

COMPARACION ENTRE ALGUNOS METODOS PARA ESTIMAR EL AREA FOLIAR EN ARACEAS COMESTIBLES¹

J.A. SOTO*, R.A. MORENO**, J.A. ARZE*

Summary

In order to estimate indirectly, yet accurately, the leaf area for four species of edible aroids, seven methods based on measurements of leaf parts were devised. These measurements included: the distance between the petiole insertion and (1) the leaf apex, (2) the extreme right margin of the leaf lobe, and (3) the point of union between the two lobes. It was found that leaf areas estimated in this way and those measured electronically were very similar. By comparing the sums of the differences between real and estimated (indirectly calculated) foliar areas, an optimum method was calculated for each species.

Introducción

El crecimiento de las plantas se puede analizar en función del área foliar, la cual es una característica que puede ser más importante que la misma capacidad fotosintética de las hojas individuales (7).

La productividad de una población vegetal se puede medir a través de la intensidad de asimilación neta, que es la cantidad de materia seca elaborada por unidad de área foliar y de tiempo. También se usa el índice de área foliar que es la relación entre el área foliar y la superficie de suelo ocupado por la planta. Cuando los valores de estas variables son altos, la productividad también es alta (6, 7).

En los géneros comestibles de la Familia Araceae, *Xanthosoma* y *Colocasia*, existe correlación positiva entre el área foliar que se desarrolla durante el ciclo de crecimiento y la producción de cormos y cormelos (8, 9). Esta correlación es mayor durante la etapa de máximo desarrollo foliar de las plantas, que ocurre entre los cinco y siete meses después del estableci-

miento (3, 4, 5, 10). De esta manera, la determinación del área foliar, durante algunas etapas del ciclo de crecimiento, se puede utilizar para hacer predicciones acerca del posible rendimiento de cormos y cormelos con anticipación a la época misma de cosecha (8). Otro uso importante que se puede dar a la determinación del área foliar producida, es en investigación con estos géneros de aráceas comestibles, en donde, a través de esta variable se puede medir la respuesta a los tratamientos que se evalúan.

La determinación del área foliar en estas especies debería de hacerse indirectamente, de manera que no se sacrifiquen las plantas en cada período de medición, ya que en las poblaciones comerciales representaría una práctica antieconómica y en poblaciones experimentales obligaría a ampliar el área de cultivo.

En la literatura se describen algunos métodos de estimación de área foliar en aráceas basados en relaciones entre el área foliar real y algunas mediciones lineales de las hojas. Chapman (2) describe una metodología que consiste en medir una muestra de hojas la distancia desde el punto de inserción del pecíolo con la lámina hasta el ápice de la misma (longitud de la nervadura central) y la distancia desde el mismo punto de inserción del pecíolo hasta el extremo de los lóbulos (longitud del lóbulo). Estas mediciones se relacionan por una regresión lineal $Y = a + b x$, en la cual $Y =$ área foliar estimada, $x =$ longitud de la nervadura central $(\text{longitud del lóbulo})^2 / 1000$.

¹ Recibido para publicación el 1 de agosto de 1985.

* Departamento de Producción Vegetal. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.

Otro método, usado por Vásquez y Torres(9), se basa en la medición en una muestra de hojas del área foliar y de la longitud de la nervadura central. Dividiendo el área foliar real entre la longitud de la nervadura central, se obtiene un valor para cada hoja; el promedio de estos valores se usa como un factor de corrección. Para estimar el área foliar se multiplica la longitud de la nervadura central (medida en el campo sin eliminar la hoja) por sí misma y por el factor de corrección.

El objetivo de este trabajo consistió en desarrollar otros métodos de estimación del área foliar a partir de métodos ya descritos en la literatura, aplicarlos a dos géneros comestibles de la Familia Araceae y evaluar la eficiencia y exactitud, tanto de los métodos originales como de los derivados de ellos.

Materiales y métodos

Se utilizaron cuatro especies de aráceas comestibles presentes en la colección de germoplasma del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Turrialba, Costa Rica. En ellas están representados los tipos comunes de los dos géneros: tiquisque blanco (*Xanthosoma sagittifolium* Schott), tiquisque morado (*Xanthosoma violaceum*), malanga (*Colocasia esculenta* L. Schott var. *esculenta*-tipo dasheen), y ñampí (*Colocasia esculenta* L. Schott var. *antiquorum* Schott y *Rehder tipo eddoe*).

De cada especie se colectó una muestra de más de 150 hojas, incluyendo todos los tamaños. Se dibujaron sobre papel, se recortaron y se midió el área foliar real por medio de un medidor electrónico¹. Además

¹ Medidor fotométrico de área foliar LI 3000. LAMBA Instruments Corp. Lincoln, Nebraska, USA.

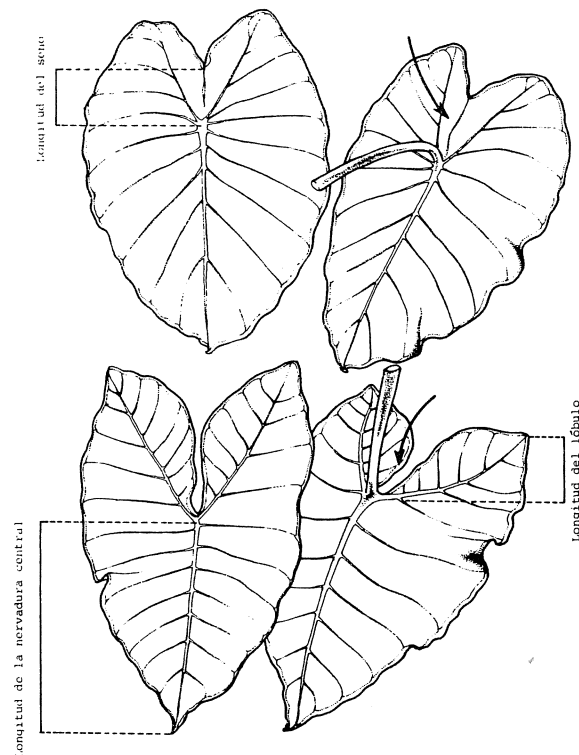


Fig. 1. Esquema de hojas de *Colocasia* sp (parte superior) y de *Xanthosoma* sp (parte inferior).

de cada hoja se midió la longitud de la nervadura central, del lóbulo derecho y del seno; este último solo en el género *Colocasia*. Estas mediciones corresponden a las distancias que existen entre el punto de inserción del pecíolo con la lámina hasta el ápice de la misma, hasta el extremo de los lóbulos y hasta la unión de ambos lóbulos (Fig. 1).

Cuadro 1. Ecuaciones de regresión y coeficientes de correlación entre el área foliar real y el área foliar estimada a través de medidas lineales en hojas de malanga (*Colocasia esculenta* var. *esculenta*-tipo dasheen); ñampí (*C. esculenta* var. *antiquorum*-tipo eddoe); tiquisque blanco (*Xanthosoma sagittifolium* Schott) y tiquisque morado (*X. violaceum*), Turrialba, Costa Rica, 1983.

Método*	CULTIVOS								
	Malanga		Ñampí		Tiquisque blanco		Tiquisque morado		
	Ecuación de regresión**	R ²	Ecuación de regresión	R ²	Ecuación de regresión	R ²	Ecuación de regresión	R ²	
1	A = 248.62 X ₁	0.66589	A = 241.73 X ₁	0.68119	A = 204.74 X ₁	0.65844	A = 178.7 X ₁	0.65977	0.9928
2	A = 390.29 X ₂	0.49758	A = 399.61 X ₂	0.48866					
3	A = 1.495 X ₃	1.925	A = 1.535 X ₃	1.9448	A = 1.132 X ₃	2.0036	A = 1.0567 X ₃	2.0185	0.9846
4	A = 8.422 X ₄	2.016	A = 2.810 X ₄	2.0694	A = 3.440 X ₄	1.9092	A = 2.602 X ₄	1.9404	0.9868
5	A = 16.684 X ₅	1.8662	A = 38.968 X ₅	1.447					
6	A = 10.07 + 0.9394 X ₆	0.9925	A = 19.56 + 0.9179 X ₆		A = 49.56 + 0.9317 X ₆		A = 1.17 + 1.0090 X ₆		0.9850
7	A = 17.20 + 1.0584 X ₇	0.9814	A = 47.09 + 1.1673 X ₇		A = 42.13 + 1.9320 X ₇		A = 6.489 + 0.9641 X ₇		0.9873

* En el método seis, los factores usados fueron 1.2397; 1.3372; 1.1692 y 1.1242 para malanga, ñampí, tiquisque blanco y tiquisque morado respectivamente. En el método siete los factores, en el mismo orden, fueron 3.5837; 3.3486; 2.7211 y 2.2606.

** A = área foliar estimada (variable dependiente); X = variable independiente, varía con el método: X₁ = longitud de la nervadura central (LNC) x longitud del lóbulo derecho elevado al cuadrado (LL)²/1000; X₂ = LNC x (LL)² x longitud del seno (LS)/10 000; X₃ = LNC; X₄ = LL; X₅ = LS; X₆ = (LMC)₂ x factor; X₇ = (LL)² x factor.

Cuadro 2. Valores (cm^2) de la suma de diferencias absolutas entre el área foliar real y área foliar estimada de todas las hojas muestreadas ($n > 150$) a través de mediciones lineales con siete métodos diferentes, para el total de hojas medidas en cada especie. Turrialba, Costa Rica, 1983.

Método	Diferencia*	Malanga	Ñampi	Tiquisque blanco	Tiquisque morado
1	Area - A_1	7 032	5 352	12 814 ¹	5 125 ¹
2	Area - A_2	7 430	8 875	-	-
3	Area - A_3	6 513	5 182 ¹	-	-
4	Area - A_4	10 198	8 784	15 961	7 084
5	Area - A_5	14 457	27 758	15 205	7 158
6	Area - A_6	6 228 ¹	5 450	16 260	7 132
7	Area - A_7	10 101	8 793	15 393	6 958

* Área foliar real - área foliar estimada

1 Método con la menor diferencia acumulada (mejor ajuste)

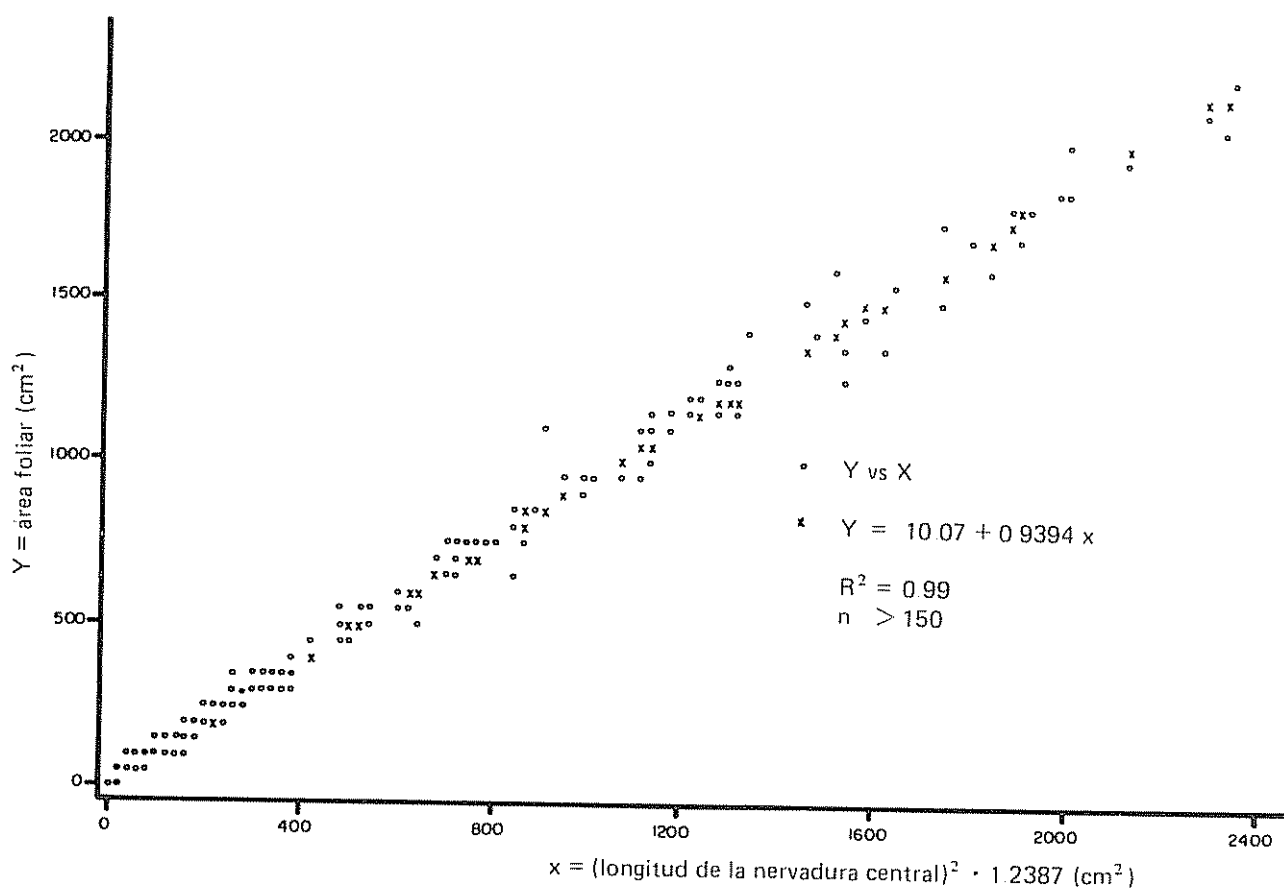


Fig 2. Representación gráfica del área foliar real (°) y estimada (x) de hojas de malanga en relación con la (longitud de la nervadura central)² · factor.

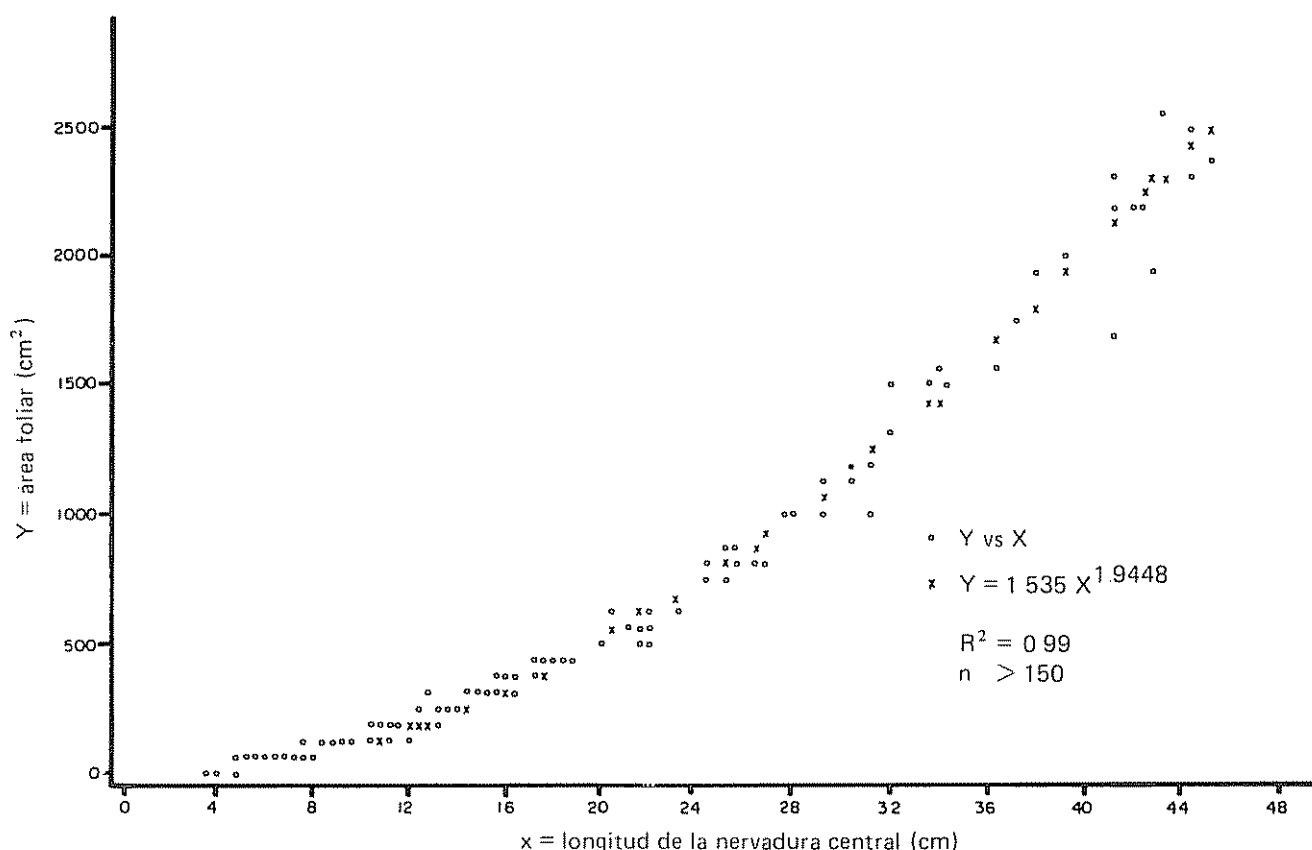


Fig 3 Representación gráfica del área foliar real (°) y estimada (x) de hojas de ñampi en relación con la longitud de la nevadura central

Con base en los métodos de estimación de área foliar descritos en la literatura (2, 9) e incluyendo a ellos mismos, se establecieron siete diferentes combinaciones de las mediciones de la nervadura central, lóbulo y seno que fueron:

- 1 = LNC · (LL)²/1000
- 2 = LNC (LL)² · LS/10 000
- 3 = LNC
- 4 = LL
- 5 = LS⁺
- 6 = (LNC)² · factor de corrección⁺⁺
- 7 = (LL)² · factor de corrección⁺⁺

donde:

- LNC = longitud de la nervadura central de la hoja
- LL = longitud del lóbulo derecho de la hoja
- LS = longitud del seno de la hoja
- + = únicamente para el género *Colocasia*
- ++ = factores de corrección determinados por promedio de las relaciones: área real/(LNC)² para la combinación 6; área real/LL² para la 7.

Cada una de las siete combinaciones se relacionó en forma gráfica con el área foliar real de las hojas. Para las primeras cinco combinaciones la relación con el área foliar mostró una tendencia ajustable a una función potencial $Y = a x^b$, donde: Y = variable dependiente (área foliar estimada), x = variable independiente (combinación de las mediciones de la nervadura central, lóbulo y seno), a = valor de la intersección X e Y, b = coeficiente de regresión (pendiente).

Para estimar los valores de a y b se transformó la función así: $\ln Y = \ln a + b \ln x$, y se hizo una regresión del $\ln Y$ en $\ln X$ para obtener el $\ln a$ y b. Para graficar se usó $Y = a x^b$, donde $a = e^{\ln a}$ o antilogaritmo de $\ln a$.

La relación de las combinaciones seis y siete con el área foliar real, mostró una tendencia ajustable a una función lineal $Y = a + bx$, se hizo una regresión de Y en X y se determinó el valor de a y b.

En cada una de las siete formas de estimación del área foliar usadas, se determinó el grado de asociación entre las variables X e Y o coeficiente de correlación

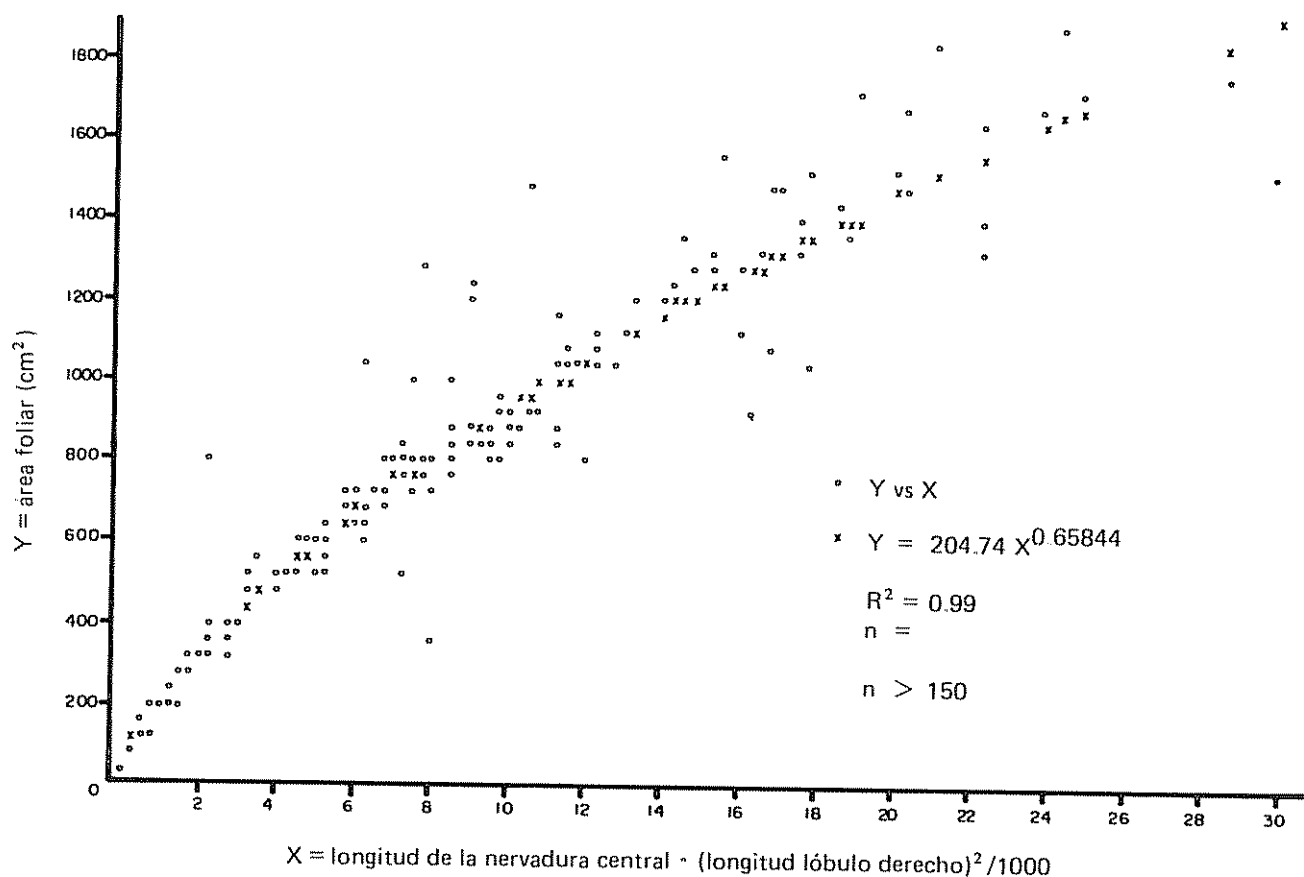


Fig. 4. Representación gráfica del área foliar real (°) y estimada (x) de hojas de Tiquisque blanco en relación con un valor de $X = \text{longitud de la nervadura central} \cdot (\text{Longitud lóbulo derecho})^2 \cdot 1000$.

(R^2). También se obtuvo la diferencia entre el área foliar real y el área foliar estimada con las ecuaciones para todas las observaciones de las muestras seleccionadas, y la suma de desviaciones, lo que permitió comparar la bondad de los métodos usados para estimación de área foliar.

Resultados y discusión

En todos los métodos de estimación de área foliar utilizados, el grado de asocio o coeficiente de correlación entre el área foliar real y el área foliar estimada, fue mayor en el tiquisque morado (*X. violaceum*) y malanga (*Colocasia esculenta* var. *esculenta*-tipo *dasheen*) en relación con las demás especies evaluadas.

Un resultado importante en esta investigación lo constituye la observación de que la relación entre el área foliar real y la combinación de medidas de la hoja dada por: longitud de la nervadura central $\cdot (\text{longitud de lóbulo derecho})^2 / 1000$, no presenta real-

mente una tendencia de tipo lineal, tal como lo describió Chapman (2), sino que se ajusta de mejor forma a una función de tipo potencial $Y = a x^b$ (Figs. 4 y 5).

Las diferentes metodologías de estimación de área foliar se basaron en las mediciones de partes de la hoja misma, como lo son la distancia entre el punto de inserción del pecíolo con la lámina hasta el ápice de la misma, hasta el extremo del lóbulo derecho y hasta el punto de unión de los lóbulos. Esta última es la menos recomendable ya que el coeficiente de correlación que se obtuvo con la relación entre el área foliar real con la longitud del seno (combinación 2) fue el de menor grado de ajuste, en comparación con las demás combinaciones o metodologías evaluadas (Cuadro 1).

Se obtuvo la suma de diferencias entre el área foliar real y el estimado con cada una de las metodologías, para todas las observaciones de muestras de hojas seleccionadas en el campo y se determinó que

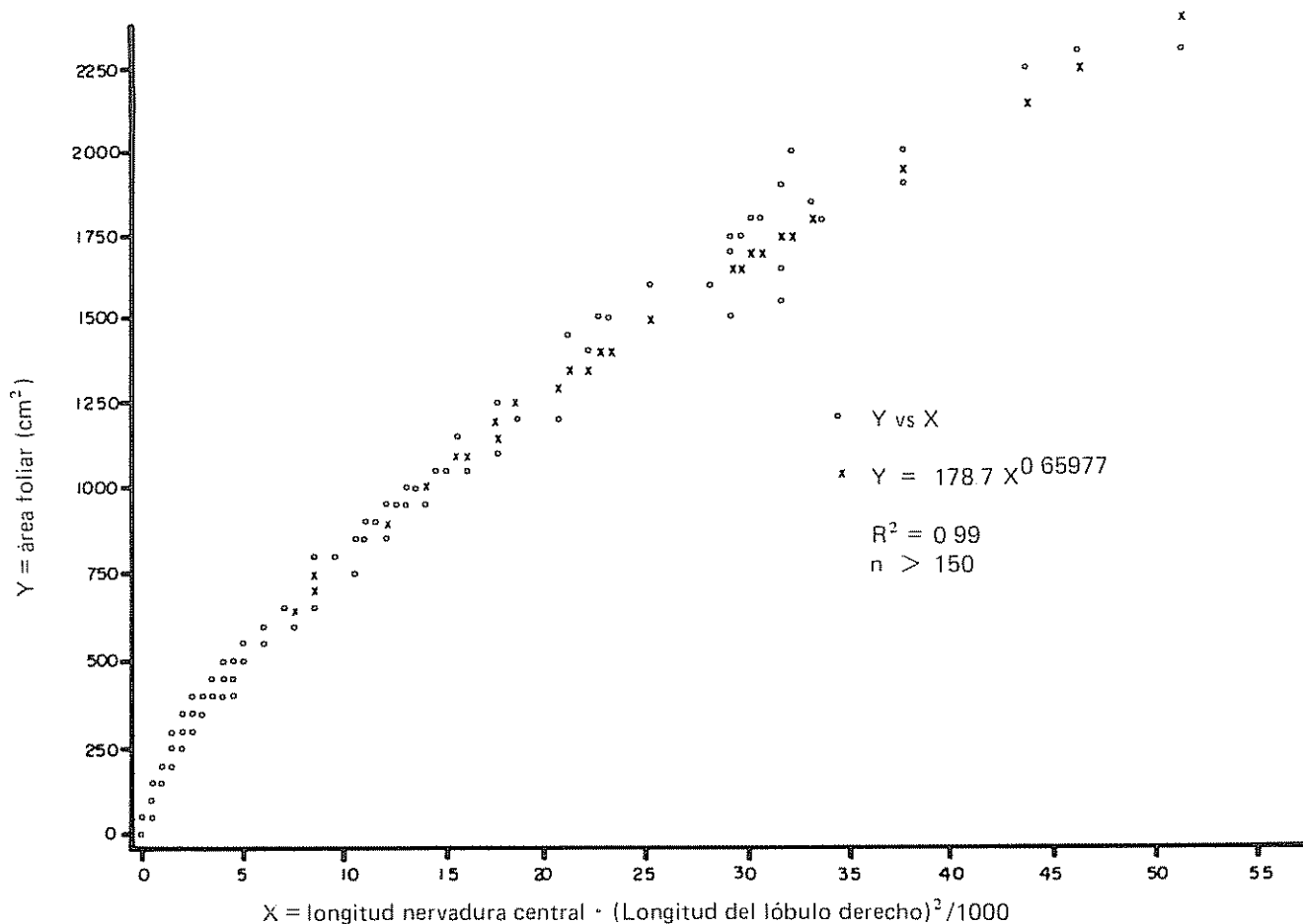


Fig 5 Representación gráfica del área foliar real (°) y estimada (x) de hojas de Tiquisque en relación con un valor de $X = \text{longitud de la nervadura central} \cdot (\text{longitud del lóbulo derecho})^2 / 1000$

los métodos de mejor ajuste (menor diferencia acumulada) son: el 6 para malanga, el 3 para ñampi y el 1 para tiquisque blanco y morado (Cuadro 2).

En las Figs 2, 3, 4 y 5 se presenta una comparación entre las tendencias de los datos reales y de los estimados en los métodos de mejor ajuste para cada cultivo.

Las ecuaciones obtenidas como de mejor ajuste en cada uno de los cultivos se pueden utilizar en investigaciones futuras como una herramienta de estimación del área foliar, a partir de mediciones lineales de las hojas en el campo. Contribuyen a facilitar la labor del investigador, además de incrementar el conocimiento adquirido sobre las aráceas comestibles.

Resumen

Con el propósito de encontrar un método exacto para medir indirectamente el área foliar en cuatro

especies de aráceas comestibles, se diseñaron siete métodos indirectos diferentes basados en mediciones de partes de la hoja. Estas mediciones incluyeron la distancia entre el punto de inserción del pecíolo hasta el ápice de la hoja; hasta el extremo del lóbulo derecho y hasta el punto de unión de los lóbulos. Las áreas foliares determinadas indirectamente se compararon con los valores reales de área foliar obtenidos electrónicamente. Con base en la suma de las diferencias entre el área foliar real y el calculado indirectamente, se seleccionó el método de mejor ajuste para cada una de las especies.

Literatura citada

1. CALZADA BENZA, J. 1970. Métodos estadísticos para la investigación. Lima, Perú, Jurídica 611 p.
2. CHAPMAN, I. 1964. A note on the measurement of leaf area of the Tannia (*Xanthoso-*

- ma sagittifolium*) Tropical Agriculture 41:351-352.
3. ENYI, B.A.C. 1967a. Effects of age on establishment and yield of cocoyam setts (*Xanthosoma sagittifolium* Schott). Experimental Agriculture 3:121-127.
 4. ENYI, B.A.C. 1967b. Effects of spacing, sett size, ridging and mulching on the development and yield of cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium* Schott). Tropical Agriculture 44:53-60.
 5. ENYI, B.A.C. 1968. Growth of cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium* Schott). Indian Journal of Agricultural Science 38:627-633.
 6. LARCHER, W. 1977. Ecofisiología Vegetal. Barcelona, España, Omega. 205 p.
 7. LEOPOLD, A.C.; KRIEDEMANN, P.E. 1975. Plant growth and development. 2nd edition, New Delhi, Mac Graw Hill. 545 p.
 8. REDDY, V.B.; MEREDITH, W.F.; BROWN, B.T. 1968. A note on the relationship between corm yield and certain leaf measurements in Taro (*Colocasia esculenta* (L) Schott). Tropical Agriculture 45:243-246.
 9. VASQUEZ BECALLI, E.; TORRES GARCIA, S. 1974. Influencia del materia de siembra sobre el crecimiento y desarrollo de *Xanthosoma sagittifolium* Schott (var. blanca). Centro Agrícola (Cuba). 1:31-43.
 10. VASQUEZ BECALLI, E.; TORRES GARCIA, S. 1974. Crecimiento y desarrollo de *Colocasia esculenta* Schott (var. isieña japonesa) y *Xanthosoma sagittifolium* Schott (var. blanca) en condiciones de secano en Cuba. Centro Agrícola (Cuba) 3:9-24.
 11. WALKER, E. 1979. Algunas relaciones no lineales y su aplicación en la investigación agrícola. /n.p./ 24 p.

Notas y comentarios

Intercambio de genes en el proceso evolucionario

Las novedades genéticas constituyen la materia prima de la evolución y se considera que emergen de dos fuentes principales, las mutaciones en las células germinales y la mezcla de genes durante la reproducción sexual. Pero, muchos científicos están ahora especulando sobre otra posible fuente, la transferencia directa de material genético de una especie a otra

Si tal transferencia a través de la barrera que separa a las especies puede ocurrir en cierto grado significativo, entonces las ideas sobre el mecanismo de la evolución pueden ser radicalmente transformadas. Como han señalado recientemente Douglas Erwin y James Valentine, de la Universidad de California, la transferencia de genes entre especies permitiría que la evolución ocurriese en pasos más rápidos y drásticos de lo que se había pensado anteriormente (*Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, vol. 81, p. 5 482).

Los candidatos más favorecidos y familiares para la tarea de portadores de genes entre especies son los virus, los que pueden hacer dos cosas que podrían darles este importante papel en la evolución. Primero, ellos pueden recoger material genético de los cromosomas de las células infectadas e incorporarlo en el genoma vírico. Segundo, ellos pueden más tarde depositar este material genético capturado, dentro de los cromosomas de otras células hospedantes.

Así, los virus tienen la capacidad de transportar genes enteros, del DNA de un organismo hasta el de otro, quizás de una especie diferente

Aunque el efecto de tales transferencias podría normalmente ser dañina, ocasionalmente un gen útil, o un grupo de genes, podrían llegar a ser incorporados dentro del DNA de las células germinales del organismo hospedante. Esto podría permitir que futuras generaciones, derivadas de estas células germinales, se desarrollen hacia un nuevo y más exitoso organismo

Los virus no son los únicos candidatos para efectuar transferencia de genes entre especies. Los "transposones" (pequeñas secciones de DNA móvil que ocasionalmente escapan a través de las fronteras entre especies), pueden también realizar la tarea. Ciertamente, los transposones bacterianos se sabe con certeza que transfieren genes útiles entre especies de bacterias, así que quizás aquéllos de los organismos más altos podrían hacerlo también.

El creciente interés en la posibilidad de transferencia de genes entre especies está reviviendo la teoría del "monstruo promisorio" de Richard Golschmidt (*The Material Basis of Evolution*, Yale, 1950). La teoría proponía que la evolución podría proceder no sólo por la lenta acumulación de muchas pequeñas mutaciones, sino también por el nacimiento de "monstruos" ocasionales cuyas deformidades podrían en realidad darles una ventaja. Una dificultad primordial con esta idea es que habría con seguridad poca oportunidad de que aparecieran al mismo tiempo y en el mismo lugar monstruos similares como para producir una población reproductiva. Pero si los monstruos fueran generados por una infección vírica, entonces sería perfectamente posible una aparición simultánea de monstruos similares en una comunidad.

Michael Syvanen, de la Universidad de Harvard, ha sugerido que la transferencia interespecífica de genes podría explicar tales "identidades" como las sendas de desarrollo similar seguidas por especies lejanamente relacionadas, o aún hasta la universalidad del código genético (*J. Theor. Biol.* vol. 112, p. 333). Argumenta que la presión evolucionaria mantiene el desarrollo y los procesos genéticos de especies distantes tan similares como sea posible. Esto maximiza las oportunidades para que genes transferidos de una especie sean capaces de incorporación útil en el programa de desarrollo de otra especie.

En medio de todo, estas alegres especulaciones hay en realidad alguna buena evidencia que sugiere que la transferencia interespecífica de genes ha ocurrido en la evolución. Por lo menos seis genes han sido hasta ahora identificados como fuertes candidatos para participación en tales eventos en el pasado (*Science*, vol. 217, p. 42).

Aquéllos que creen que la evolución presenta un "equilibrio puntuado", en el que largos períodos de calma evolutiva están puntuados por cortas erupciones de cambio rápido, estarán prestando un agudo interés en el desarrollo de estas nuevas ideas tan poco ortodoxas. Ellos podrán decirnos cómo se produjeron las dramáticas novedades en la evolución

Hay algunas otras herejías en la teoría evolucionaria, especialmente una que parece que está recibiendo alguna confirmación experimental. Se trata de la evolución por endosimbiosis, sostenida desde hace años por una mujer, Lynn Magulis. La biología molecular moderna ha producido evidencia convincente de que los cloroplastos, esas estructuras que hacen que las plantas hagan la fotosíntesis, fueron en un principio bacterias independientes. Pero, esta fascinante historia la dejaremos para otra ocasión. **Adalberto Gorbitz**.