los métodos primarios, el contenido de humedad se calcula directamente de los datos. Es decir, hay una medida directa de agua ya sea por pérdida de peso (métodos de horno), absorción de luz (métodos espectrofotométricos), o reacción química (Karl Fischer). Los métodos secundarios determinan cuantitativamente alguna propiedad o característica física o química de las semillas que está relacionada o correlacionada con su contenido de humedad. Para estos métodos, se deben preparar tablas de calibración, relacionando las medidas de la propiedad al contenido de humedad conocido de las muestras de semillas, según fueron determinadas por un método de referencia primario. Las medidas eléctricas comprenden el principal método secundario.

En los Estados Unidos, los medidores de humedad electrónicos que se usan tan extensamente para determinaciones de humedad rápidas, se calibran contra los métodos oficiales de horno ventilado (3).

Tres métodos rutinarios han sido adoptados por la Asociación Internacional de Análisis de Semilla (ISTA). Un método de horno ventilado, usando una temperatura de 130°C, se usa con semillas que no pierden constituyentes volátiles, más que agua, a esa temperatura. Las semillas que pierden constituyentes volátiles se secan en un horno ventilado a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ . El método de destilación con tolueno se usa con semillas de extrema volatilidad.

Debido a que los métodos son empíricos, los procedimientos descritos deben ser seguidos exactamente si los resultados de distintos analistas van a ser comparables. Debe utilizarse equipo estandarizado.



#### 4.2.2 Errores Comunes de Todos los Métodos

##### a) Errores de Muestreo

La posibilidad de error en el muestreo depende del número y tamaño de porciones individuales tomadas, la frecuencia y el patrón de muestreo, el contenido de humedad del lote y es aumentada por el hecho que la mayoría de los métodos usan muestras muy pequeñas (10 grs. o menos). Cuando se mezclan semillas con diferente contenido de humedad, el contenido de humedad de todos los granos no se vuelve el mismo cuando se llega a condiciones de equilibrio. Se permiten desviaciones hasta de 0.20/o entre las determinaciones de las réplicas (3, 6).

##### b) Molido

En la mayoría de métodos primarios, las determinaciones se hacen con semillas molidas. El molido introduce nuevas posibilidades de error porque el calor generado en el molino durante la molienda puede causar pérdida de humedad.

En los Estados Unidos de Norteamérica, se recomienda el molino Wiley porque produce poco calor y permite una mínima exposición del material molido (3).

La exposición de muestras de alta humedad a una atmósfera seca después de molidas, puede causar pérdida de humedad. El efecto opuesto sucedería con muestras secas expuestas a una atmósfera húmeda.

Con muestras de humedad alta, frecuentemente hay sobrecalentamiento y gomosidad del material durante la molienda. Algunas horas de secado preliminar en una atmósfera caliente (aproximadamente 40°C) son suficientes para bajar el contenido de humedad a un nivel satisfactorio para moler.

##### c) Histéresis

Si una muestra de semilla llega a equilibrio con una atmósfera, teniendo una temperatura y una humedad relativa dada, mientras pierde humedad (desorción), el contenido de humedad de la muestra será más alto que si llegara a equilibrio con la misma atmósfera mientras está ganando humedad (adsorción). Esta influencia de la historia previa de una muestra sobre su contenido de humedad se llama "histéresis" (3).

El efecto de histéresis presuntamente no produce verdaderos errores en una determinación de humedad dada, pero frecuentemente causa desuniformidad en un lote de semillas.

#### 4.2.3 Métodos Específicos

##### a) Métodos de Horno

La duración y temperatura de calefacción varían considerablemente entre los varios métodos diferentes de horno ventilado utilizados para granos de cereales, leguminosas comestibles y semillas aceitosas. El mismo tiempo y temperatura no pueden usarse con todas las clases de semilla.

Las semillas se muelen para reducir el tiempo requerido para el secado con

horno. Para muchas semillas se pueden desarrollar métodos de horno utilizando semillas enteras que son tan precisos como los métodos que utilizan material molido, aunque más costosos en factor tiempo (3, 6).

Generalmente se usan hornos eléctricos y controlados termostáticamente. Pueden ser del tipo convección o del tipo ventilación forzada. El efecto de la humedad del aire entrante sobre la pérdida de peso de las muestras es más grande mientras la temperatura del horno disminuye. A temperaturas más bajas, también se hace más difícil asignar un tiempo definido de calefacción para llegar a peso constante.

A veces hay errores causados por desigualdad de temperaturas en partes diferentes del horno. Este error se supera colocando las muestras en una parrilla al mismo nivel del bulbo del termómetro.

El tiempo debe contarse a partir de cuando la temperatura ha regresado al valor termostáticamente controlado, después de colocar las muestras en el horno. El tiempo para recobrar la temperatura es más largo para hornos de convección que en hornos de ventilación forzada, debido a la circulación del aire más lenta.

La pérdida de materia volátil no acuosa y la descomposición química durante el calentamiento son serias fuentes de errores al secar algunas semillas.

#### b) Método de Vacío y Pentóxido de Fósforo

En el método de vacío y pentóxido de fósforo, se usan el secado en vacío y el desecante  $P_2O_5$ , junto con un calor leve.

La velocidad de todas las deshidrataciones al vacío de materiales vegetales puede acelerarse grandemente usando la liofilización —la sublimación dentro de un vacío de material congelado. La ventaja de este procedimiento está en el hecho de que cuando se congela y liofiliza material biológico, el material seco no se desintegra reteniendo su volumen original.

#### c) Métodos de Destilación

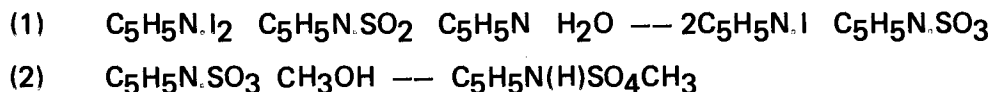
El tolueno y el benceno son líquidos de destilación usuales, aunque se pueden usar otros líquidos que son inmiscibles con el agua. El líquido escogido es dictado por la temperatura deseada. Una muestra de grano molido se coloca en la botella con tolueno (o benceno). Se continúa la destilación hasta que la producción de agua cese. El agua se atrapa en el sifón graduado de donde el tolueno en exceso regresa a la botella. Se deben usar aparatos estandarizados y seguir una técnica exacta para que los resultados sean satisfactorios (3).

#### d) Métodos Químicos

— Método de Carburo de Calcio: La reacción entre el Carburo de Calcio y el agua en una muestra de semillas molidas puede producir acetileno y se usa para calcular el agua en las semillas. Se puede permitir que el acetileno escape del sistema y determinar la pérdida de peso, o bien, el sistema puede mantenerse cerrado y se calcula el agua del volumen o presión de gas. La calibración se hace con agua pura.

— Método de Karl Fischer: El reactivo de Karl Fischer es una mezcla de piridina,

dióxido de sulfuro, metanol y yodo que reacciona estequiométricamente con agua. La reacción se lleva a cabo en dos pasos:



Esta reacción se ha investigado mucho y los pocos compuestos que interfieren con ella se conocen definitivamente.

e) Método de Espectrofotometría Infrarrojo Cercano

En años recientes se han desarrollado métodos espectrofotométricos infrarrojos cercanos para determinar el agua en varios líquidos. Al aplicar el método, se usa un extracto de metanol que se obtiene de la misma forma como en la determinación Karl Fischer (3).

f) Métodos Eléctricos

Los métodos eléctricos secundarios se usan más extensamente que cualquier otro, porque los requerimientos del comercio exigen métodos que son más rápidos. Los medidores electrónicos miden una propiedad eléctrica de las semillas, la magnitud la cual depende del contenido de humedad de la semilla. La precisión del medidor depende de su precisión electrónica, la correlación entre la propiedad eléctrica medida y el contenido de humedad de la semilla y de la exactitud del método de referencia contra la cual se calibra el medidor. Hay tablas de calibración disponibles sólo para algunas de las semillas comercialmente importantes.

Los medidores de humedad eléctricos son de dos tipos: conductancia y dieléctrico. Se mide la conductancia de las semillas cuando pasan entre dos rollos de acero corrugado que sirven de electrodos. Uno es accionado por un motor y el otro descansa. Las semillas se machacan parcialmente cuando pasan por los rollos para proporcionar buen contacto eléctrico. La conductancia se determina por lecturas galvanométricas que se convierten a contenido de humedad usando las tablas de calibración. La conductancia se mide a través de la masa comprimida de semillas.

Los medidores dieléctricos tienen una gran variedad de sistemas de circuitos electrónicos pero todos operan esencialmente sobre el mismo principio. Una muestra pesada de semillas se coloca en una celda dentro de la cual las dos superficies internas opuestas actúan como las placas de un condensador que está conectado al sistema de circuitos del instrumento. La capacitancia cambia cuando se agregan las semillas y la cantidad de cambio depende de la constante dieléctrica de las semillas, que está relacionada con su contenido de humedad. El cambio se mide indirectamente como un cambio de corriente, cambio de frecuencia resonante, cambio de capacitancia o inductancia, dependiendo del tipo de circuito.

Una fuente de error en todos los instrumentos dieléctricos es la variación en la densidad de la masa de semillas en la celda, causada por diferencias en la densidad, tamaño y forma de las semillas. Tienen la ventaja de que la semilla no se destruye en la determinación (3).

## 5. MATERIALES Y METODOS

Los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de semillas del Banco de Semillas Forestales (BANSEFOR) del Instituto Nacional Forestal (INAFOR).

Se analizó el contenido de humedad de doce especies forestales de importancia en Guatemala por el método de secado al horno a una temperatura de  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , con un tiempo de  $17 \pm 1$  hora, comparando las mediciones obtenidas con las lecturas dadas por el determinador de humedad electrónico.

Con los valores obtenidos, se procedió a realizar las correcciones de lectura por temperatura y con esos datos se realizó el análisis estadístico en el cual se probaron los modelos de regresión lineal, logarítmica, exponencial y cuadrática, para ver cuál de ellos se ajustaba más al comportamiento de las semillas de las doce especies forestales estudiadas. Estos cálculos se llevaron a cabo en el Centro Estadístico de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, durante el mes de febrero de 1982.

### 5.1 Especies Analizadas

Las doce especies analizadas se detallan a continuación:

a)	<b>Alnus jorulensis:</b>	Tamaño:	$2.3 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ de largo $2.1 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ de ancho
		Forma:	Ovoidal aplanada (granular)
		Semillas/Kg:	1,800,000 – 1,850,000
b)	<b>Cupressus lusitánica:</b>	Tamaño:	$3.5 \text{ mm} \pm 0.3 \text{ mm}$ de largo $2.8 \text{ mm} \pm 0.3 \text{ mm}$ de ancho
		Forma:	Ovoidal aplanada (granular)
		Semillas/Kg:	190,000 – 210,000
c)	<b>Eucalyptus cinerea:</b>	Tamaño:	$1.3 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ de largo $0.8 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ de ancho
		Forma:	Irregular (granular)
		Semillas/Kg:	No estimado
d)	<b>Eucalyptus citriodora:</b>	Tamaño:	$4.3 \text{ mm} \pm 0.3 \text{ mm}$ de largo $2.2 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ de ancho
		Forma:	Irregular (granular)
		Semillas/Kg:	130,000 – 150,000
e)	<b>Eucalyptus maculata:</b>	Tamaño:	$4.2 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ de largo $2.2 \text{ mm} \pm 0.8 \text{ mm}$ de ancho
		Forma:	Irregular (granular)
		Semillas/Kg:	120,000 – 140,000

f)	<b>Eucalyptus microcorys:</b>	Tamaño:	2.0 mm $\pm$ 0.5 mm de largo 1.2 mm $\pm$ 0.1 mm de ancho
		Forma:	Irregular (granular)
		Semillas/Kg:	No estimado
g)	<b>Pinus ayacahuite:</b>	Tamaño:	8.5 mm $\pm$ 1.5 mm de largo 5.0 mm $\pm$ 0.1 mm de ancho 2.5 mm $\pm$ 0.5 mm de grueso
		Forma:	Ovoidal (granular)
		Semillas/Kg:	22,000 – 25,000
h)	<b>Pinus caribaea:</b>	Tamaño:	6.8 mm $\pm$ 0.8 mm de largo 3.3 mm $\pm$ 0.2 mm de ancho 2.0 mm $\pm$ 0.2 mm de grueso
		Forma:	Ovoidal (granular)
		Semillas/Kg:	50,000 – 58,000
i)	<b>Pinus chiapensis:</b>	Tamaño:	6.1 mm $\pm$ 0.9 mm de largo 3.5 mm $\pm$ 0.5 mm de ancho 1.8 mm $\pm$ 0.4 mm de grueso
		Forma:	Ovoidal (granular)
		Semillas/Kg:	60,000 – 65,000
j)	<b>Pinus filifolia:</b>	Tamaño:	8.7 mm $\pm$ 0.8 mm de largo 4.6 mm $\pm$ 0.5 mm de ancho 2.8 mm $\pm$ 0.2 mm de grueso
		Forma:	Ovoidal (granular)
		Semillas/Kg:	20,000 – 25,000
k)	<b>Pinus maximinoi:</b>	Tamaño:	4.8 mm $\pm$ 0.5 mm de largo 3.2 mm $\pm$ 0.3 mm de ancho 2.2 mm $\pm$ 0.1 mm de grueso
		Forma:	Ovoidal (granular)
		Semillas/Kg:	73,000 – 80,000
l)	<b>Pinus oocarpa:</b>	Tamaño:	5.8 mm $\pm$ 0.2 mm de largo 3.4 mm $\pm$ 0.4 mm de ancho 2.5 mm $\pm$ 0.1 mm de grueso
		Forma:	Ovoidal (granular)
		Semillas/Kg:	49,000 – 54,000

## 5.2 Procedimiento

El procedimiento seguido fue el siguiente:

Se calibró el aparato Determinador de humedad, así: Se colocó la escala "A" (ver figura 1) en cero en la línea roja de abajo, y con el switch en "ON" se centró la aguja de balance. Luego se colocó la muestra en el recipiente para prepesarla y después se virtió dentro del aparato. Se giró el dial hasta que la aguja estuvo al centro y no hubo movimiento al poner el switch en "ON" (5).

Se pesaron las cápsulas o recipientes donde se pusieron las repeticiones marcadas en una balanza analítica y se numeraron para obtener así la tara.

Se sacaron muestras de cada lote de semillas y se formó así una muestra completa.

Se dividió la muestra compuesta en dos submuestras ( $Sb_A$  y  $Sb_B$ ) para obtener entre 4-5 gr. por cada submuestra. Ya divididas las muestras y obtenido el peso entre 4-5 gr., se colocaron éstas en las cápsulas petri y se volvieron a pesar en la balanza analítica. Así se determinó el peso de la semilla húmeda.

Luego se colocaron las cápsulas con la semilla húmeda de las submuestras A, ( $Sb_A$ ) destapadas dentro del horno a una temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  por un período de  $17 \pm 1$  horas (6). Se procedió posteriormente a hacer la operación con el Dole, utilizando las submuestras B, ( $Sb_B$ ). Tomamos la lectura de la escala "A" y la temperatura de la semilla y anotamos los datos. Estos datos corresponderán a un porcentaje de humedad que nos dará el horno por diferencia de peso con las submuestras A ( $Sb_A$ ). La temperatura de la semilla debe ser  $80^\circ\text{F}$  al estar dentro del aparato. Cuando no fue así, se hicieron correcciones por temperatura al porcentaje de humedad dado por el horno(\*), según el Cuadro No. 1.

Pasadas las  $17 \pm 1$  hora, se sacaron las muestras del horno ( $Sb_A$ ) y se colocaron en las desecadoras, que son pequeñas cámaras de pyrex especiales, cerradas al vacío, las cuales contenían el deshidratante silica gel.

Transcurridos 45 minutos, se pesaron nuevamente las muestras en la balanza analítica y así se obtuvo el peso de la semilla seca ( $Sb_A$ ). Con ésto ya se obtienen los dos pesos necesarios (peso húmedo y peso seco) para que por diferencia podamos encontrar el porcentaje de humedad del lote de semillas, utilizando el horno, con las submuestras A.

(\*) El Determinador de humedad está diseñado para hacer análisis de humedad precisos cuando la temperatura del grano es  $80^\circ\text{F}$ . Dependiendo del grado de precisión que se desee en el análisis, se deben aplicar las correcciones por temperatura.

Cuando la muestra traída del campo o de los cuartos de almacenamiento está fría o muy caliente, se debe hacer una corrección de la humedad obtenida. Cuando se requiera demasiada precisión en el análisis de humedad, las lecturas de temperatura deben ser hechas con un termómetro de mercurio preciso y las correcciones se deben basar en la tabla mostrada en el Cuadro No. 1 (1).

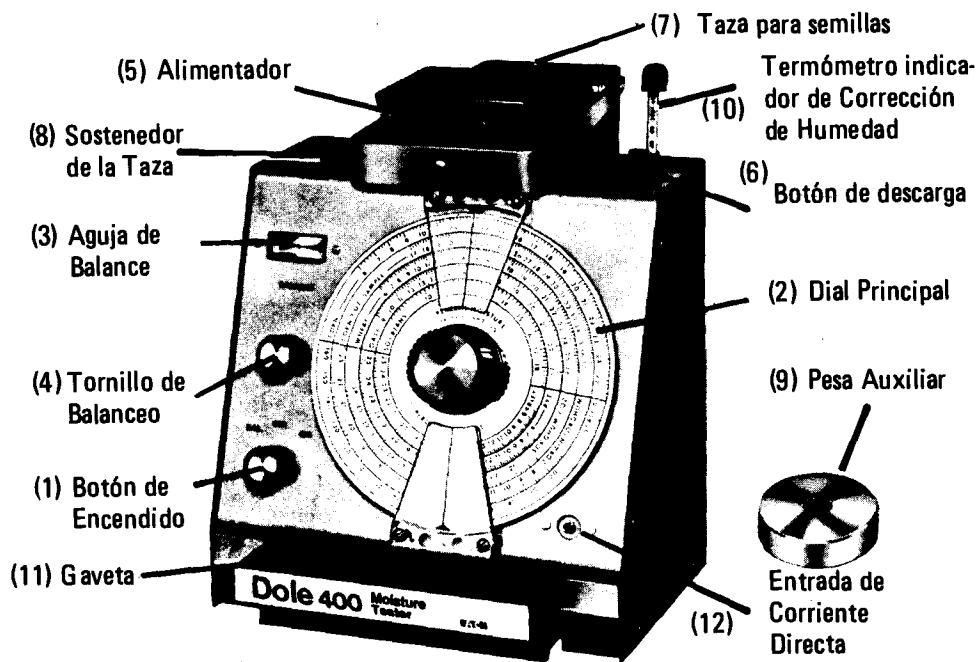


Figura No. 1

INDICACION DE LAS PARTES DEL DETERMINADOR DE HUMEDAD  
UTILIZADO EN EL ESTUDIO

**Cuadro No. 1**  
**CORRECCIONES POR TEMPERATURA DEL**  
**PORCENTAJE DE HUMEDAD DADO POR EL HORNO**

<b>°F</b>	<b>°C</b>	<b>Corrección</b>
50	10	+1.80
52	11	+1.67
54	12	+1.53
56	13.5	+1.40
58	14.5	+1.28
60	15.5	+1.15
62	16.5	+1.02
64	18	+0.90
66	19	+0.78
68	20	+0.67
70	21	+0.55
72	22	+0.43
74	23	+0.32
76	24	+0.21
78	25.5	+0.10
80	26.5	0.00
82	27.5	-0.10
84	29	-0.24
86	30	-0.32
88	31	-0.45
90	32	-0.56



Se utilizó para ello la siguiente fórmula:

$$\frac{Psh - Pss}{Psh} \times 100 = \text{o/o H. . .}$$

o/o H = Porcentaje de humedad

Psh = Peso de semilla húmeda

Pss = Peso de semilla seca.

Con ésto se tuvo un valor de humedad para las submuestras A y una lectura en la escala "A" del aparato para las submuestras B, de cuya correlación se establecieron las ecuaciones de regresión y las tablas correspondientes.

Se tomaron en total 6 niveles de humedad para cada especie, replicados 4 veces cada uno.

El porcentaje de humedad y peso de los lotes se pudo subir o bajar según nuestra conveniencia, ya sea agregando agua o secándolo por el método disponible. Esta operación se hizo de manera controlada, revisando la variación del peso del lote y corroborándose con las lecturas que da el aparato electrónico y los hornos que son los que dan los puntos confiables de referencia.

### 5.3 Modelos Estadísticos Utilizados

Los modelos estadísticos utilizados son:

Regresión lineal:  $\hat{y} = B_0 + B_1X$

Regresión cuadrática:  $\hat{y} = B_2X^2 + B_1X + B_0$

Regresión logarítmica:  $\hat{y} = B_1 \ln(X) + B_0$

Regresión exponencial:  $\hat{y} = e^{B_1X} \times B_0$

$$(\ln y = \ln B_0 + B_1X)$$

En estos modelos, la "y" será representada por el porcentaje de humedad y la "X" por la lectura del dial del aparato.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSION

### 6.1 *Alnus jorulensis*

Para esta especie se obtuvieron los resultados que se muestran en el Cuadro No. 2.

Cuadro No. 2

#### RESULTADOS DE LAS LECTURAS DE HUMEDAD DE LA SEMILLA DE *Alnus jorulensis*

o/o de humedad obtenido en la Muestra	Temperatura en la Muestra (°F)	Lectura del Aparato DOLE	o/o de Humedad corregido por Temperatura
6.4	80	75	6.4
6.9	78	78	7.0
8.8	78	89	8.9
10.8	76	103	11.0
12.8	78	121	12.9
14.1	78	143	14.2

A estos valores experimentales se les aplicaron sistemáticamente los modelos estadísticos mencionados, seleccionándose para esta especie el polinomio de segundo grado de la forma  $\hat{y} = B_2X^2 + B_1X + B_0$  (regresión cuadrática en donde  $y =$  o/o de humedad y "X" = lectura del aparato), que fue el modelo que presentó el más alto valor de correlación.

Así se obtuvo la curva que se muestra en la Figura No. 2.

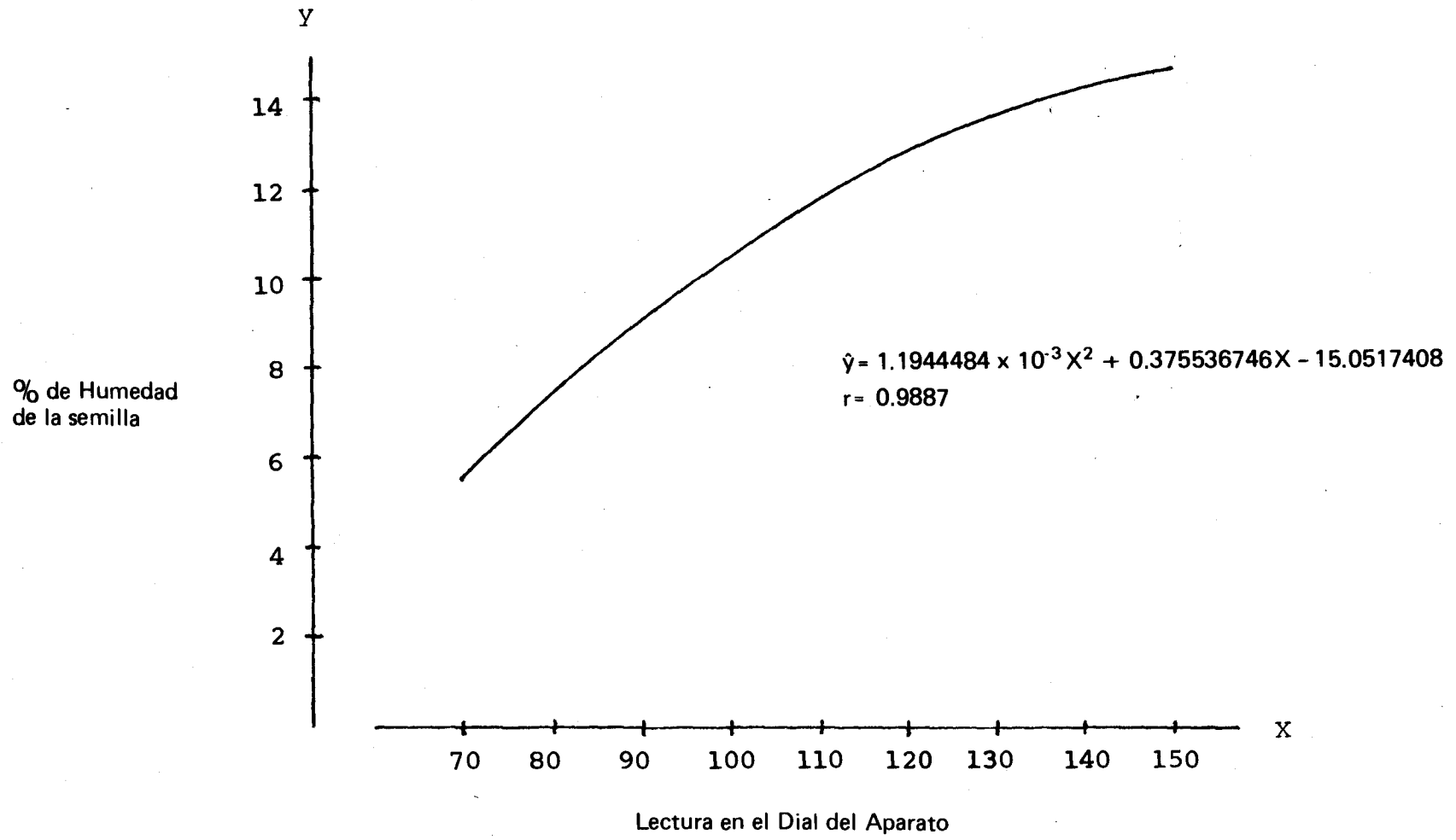


Figura 2. Curva de Regresión del Contenido de Humedad de la Especie *Alnus jorulensis*

De la curva anterior, se obtuvieron los valores que se muestran en el Cuadro No. 3.

**Cuadro No. 3**

**CORRESPONDENCIA ENTRE LECTURA DEL DIAL Y LA  
HUMEDAD DE LA SEMILLA DE *Alnus jorulensis***

<b>Lectura del Aparato</b>	<b>o/o de Humedad</b>
70	5.4
76	6.6
82	7.7
88	8.7
94	9.7
100	10.6
106	11.3
112	12.0
118	12.6
124	13.1
130	13.6
136	13.9
142	14.2
148	14.4

## 6.2 Cupressus lusitánica

Para esta especie se obtuvieron los resultados que se muestran en el Cuadro No. 4.

**Cuadro No. 4**  
**RESULTADOS DE LAS LECTURAS DE HUMEDAD DE**  
**LA SEMILLA DE Cupressus lusitánica**

o/o de humedad obtenido en la Muestra	Temperatura en la Muestra (°F)	Lectura del Aparato DOLE	o/o de Humedad corregido por Temperatura
5.1	77	83	5.4
7.0	78	92	7.1
10.5	74	111	10.9
11.8	76	116	12.0
13.0	80	120	13.0
14.0	78	130	15.0

A estos valores experimentales se les aplicaron sistemáticamente los modelos estadísticos mencionados, seleccionándose para esta especie el polinomio de segundo grado de la forma  $\hat{y} = B_2X^2 + B_1X + B_0$  (regresión cuadrática en donde  $y =$  o/o de humedad y "X" = lectura del aparato), que fue el modelo que presentó el más alto valor de correlación.

Así se obtuvo la curva que se muestra en la Figura No. 3

% de Humedad  
de la semilla

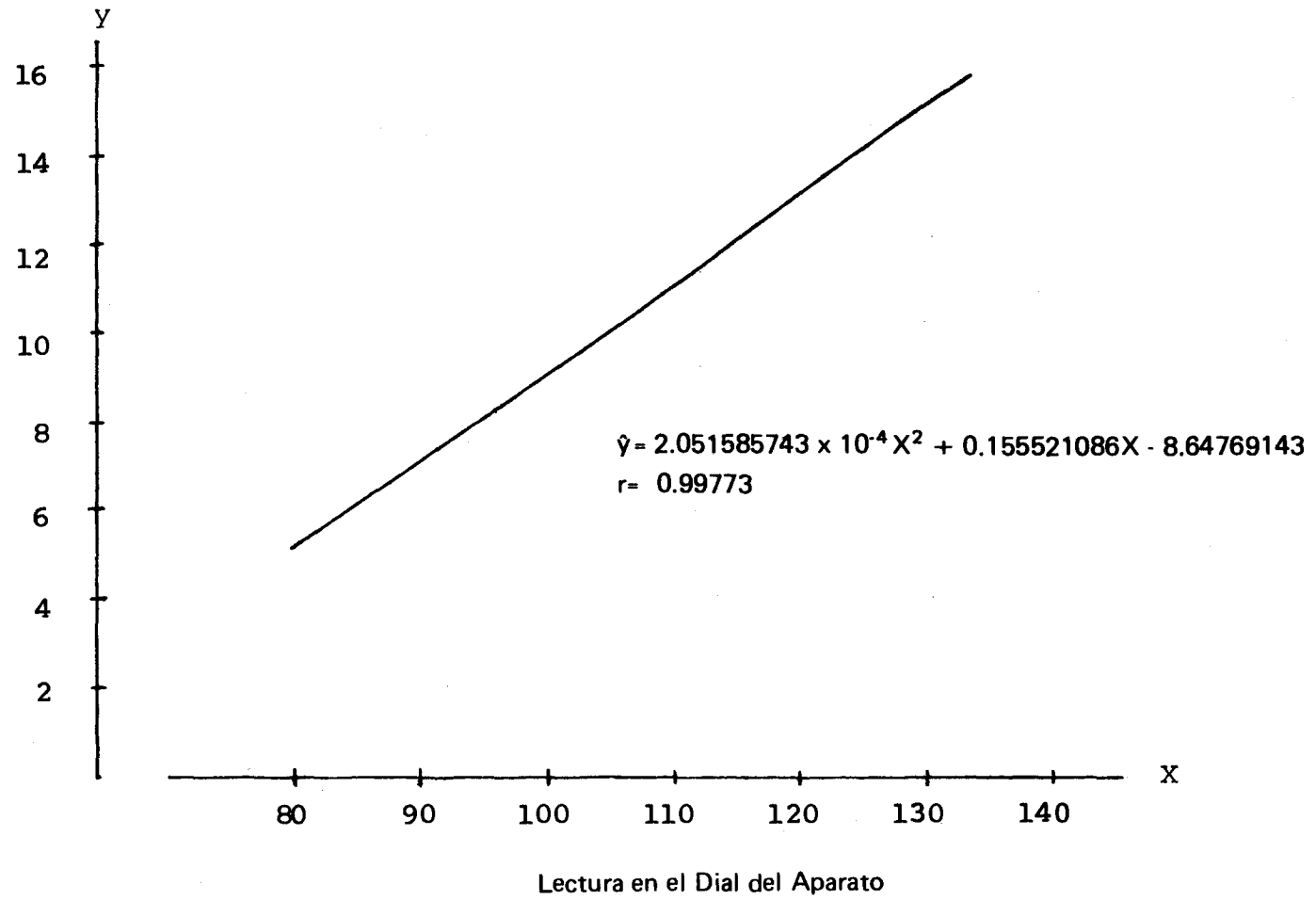


Figura 3. Curva de Regresión del Contenido de Humedad de la Especie *Cupressus lusitánica*

De la curva anterior, se obtuvieron los valores que se muestran en el Cuadro No. 5

**Cuadro No. 5**  
**CORRESPONDENCIA ENTRE LA LECTURA DEL DIAL Y LA**  
**HUMEDAD DE LA SEMILLA DE *Cupressus lusitánica***

<b>Lectura del Aparato</b>	<b>o/o de Humedad</b>
80	5.1
84	5.9
88	6.6
92	7.4
96	8.2
100	8.9
104	9.7
108	10.5
112	11.3
116	12.2
120	13.0
124	13.8
128	14.6
132	15.4

### 6.3 Eucalyptus cinerea

Para esta especie se obtuvieron los resultados que se muestran en el Cuadro No. 6.

Cuadro No. 6

#### RESULTADOS DE LAS LECTURAS DE HUMEDAD DE LA SEMILLA DE Eucalyptus cinerea

o/o de humedad obtenido en la Muestra	Temperatura en la Muestra (°F)	Lectura del Aparato DOLE	o/o de Humedad corregido por Temperatura
5.0	78	75	5.1
6.4	78	81	6.5
10.2	78	95	10.3
11.7	78	103	11.8
13.0	78	112	13.1
13.5	78	117	13.6

A estos valores experimentales se les aplicaron sistemáticamente los modelos estadísticos mencionados, seleccionándose para esta especie el polinomio de segundo grado de la forma  $\hat{y} = B_2X^2 + B_1X + B_0$  (regresión cuadrática en donde  $y =$  o/o de humedad y "X" = lectura del aparato), que fue el modelo que presentó el más alto valor de correlación.

Así se obtuvo la curva que se muestra en la Figura No. 4.



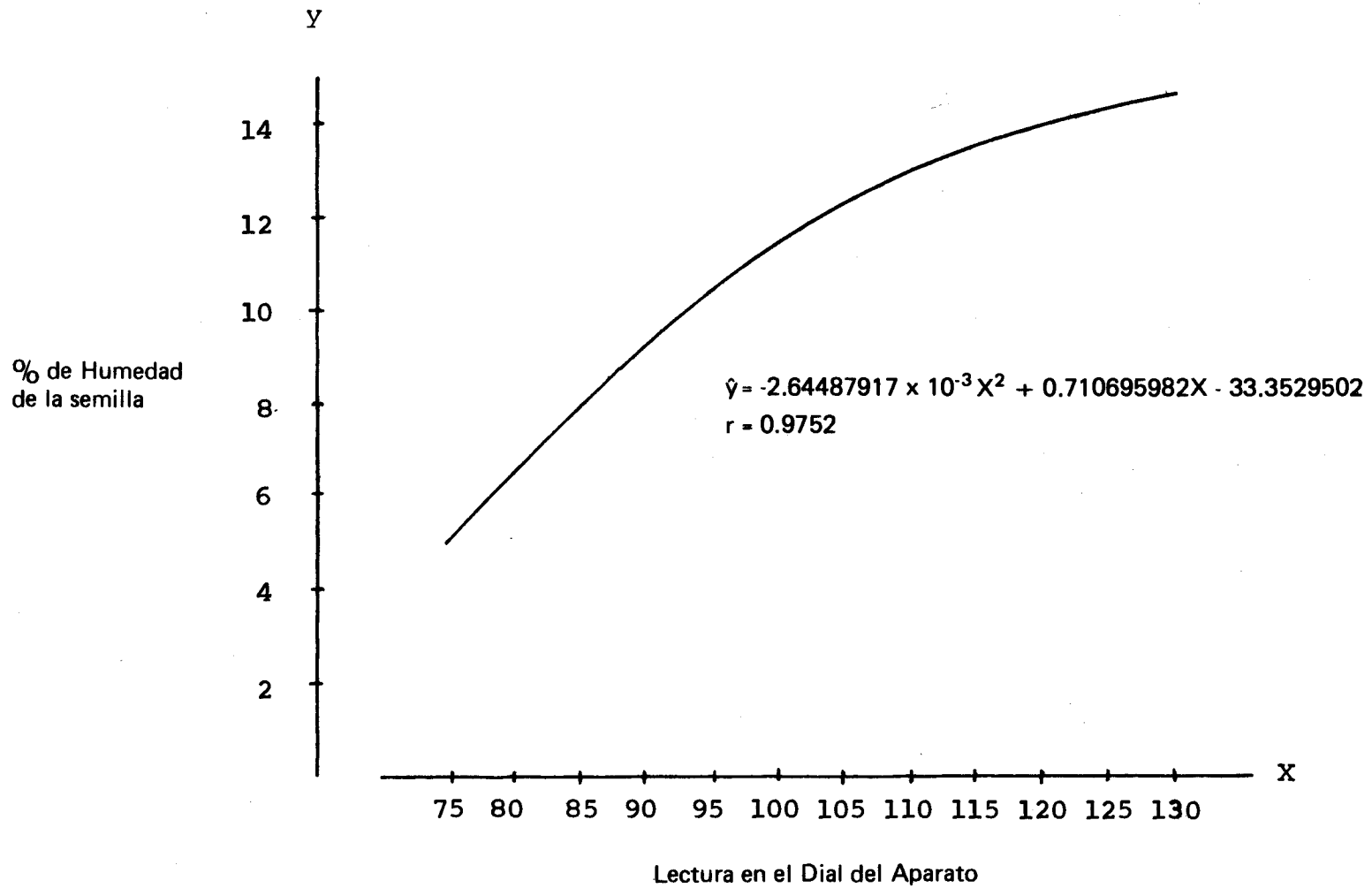


Figura 4. Curva de Regresión del Contenido de Humedad de la Especie *Eucalyptus cinerea*

De la curva anterior, se obtuvieron los valores que se muestran en el Cuadro No. 7.

**Cuadro No. 7**

**CORRESPONDENCIA ENTRE LA LECTURA DEL DIAL Y LA  
HUMEDAD DE LA SEMILLA DE *Eucalyptus cinerea***

<b>Lectura del Aparato</b>	<b>o/o de Humedad</b>
75	5.1
79	6.3
83	7.4
87	8.5
91	9.4
95	10.3
99	11.1
103	11.8
107	12.4
111	12.9
115	13.4
119	13.8
123	14.0
127	14.3

#### 6.4 Eucalyptus citriodora

Para esta especie se obtuvieron los resultados que se muestran en el Cuadro No. 8.

**Cuadro No. 8**  
**RESULTADOS DE LAS LECTURAS DE HUMEDAD DE**  
**LA SEMILLA DE Eucalyptus citriodora**

o/o de humedad obtenido en la Muestra	Temperatura en la Muestra (°F)	Lectura del Aparato DOLE	o/o de Humedad corregido por Temperatura
5.3	76	74	5.5
8.8	78	93	8.9
10.0	78	100	10.1
11.6	72	112	12.0
12.7	78	116	12.8
14.3	78	125	14.4

A estos valores experimentales se les aplicaron sistemáticamente los modelos estadísticos mencionados, seleccionándose para esta especie el modelo de regresión lineal de la forma  $\hat{y} = B_1X + B_0$  (en donde  $y =$  o/o de humedad y " $X$ " = lectura del aparato), que fue el modelo que presentó el más alto valor de correlación.

Así se obtuvo la curva que se muestra en la Figura No. 5.

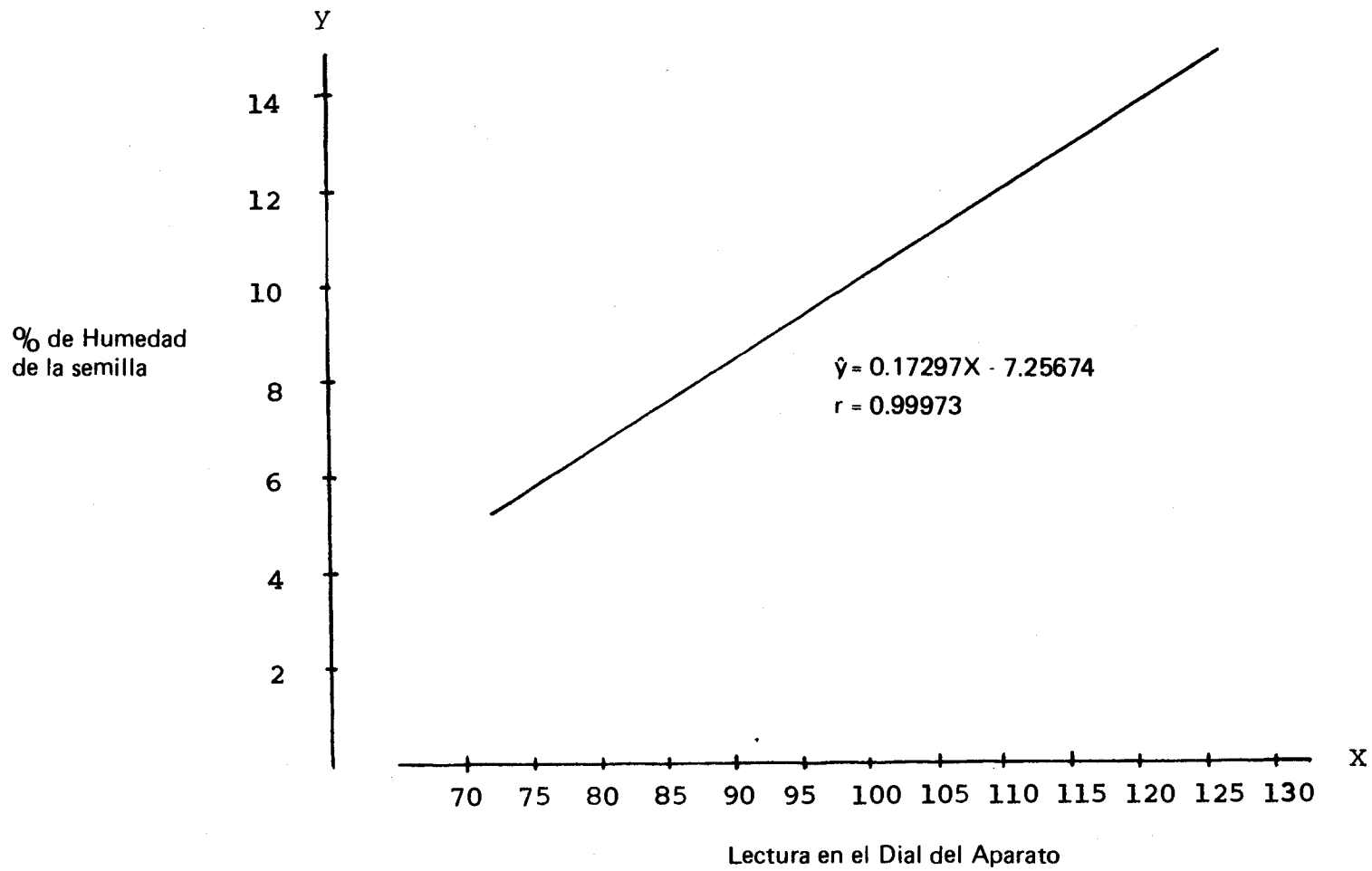


Figura 5. Curva de Regresión del Contenido de Humedad de la Especie **Eucalyptus citriodora**

De la curva anterior, se obtuvieron los valores que se muestran en el Cuadro No. 9.

**Cuadro No. 9**

**CORRESPONDENCIA ENTRE LA LECTURA DEL DIAL Y LA  
HUMEDAD DE LA SEMILLA DE *Eucalyptus citriodora***

<b>Lectura del Aparato</b>	<b>o/o de Humedad</b>
72	5.2
76	5.9
80	6.6
84	7.3
88	8.0
92	8.7
96	9.3
100	10.0
104	10.7
108	11.4
112	12.1
116	12.8
120	13.5
124	14.2
128	14.9

### 6.5 Eucalyptus maculata

Para esta especie se obtuvieron los resultados que se muestran en el Cuadro No. 10.

Cuadro No. 10

#### RESULTADOS DE LAS LECTURAS DE HUMEDAD DE LA SEMILLA DE Eucalyptus maculata

o/o de humedad obtenido en la Muestra	Temperatura en la Muestra (°F)	Lectura del Aparato DOLE	o/o de Humedad corregido por Temperatura
6.3	74	79	6.6
7.8	74	90	8.1
9.0	78	95	9.1
10.7	76	104	10.9
11.4	78	110	11.5
13.4	78	129	13.5

A estos valores experimentales se les aplicaron sistemáticamente los modelos estadísticos mencionados, seleccionándose para esta especie el polinomio de segundo grado de la forma  $\hat{y} = B_2X^2 + B_1X + B_0$  (regresión cuadrática en donde  $y =$  o/o de humedad y "X" = lectura del aparato), que fue el modelo que presentó el más alto valor de correlación.

Así se obtuvo la curva que se muestra en la Figura No. 6

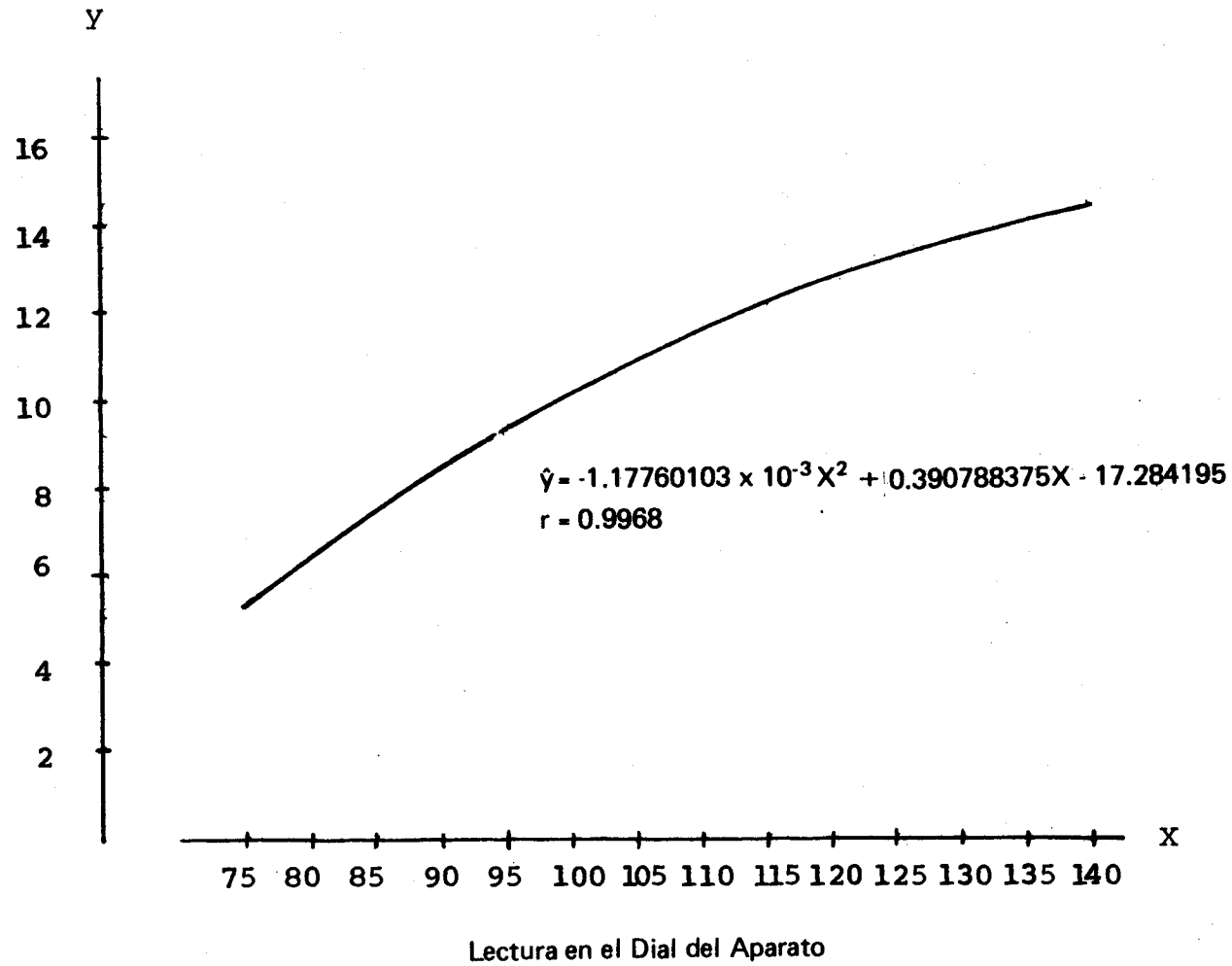


Figura 6. Curva de Regresión del Contenido de Humedad de la Especie *Eucalyptus maculata*

De la curva anterior, se obtuvieron los valores que se muestran en el Cuadro No. 11.

**Cuadro No. 11**

**CORRESPONDENCIA ENTRE LA LECTURA DEL DIAL Y LA  
HUMEDAD DE LA SEMILLA DE *Eucalyptus maculata***

<b>Lectura del Aparato</b>	<b>o/o de Humedad</b>
75	5.4
80	6.4
85	7.5
90	8.4
95	9.2
100	10.0
105	10.8
110	11.5
115	12.1
120	12.7
125	13.2
130	13.6
135	14.0
140	14.4



### 6.6 Eucalyptus microcorys

Para esta especie se obtuvieron los resultados que se muestran en el Cuadro No. 12.

Cuadro No. 12

#### RESULTADOS DE LAS LECTURAS DE HUMEDAD DE LA SEMILLA DE Eucalyptus microcorys

o/o de humedad obtenido en la Muestra	Temperatura en la Muestra (°F)	Lectura del Aparato DOLE	o/o de Humedad corregido por Temperatura
6.8	78	84	6.9
8.2	78	91	8.3
9.6	80	96	9.6
11.4	78	104	11.5
12.4	78	111	12.5
14.0	78	120	14.1

A estos valores experimentales se les aplicaron sistemáticamente los modelos estadísticos mencionados, seleccionándose para esta especie el polinomio de segundo grado de la forma  $\hat{y} = B_2X^2 + B_1X + B_0$  (regresión cuadrática en donde  $y =$  o/o de humedad y "X" = lectura del aparato), que fue el modelo que presentó el más alto valor de correlación.

Así se obtuvo la curva que se muestra en la Figura No. 7.

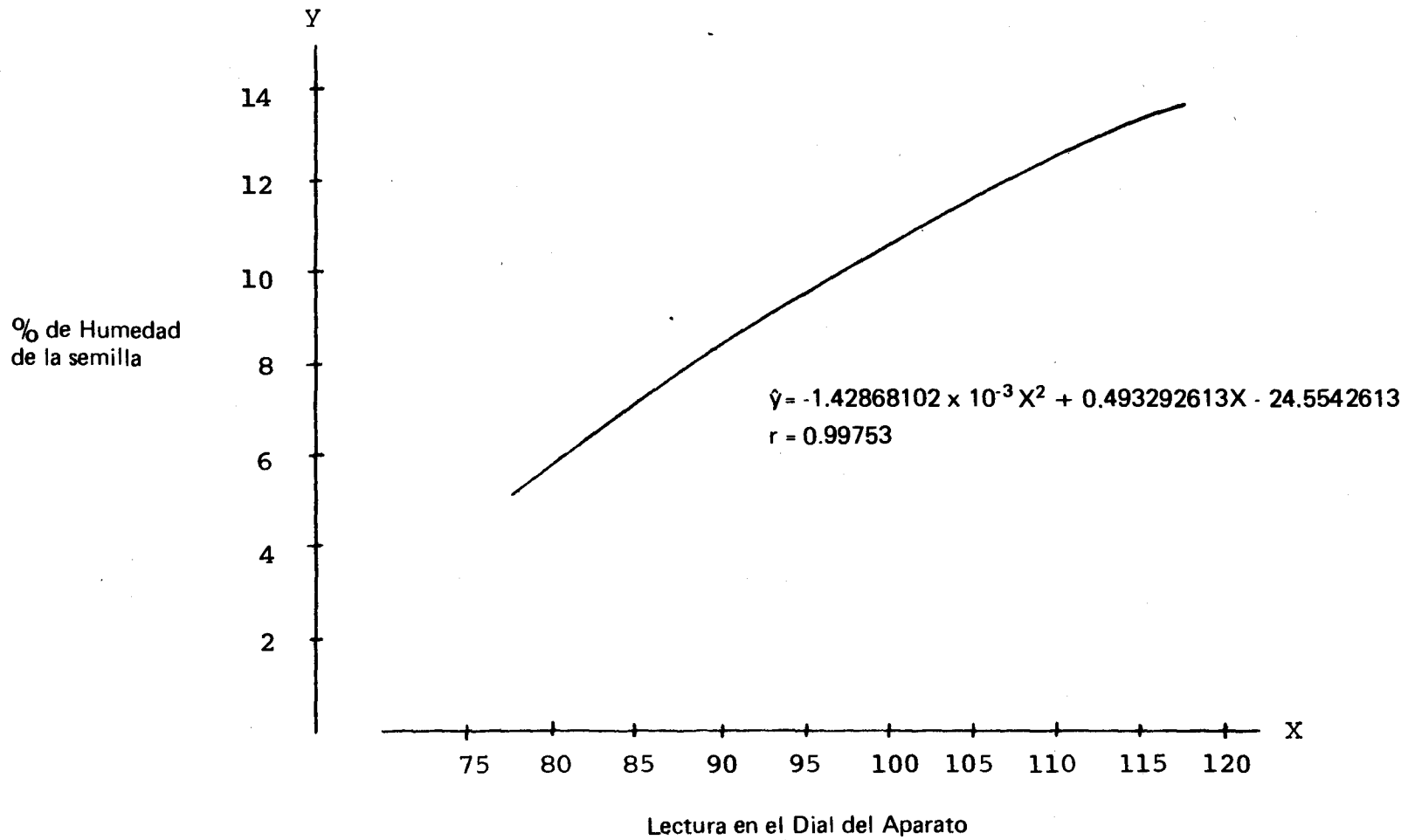


Figura 7. Curva de Regresión del Contenido de Humedad de la Especie *Eucalyptus microcorys*

De la curva anterior, se obtuvieron los valores que se muestran en el Cuadro No. 13.

**Cuadro No. 13**

**CORRESPONDENCIA ENTRE LA LECTURA DEL DIAL Y  
LA HUMEDAD DE LA SEMILLA DE *Eucalyptus microcorys***

<b>Lectura del Aparato</b>	<b>o/o de Humedad</b>
78	5.2
81	6.0
84	6.8
87	7.5
90	8.3
93	9.0
96	9.6
99	10.3
102	10.9
105	11.5
108	12.1
111	12.6
114	13.1
117	13.6

### 6.7 Pinus ayacahuite

Para esta especie se obtuvieron los resultados que se muestran en el Cuadro No. 14.

Cuadro No. 14

#### RESULTADOS DE LAS LECTURAS DE HUMEDAD DE LA SEMILLA DE Pinus ayacahuite

o/o de humedad obtenido en la Muestra	Temperatura en la Muestra (°F)	Lectura del Aparato DOLE	o/o de Humedad corregido por Temperatura
6.3	78	70	6.4
7.9	72	87	8.3
9.9	76	102	10.1
11.3	78	112	11.4
11.6	80	116	11.6
14.5	78	138	14.6

A estos valores experimentales se les aplicaron sistemáticamente los modelos estadísticos mencionados, seleccionándose para esta especie el polinomio de segundo grado de la forma  $\hat{y} = B_2X^2 + B_1X + B_0$  (regresión cuadrática en donde  $y =$  o/o de humedad y "X" = lectura del aparato), que fue el modelo que presentó el más alto valor de correlación.

Así se obtuvo la curva que se muestra en la Figura No. 8.

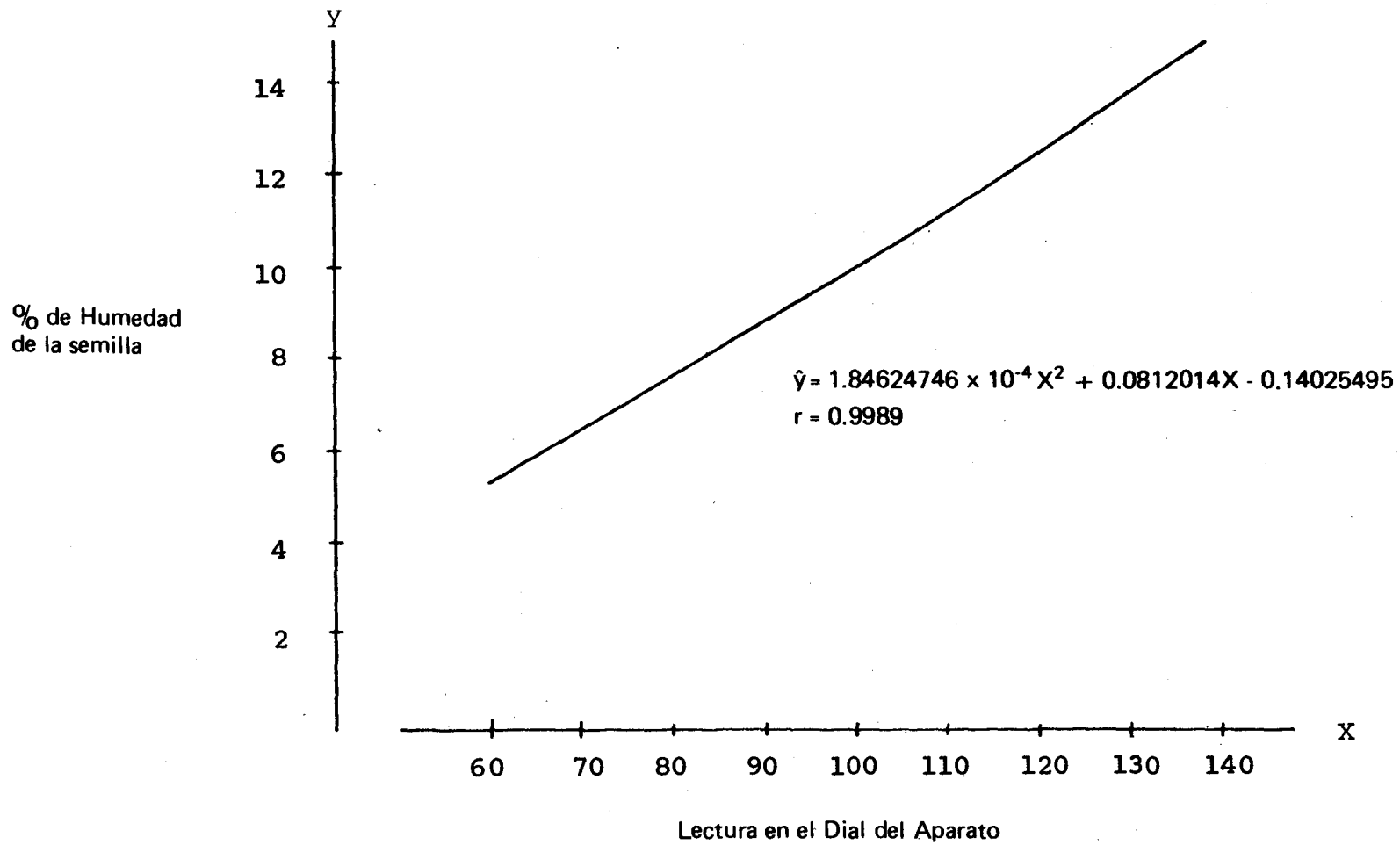


Figura 8. Curva de Regresión del Contenido de Humedad de la Especie *Pinus ayacahuite*

De la curva anterior, se obtuvieron los valores que se muestran en el Cuadro No. 15.

**Cuadro No. 15**

**CORRESPONDENCIA ENTRE LA LECTURA DEL DIAL Y LA  
HUMEDAD DE LA SEMILLA DE *Pinus ayacahuite***

<b>Lectura del Aparato</b>	<b>o/o de Humedad</b>
60	5.4
66	6.0
72	6.7
78	7.3
84	8.0
90	8.7
96	9.4
102	10.1
108	10.8
114	11.5
120	12.3
126	13.0
132	13.8
138	14.6

**6.8 Pinus caribaea**

Para esta especie se obtuvieron los resultados que se muestran en el Cuadro No. 16.

**Cuadro No. 16**

**RESULTADOS DE LAS LECTURAS DE HUMEDAD DE  
LA SEMILLA DE Pinus caribaea**

<b>o/o de humedad obtenido en la Muestra</b>	<b>Temperatura en la Muestra (°F)</b>	<b>Lectura del Aparato DOLE</b>	<b>o/o de Humedad corregido por Temperatura</b>
6.6	78	75	6.7
8.2	78	85	8.3
10.9	72	104	11.3
12.2	78	115	12.3
13.1	76	129	13.3
14.4	78	143	14.5

A estos valores experimentales se les aplicaron sistemáticamente los modelos estadísticos mencionados, seleccionándose para esta especie el polinomio de segundo grado de la forma  $\hat{y} = B_2X^2 + B_1X + B_0$  (regresión cuadrática en donde  $y =$  o/o de humedad y "X" = lectura del aparato), que fue el modelo que presentó el más alto valor de correlación.

Así se obtuvo la curva que se muestra en la Figura No. 9.

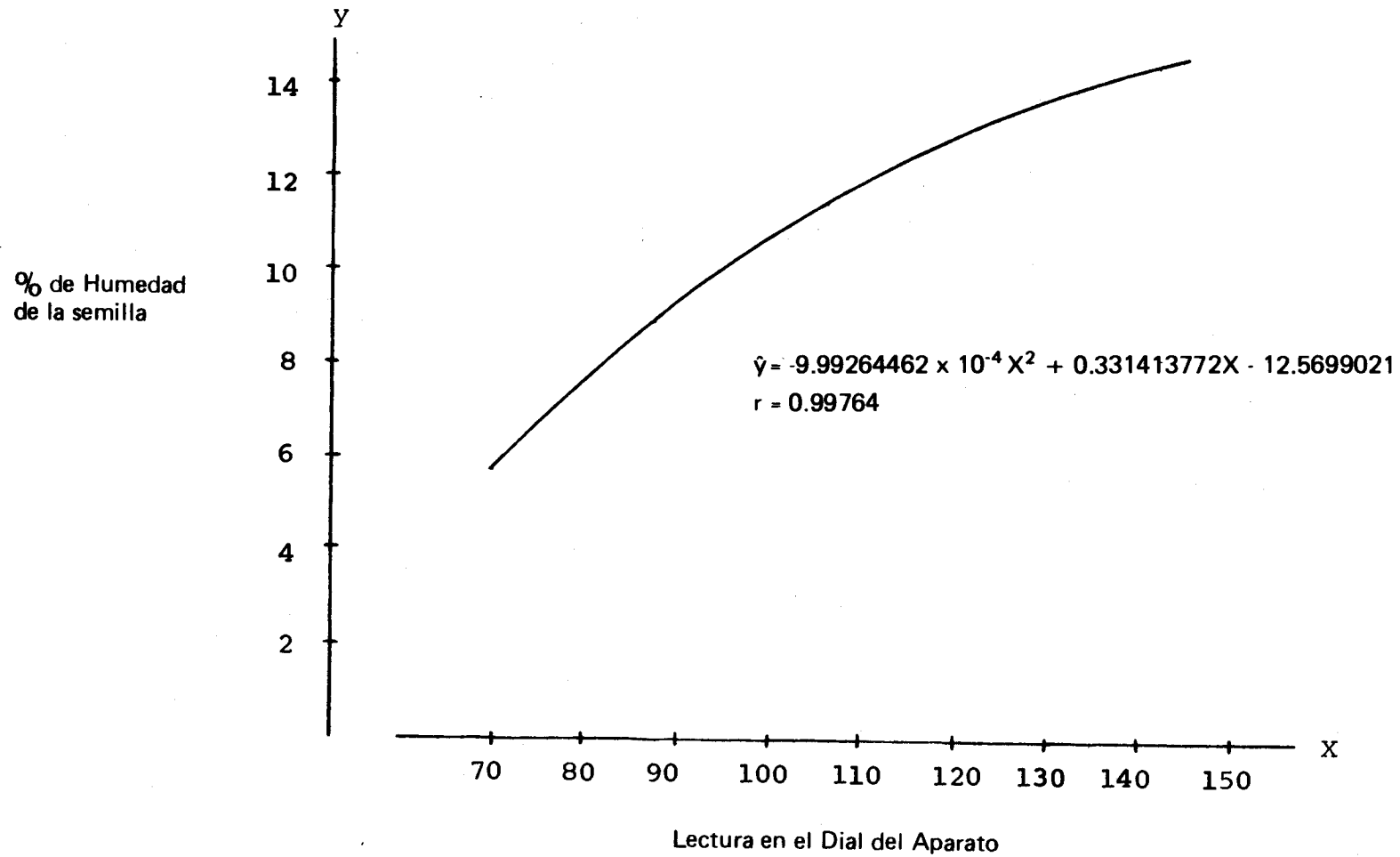


Figura 9. Curva de Regresión del Contenido de Humedad de la Especie *Pinus caribaea*



De la curva anterior, se obtuvieron los valores que se muestran en el Cuadro No. 17

**Cuadro No. 17**

**CORRESPONDENCIA ENTRE LA LECTURA DEL DIAL Y  
LA HUMEDAD DE LA SEMILLA DE *Pinus caribaea***

<b>Lectura del Aparato</b>	<b>o/o de Humedad</b>
70	5.7
76	6.8
82	7.9
88	8.9
94	9.8
100	10.6
106	11.3
112	12.0
118	12.6
124	13.2
130	13.6
136	14.0
142	14.3

### 6.9 Pinus chiapensis

Para esta especie se obtuvieron los resultados que se muestran en el Cuadro No. 18.

**Cuadro No. 18**  
**RESULTADOS DE LAS LECTURAS DE HUMEDAD DE**  
**LA SEMILLA DE Pinus chiapensis**

o/o de humedad obtenido en la Muestra	Temperatura en la Muestra (°F)	Lectura del Aparato DOLE	o/o de Humedad corregido por Temperatura
6.2	78	70	6.3
7.5	78	81	7.6
9.4	72	96	9.8
10.6	78	108	10.7
11.7	78	124	11.8
13.5	78	149	13.6

A estos valores experimentales se les aplicaron sistemáticamente los modelos estadísticos mencionados, seleccionándose para esta especie el polinomio de segundo grado de la forma  $\hat{y} = B_2X^2 + B_1X + B_0$  (regresión cuadrática en donde  $y =$  o/o de humedad y "X" = lectura del aparato), que fue el modelo que presentó el más alto valor de correlación.

Así se obtuvo la curva que se muestra en la Figura No. 10.

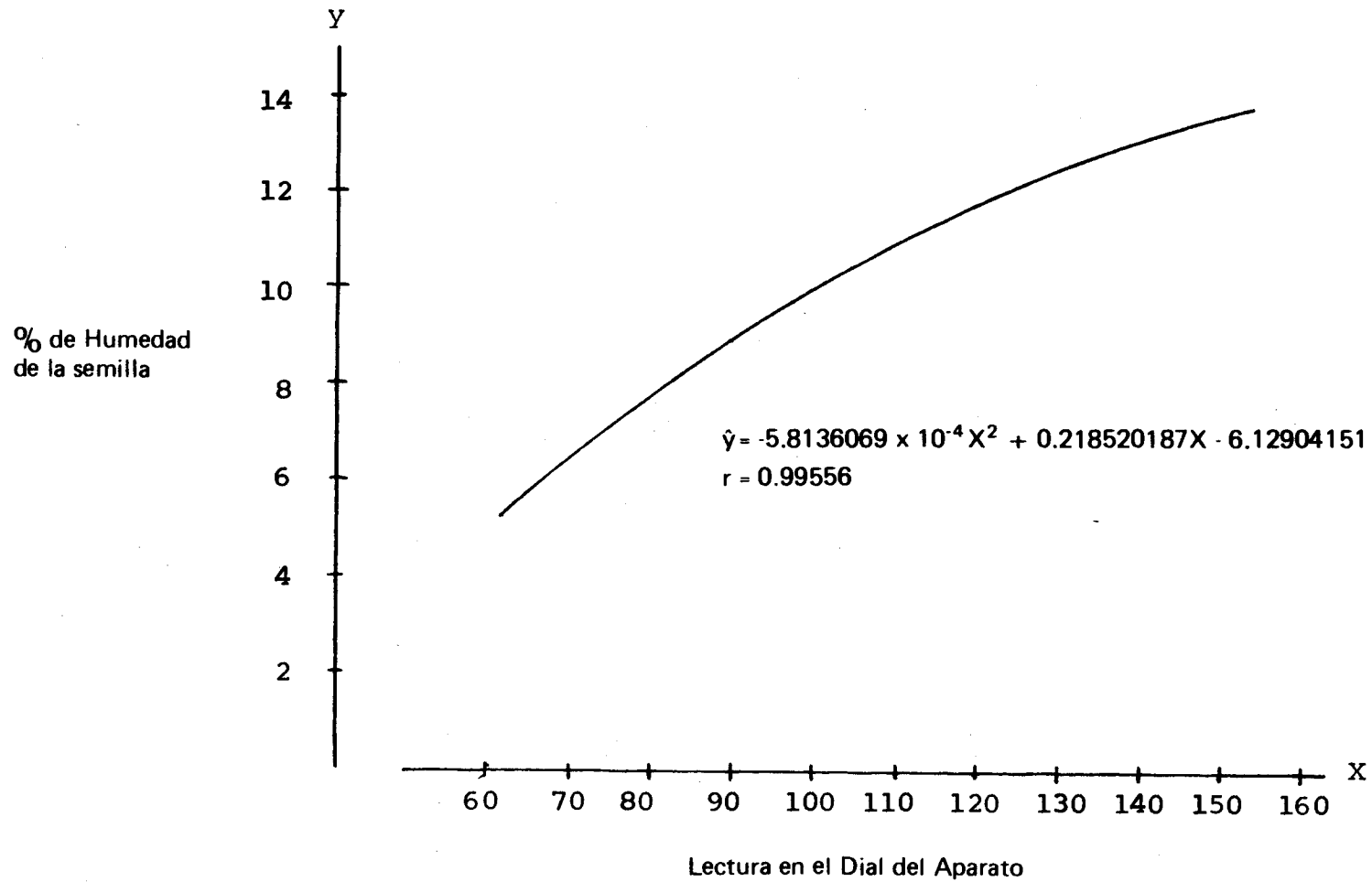


Figura 10. Curva de Regresión del Contenido de Humedad de la Especie *Pinus chiapensis*

De la curva anterior, se obtuvieron los valores que se muestran en el Cuadro No. 19.

**Cuadro No. 19**

**CORRESPONDENCIA ENTRE LA LECTURA DEL DIAL Y LA  
HUMEDAD DE LA SEMILLA DE *Pinus chiapensis***

<b>Lectura del Aparato</b>	<b>o/o de Humedad</b>
62	5.2
69	6.2
76	7.1
83	8.0
90	8.8
97	9.6
104	10.3
111	11.0
118	11.6
125	12.1
132	12.6
139	13.0
146	13.4
153	13.7

### 6.10 Pinus filifolia

Para esta especie se obtuvieron los resultados que se muestran en el Cuadro No. 20

Cuadro No. 20

#### RESULTADOS DE LAS LECTURAS DE HUMEDAD DE LA SEMILLA DE Pinus filifolia

o/o de humedad obtenido en la Muestra	Temperatura en la Muestra (°F)	Lectura del Aparato DOLE	o/o de Humedad corregido por Temperatura
6.1	78	75	6.2
9.5	72	99	9.9
10.4	78	107	10.5
11.5	78	114	11.6
12.8	78	124	12.9
14.8	78	147	14.9

A estos valores experimentales se les aplicaron sistemáticamente los modelos estadísticos mencionados, seleccionándose para esta especie el polinomio de segundo grado de la forma  $\hat{y} = B_2X^2 + B_1X + B_0$  (regresión cuadrática en donde  $y =$  o/o de humedad y "X" = lectura del aparato), que fue el modelo que presentó el más alto valor de correlación.

Así se obtuvo la curva que se muestra en la Figura No. 11.

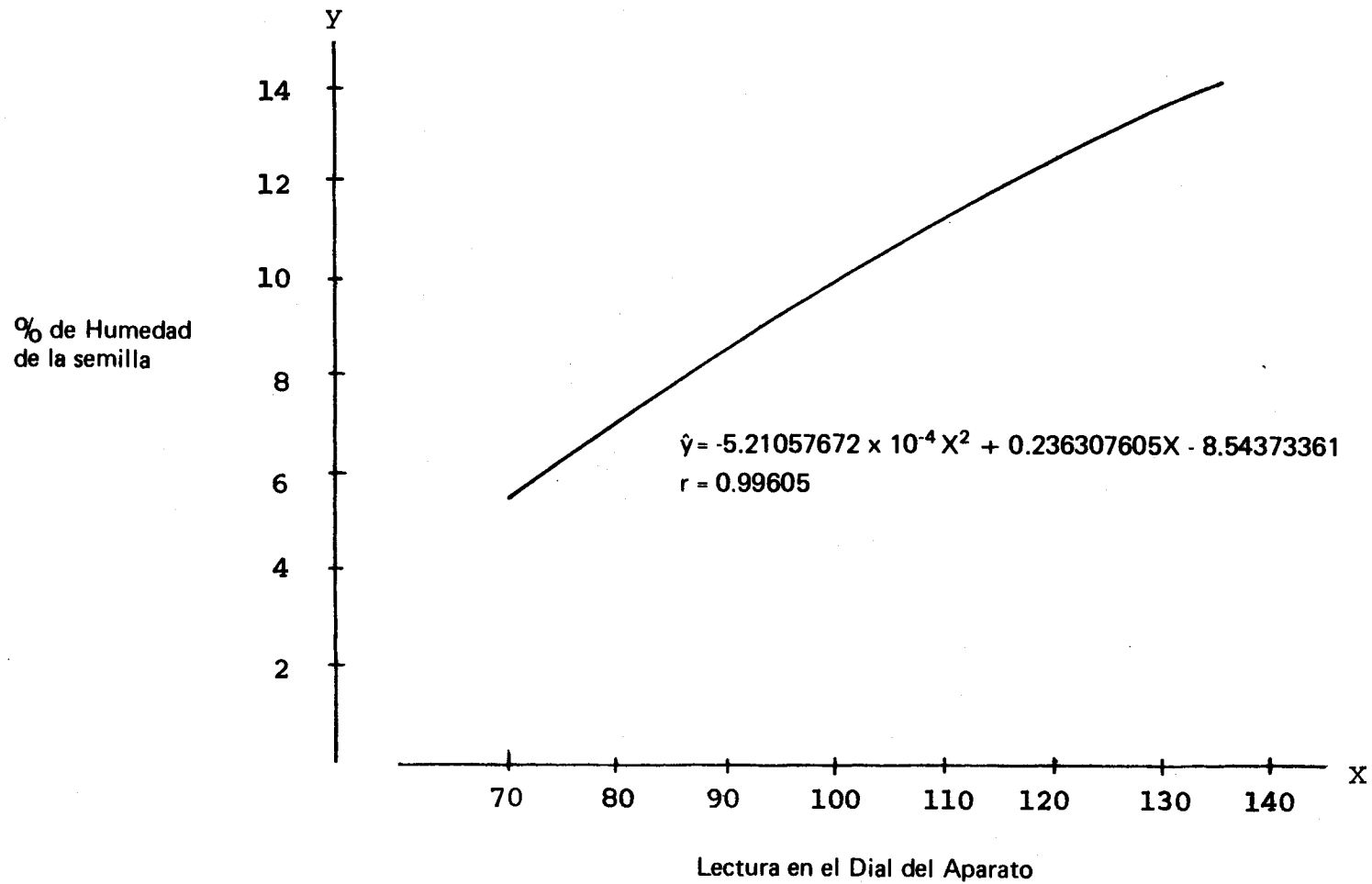


Figura 11. Cúvra de Regresión del Contenido de Humedad de la Especie *Pinus filifolia*

De la curva anterior, se obtuvieron los valores que se muestran en el Cuadro No. 21

**Cuadro No. 21**

**CORRESPONDENCIA ENTRE LA LECTURA DEL DIAL Y  
LA HUMEDAD DE LA SEMILLA DE *Pinus filifolia***

<b>Lectura del Aparato</b>	<b>o/o de Humedad</b>
70	5.4
75	6.2
80	7.0
85	7.8
90	8.5
95	9.2
100	9.9
105	10.5
110	11.1
115	11.7
120	12.3
125	12.9
130	13.4
135	13.9

### 6.11 Pinus maximinoi

Para esta especie se obtuvieron los resultados que se muestran en el Cuadro No. 22.

**Cuadro No. 22**  
**RESULTADOS DE LAS LECTURAS DE HUMEDAD DE**  
**LA SEMILLA DE Pinus maximinoi**

o/o de humedad obtenido en la Muestra	Temperatura en la Muestra (°F)	Lectura del Aparato DOLE	o/o de Humedad corregido por Temperatura
5.4	78	72	5.5
7.8	76	87	8.0
9.4	78	99	9.5
10.1	80	106	10.1
12.3	76	131	12.5
13.9	76	153	14.1

A estos valores experimentales se les aplicaron sistemáticamente los modelos estadísticos mencionados, seleccionándose para esta especie el polinomio de segundo grado de la forma  $\hat{y} = B_2X^2 + B_1X + B_0$  (regresión cuadrática en donde  $y =$  o/o de humedad y "X" = lectura del aparato), que fue el modelo que presentó el más alto valor de correlación.

Así se obtuvo la curva que se muestra en la Figura No. 12.



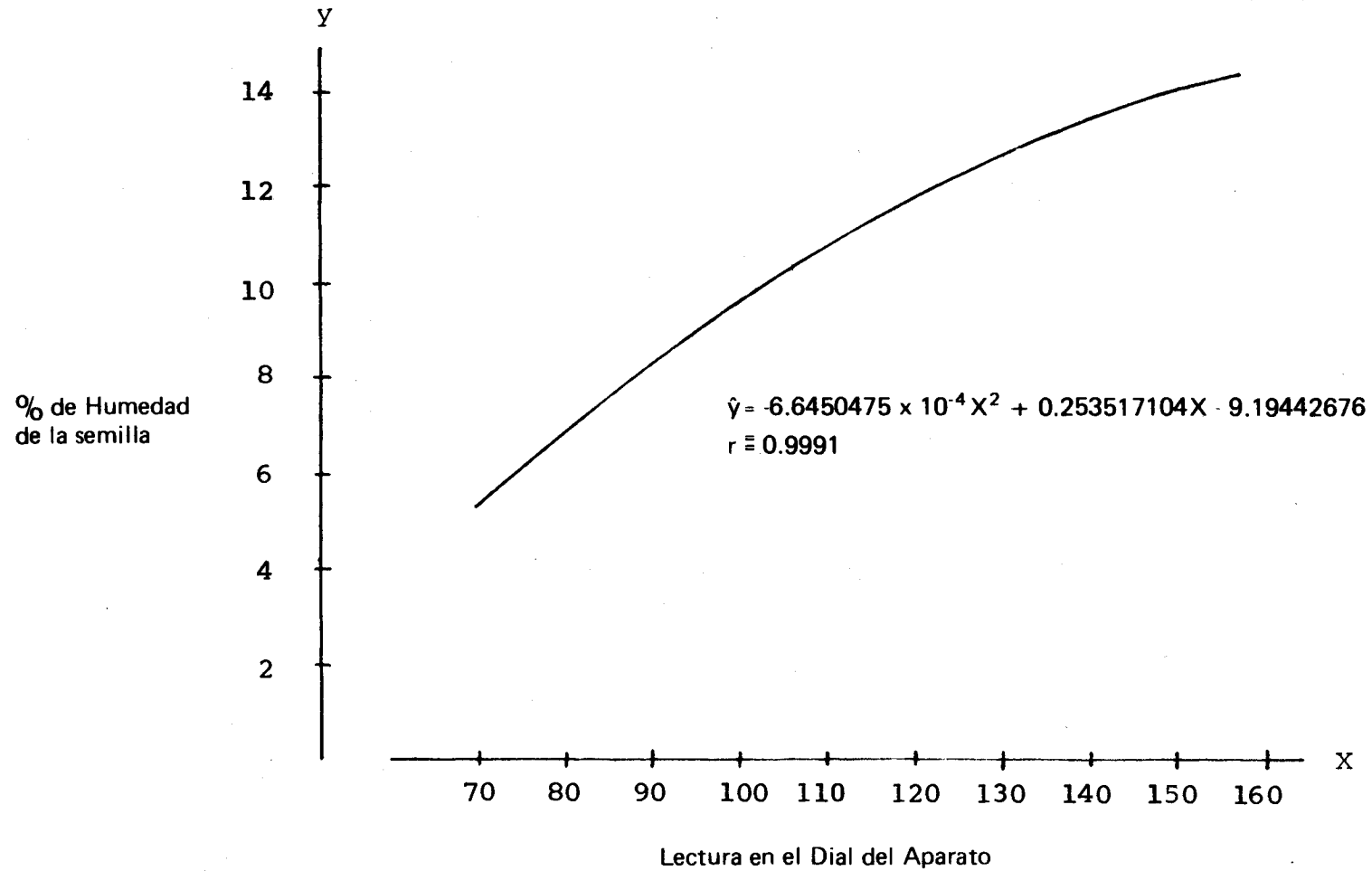


Figura 12. Curva de Regresión del Contenido de Humedad de la Especie *Pinus maximinoi*

De la curva anterior, se obtuvieron los valores que se muestran en el Cuadro No. 23.

**Cuadro No. 23**

**CORRESPONDENCIA ENTRE LA LECTURA DEL DIAL Y  
LA HUMEDAD DE LA SEMILLA DE *Pinus maximinoi***

<b>Lectura del Aparato</b>	<b>o/o de Humedad</b>
70	5.3
76	6.2
82	7.1
88	8.0
94	8.8
100	9.5
106	10.2
112	10.9
118	11.5
124	12.0
130	12.5
136	13.0
142	13.4
148	13.8

### 6.12 Pinus oocarpa

Para esta especie se obtuvieron los resultados que se muestran en el Cuadro No. 24.

**Cuadro No. 24**  
**RESULTADOS DE LAS LECTURAS DE HUMEDAD DE**  
**LA SEMILLA DE Pinus oocarpa**

<b>o/o de humedad obtenido en la Muestra</b>	<b>Temperatura en la Muestra (°F)</b>	<b>Lectura del Aparato DOLE</b>	<b>o/o de Humedad corregido por Temperatura</b>
7.2	74	81	7.5
8.6	76	90	8.8
10.0	78	101	10.1
10.9	78	109	11.0
12.5	78	126	12.6
14.1	76	144	14.3

A estos valores experimentales se les aplicaron sistemáticamente los modelos estadísticos mencionados, seleccionándose para esta especie el polinomio de segundo grado de la forma  $\hat{y} = B_2X^2 + B_1X + B_0$  (regresión cuadrática en donde  $y =$  o/o de humedad y "X" = lectura del aparato), que fue el modelo que presentó el más alto valor de correlación.

Así se obtuvo la curva que se muestra en la Figura No. 13.

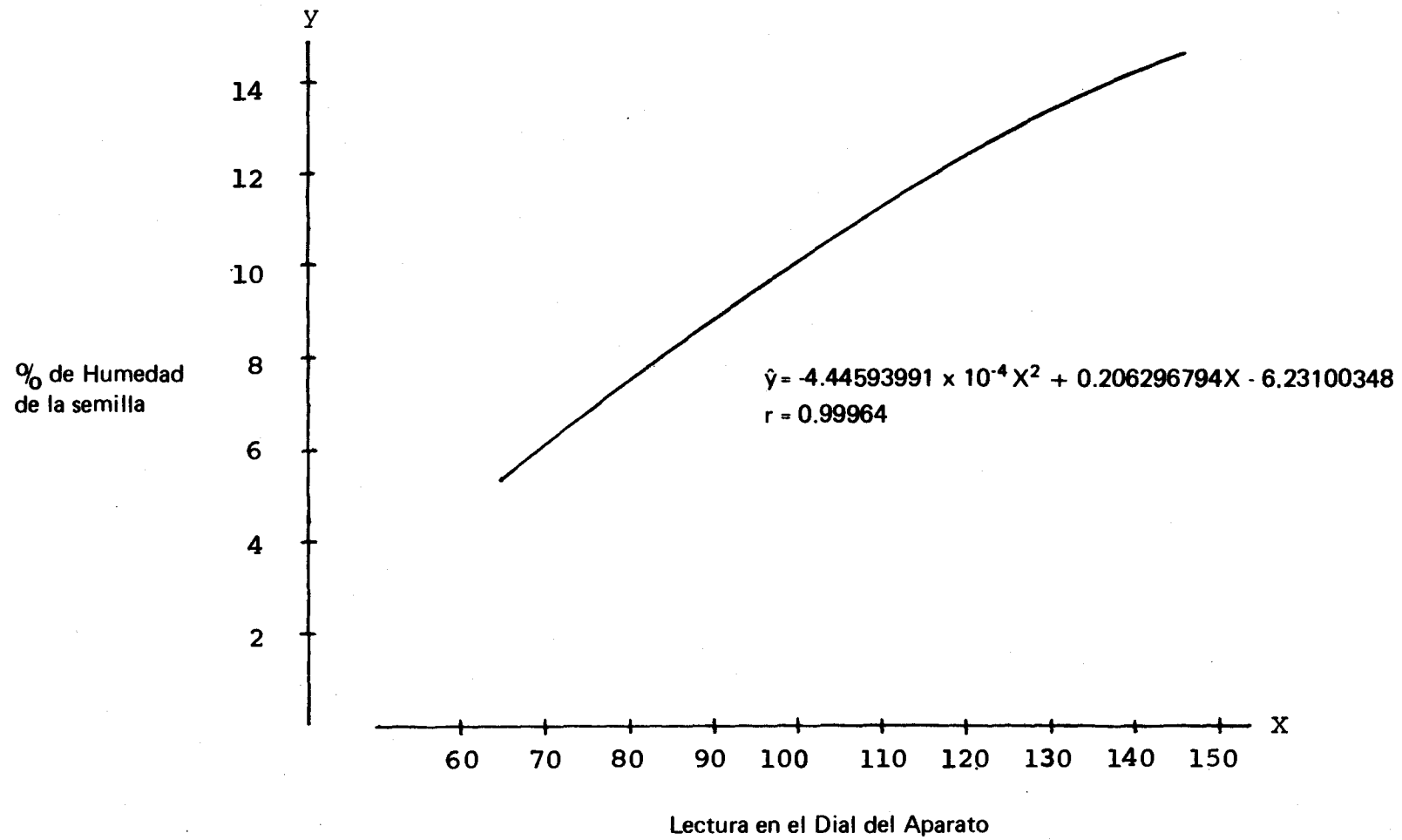


Figura 13. Curva de Regresión del Contenido de Humedad de la Especie *Pinus oocarpa*

De la curva anterior, se obtuvieron los valores que se muestran en el Cuadro No. 25.

**Cuadro No. 25**

**CORRESPONDENCIA ENTRE LA LECTURA DEL DIAL Y  
LA HUMEDAD DE LA SEMILLA DE *Pinus oocarpa***

<b>Lectura del Aparato</b>	<b>o/o de Humedad</b>
65	5.3
71	6.2
77	7.0
83	7.8
89	8.6
95	9.4
101	10.1
107	10.8
113	11.4
119	12.0
125	12.6
131	13.2
137	13.7
143	14.2

### 6.13 DISCUSION

Como puede observarse en la anterior exposición de los resultados, los datos de 11 de las 12 especies se ajustaron al modelo de regresión cuadrático, mostrando un alto coeficiente de correlación que fluctuó entre 0.99 y 0.97. Unicamente en la especie *Eucalyptus citriodora* se obtuvo un mejor ajuste al modelo lineal ( $r = 0.99973$ ), pero sin embargo, el ajuste de estos mismos datos al modelo cuadrático también fue bastante aceptable, observándose un coeficiente de regresión muy poco diferente al del modelo lineal ( $r = 0.99972$ ). Esto hace pensar que, el modelo cuadrático puede servir de base para la elaboración de tablas de conversión de semillas de otras especies, de tamaños similares a las usadas en este estudio.

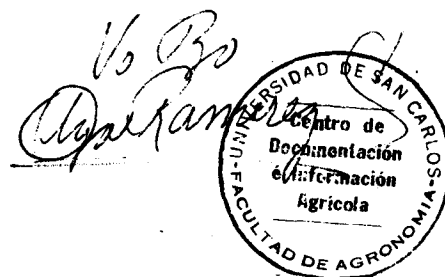
La metodología utilizada en este estudio mostró ser eficiente y práctica, dado que puede ser realizada en equipos sencillos y en corto tiempo. Además, los datos obtenidos son fáciles de analizar utilizando los procedimientos normales de regresión. En consideración a lo anterior, puede esperarse que, mediante la metodología probada en este estudio, puedan elaborarse tablas de conversión que sirvan para utilizar el aparato Dole 400 en la mayoría de especies forestales de semilla granular.

## 7. CONCLUSIONES

- 7.1 Considerando las características de las muestras en cuanto a homogeneidad, naturaleza y proveniencia, los resultados de correlación obtenidos son aceptables y los modelos obtenidos de ésta válidos dentro de los límites estadísticos examinados. Por lo tanto, se acepta como válida la hipótesis planteada.
- 7.2 Dado que la mayoría de semillas granulares de especies forestales presentan similar comportamiento con respecto a la forma de perder humedad, en base a lo observado, se puede esperar que exista también correlación entre la humedad de las semillas y la lectura del dial del aparato DOLE 400. Con esto no se debe generalizar el uso de un mismo modelo estadístico para todas las especies, pues como se pudo observar en este trabajo, aunque el modelo cuadrático mostró la más alta correlación para 11 de las 12 especies analizadas, hubo una especie que se adaptó mejor al modelo lineal.
- 7.3 En los análisis estadísticos realizados en la especie **Eucalyptus citriodora**, el coeficiente de correlación que se presentó para la ecuación de regresión lineal y para la ecuación de regresión cuadrática fue prácticamente el mismo; es decir, que se pudo haber tomado tanto el uno como el otro, pero para efectos de cálculo y manejo, resulta más fácil y cómodo tomar la ecuación de regresión lineal. De ahí, pues, es que se tomó dicha ecuación.
- 7.4 Se consiguió con este trabajo la elaboración de los cuadros, curvas y dar a conocer las ecuaciones que servirán para hallar cualquier valor de humedad de las especies analizadas y con éstos se tiene la seguridad de ayudar a agilizar las labores que podría desempeñar un banco semillero o alguna empresa forestal similar en lo que se refiere a almacenamiento y procesamiento de semillas.

BIBLIOGRAFIA

1. EATON CORPORATION. Operating instructions for the Dole Model 400 moisture tester. Illinois, U.S.A. Pp. 2-6.
2. HARRINGTON, J. F. Seed Biology. Wisconsin, University of Wisconsin, Dept. of Forestry, 1972. V.3 Pp. 146, 207-209.
3. HART, J.R. y GOLUMBIC, C. Methods of Moisture Determination in Seeds. Proceedings of the International Seed Testing Association. U.S.A. V.28 Pp. 911-930. 1963
4. GUATEMALA, INSTITUTO NACIONAL FORESTAL. El Banco de Semillas Forestales al servicio de la reforestación nacional. 1978. Pp. 1-11.
5. ----- . Plan para el desarrollo del recurso forestal 1976-1986. Guatemala, 1978. Pp. 1-89.
6. INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. Reglas internacionales para ensayos de semillas. España, 1977. Pp. 1-170.
7. LOPEZ H., J. Semillas forestales. Semillas de Conaf. Chile, Julio, 1979. Pp. 2, 5, 9, 10.
8. PATIÑO, F. y VILLAGOMEZ, Y. Los análisis de semillas y su utilización en la propagación de especies forestales. México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Boletín Divulgativo No. 40. Mayo, 1976. Pp. 1-6 y 13-14.
9. ROBBINS, A. M. J. Almacenamiento de semillas forestales. Curso sobre Organización y Técnicas de Programas Semilleros. Siguatepeque, Comayagua, Honduras, ESNACIFOR, 1980. Pp. 1-28.
10. ----- . Biología de las semillas forestales. Curso sobre Organización y Técnicas de Programas Semilleros. Siguatepeque, Comayagua, Honduras, ESNACIFOR, 1980. Pp. 29-31.
11. VILLAGOMEZ, Y.; VILLASEÑOR, R. y SALINAS, J. R. Lineamientos para el funcionamiento de un laboratorio de semillas. México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Boletín Divulgativo No. 48, Julio 1979. Pp. 5 y 13-14.





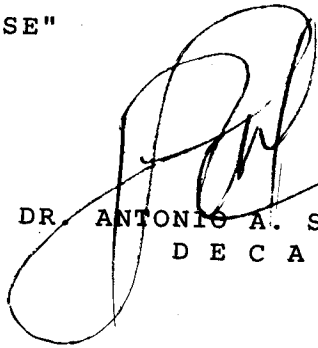
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA  
Ciudad Universitaria, Zona 12.  
Apartado Postal No. 1545  
GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia .....
Asunto .....
.....

"IMPRIMASE"

  
DR. ANTONIO A. SANDOVAL  
D E C A N O



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central  
Sección de Tesis