

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Escuela Académico Profesional de Agronomía



TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

**ESTIMACIÓN DEL ÁREA FOLIAR EN OCHO MORFOTIPOS DE
YACÓN, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl) H. Rob.
MEDIANTE ECUACIONES ALOMÉTRICAS**

PRESENTADO POR:

BACHILLER: *Israel Oblitas Edquén*

ASESOR: Dr. Juan Francisco Seminario Cunya

Cajamarca - Perú

-2015-

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y ser mi guía en el rumbo de este mundo, por enseñarme a levantarme de cada caída, superar cada obstáculo que se presente y alcanzar mis metas trazadas.

En memoria de mi padre por enseñarme a perseverar y alcanzar los objetivos más nobles de la vida.

A mi madre Rosa Elvira, quien es el soporte y la fuerza constante en mi formación profesional.

A mis queridos hermanos y familiares, quienes me brindan su apoyo incondicional, estímulos de superación y me inculcaron por la senda de la justicia y verdad.

A mis amigos y amigas que en los tiempos difíciles estuvieron conmigo y me brindaron su amistad, apoyo incondicional, palabras de ánimo para convertir mis problemas en retos y mis miedos en fuerzas inagotables.

Israel Oblitas Edquén

AGRADECIMIENTO

A Dios por sobre todas las cosas, por darme la oportunidad de existir y ser útil en este pasó por la vida.

A mi madre, hermanos y familiares, que cada instante a pesar de la distancia confiaron en mí y me brindaron su apoyo incondicional. Quienes me enseñaron que los consejos no se discuten, se agradecen.

De manera especial al Dr. Juan Francisco Seminario Cunya, por su amistad, su valioso aporte científico, orientación, seguimiento y supervisión continúa en la presente investigación.

A todos los Docentes de la Escuela Académico Profesional de Agronomía, por las enseñanzas que me impartieron durante mi formación profesional.

Israel Oblitas Edquén

Resumen

El propósito de esta investigación fue encontrar un método no destructivo para estimar el área foliar en ocho morfotipos de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) del norte peruano, usando el largo (L) y ancho (W) de las láminas. El estudio se realizó con el germoplasma y en las instalaciones del Programa de Raíces y Tubérculos Andinos, de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca. De cada morfotipo, se tomaron entre 100 y 150 hojas de tres estratos de la planta (inferior, medio y superior), y según el número de entradas que lo conformaban. Las siluetas de las hojas frescas se dibujaron en papel periódico. Se midió el área de las siluetas (área real) mediante un planímetro digital (PLACOM KP - 80N). Se midió el L y W mayor de las láminas y se calcularon el L^2 , W^2 , $L \times W$ y L/W . Con estas medidas y el área medida se realizó el análisis de correlación lineal y regresión para cada morfotipo. Las mejores estimaciones del área foliar de los morfotipos se lograron con las ecuaciones alométricas con intervención de $L \times W$. La ecuación que permite estimar el área de los morfotipos en conjunto fue $A = 0.4167 (L \times W) + 17.284$, con un grado de aproximación de 101.21 ± 10.02 ($r^2=0.8915$). Se encontró una alta relación entre el área real y área estimada ($r^2 = 0.8915$) mediante esta ecuación $A = 0.4167 (L \times W) + 17.284$.

Palabras clave: *Smallanthus sonchifolius*, área foliar, morfotipos, alometría.

Abstract

The purpose of this research was to find a nondestructive to estimate leaf area in eight morphotypes yacon (*Smallanthus sonchifolius*) of northern Peru, using the length (L) and width (W) of the sheets method. The study was conducted with the germplasm and facilities Program ARTC, Faculty of Agricultural Sciences, National University of Cajamarca. Of each morphotype were taken between 100 and 150 sheets of three strata of the (bottom, middle and top) floor, and as the number of entries that conformed. Silhouettes of fresh leaves were drawn on newsprint. Silhouettes area (real area) using a digital planimeter (- 80N Placom KP) was measured. The larger W and L of the sheets was measured and L^2 , W^2 , $L \times W$ and L / W was calculated. With these measures and the area measured linear correlation analysis and regression for each morphotype was performed. The best estimates of leaf area morphotypes were achieved with allometric equations with the intervention of $L \times W$. The equation to estimate the area of morphotypes in all it was $A = 0.4167 (L \times W) + 17,284$, with a degree of approximation of 101.21 ± 10.02 ($r^2 = 0.8915$). A high ratio between the area estimated and actual area ($r^2 = 0.8915$) by the equation $A = 0.4167 (L \times W) + 17 284$ was found.

Keywords: *Smallanthus sonchifolius*, leaf area, morphotypes, allometry.

ÍNDICE

CAPÍTULO	Pág.
RESUMEN	<i>i</i>
ABSTRACT	<i>ii</i>
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
III. MATERIALES Y MÉTODOS... ..	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	30
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
ANEXOS.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas	Pág.
1 Ecuaciones de regresión desarrolladas para estimar el área de las hojas de girasol, usando el largo y ancho de la lámina.	6
2 Ecuaciones de regresión para estimar el área foliar en 6 especies frutícolas.	7
3 Ecuaciones para estimar el área foliar en varias especies cultivadas, según diferentes autores.	9
4 Grado de correlación entre las variables (X, Y).	16
5 Características morfológicas de ocho morfotipos de yacón del norte peruano, domesticado y mantenidas por el Banco de Germoplasma de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca.	22
6 Número de hojas por morfo tipo.	23
7 Formato de tabla en donde se acopiaron los datos de las medidas lineales, sus combinaciones y el área real (o medida) tomada con el planímetro.	27
8 Valores de largo (L), ancho (W), (L x W), (L/W) y área real de ocho morfotipos de yacón del norte peruano.	31
9 Ecuaciones de regresión con las diferentes variables, para estimar el área de las hojas de yacón del morfotipo I del norte peruano.	35
10 Ecuaciones de regresión con las diferentes variables, para estimar el área de las hojas de yacón del morfotipo II del norte peruano.	39
11 Ecuaciones de regresión con las diferentes variables, para estimar el área de las hojas de yacón del morfotipo III del norte peruano.	43
12 Ecuaciones de regresión con las diferentes variables, para estimar el área de las hojas de yacón del morfotipo IV del norte peruano.	47
13 Ecuaciones de regresión con las diferentes variables, para estimar el área de las hojas de yacón del morfotipo V del norte peruano.	51
14 Ecuaciones de regresión con las diferentes variables, para estimar el área de las hojas de yacón del morfotipo VI del norte peruano.	55

15	Ecuaciones de regresión con las diferentes variables, para estimar el área de las hojas de yacón del morfotipo VII del norte peruano.	59
16	Ecuaciones de regresión con las diferentes variables, para estimar el área de las hojas de yacón del morfotipo VIII del norte peruano.	63
17	Ecuaciones de regresión con las medidas lineales de las hojas, para estimar el área de ocho morfotipos de yacón del norte peruano.	68
18	Área del peciolo con respecto del área total de la hoja de yacón.	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Pág.
1 Correlación positiva.	17
2 Correlación negativa.	18
3 Correlación nula o ausencia de correlación.	18
4 Forma de la lámina de la hoja del yacón, en cultivares del norte peruano.	21
5 Forma como se dispusieron las hojas de yacón sobre el papel periódico para el dibujo.	24
6 Silueta de la hoja, dibujada en papel periódico.	24
7 Forma como se dispuso el planímetro para determinar el área real de las láminas.	25
8 Forma como se tomó el largo y ancho de la lámina.	26
9 Hoja de yacón. Obsérvese el peciolo alado con área verde y la nervadura central trifurcada desde la base de la lámina	29
10 Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo de las hojas del morfotipo I del norte peruano.	32
11 Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho de las hojas del morfotipo I del norte peruano.	32
12 Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo ² de las hojas del morfotipo I del norte peruano.	33
13 Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho ² de las hojas del morfotipo I del norte peruano.	33
14 Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el producto de largo x ancho de las hojas del morfotipo I del norte peruano.	34
15 Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y la razón largo/ancho de las hojas del morfotipo I del norte peruano.	34
16 Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el área estimada mediante el producto del largo x ancho de las hojas del morfotipo I del norte peruano.	35

17	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo de las hojas del morfotipo II del norte peruano.	36
18	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho de las hojas del morfotipo II del norte peruano.	36
19	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo ² de las hojas del morfotipo II del norte peruano.	37
20	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho ² de las hojas del morfotipo II del norte peruano.	37
21	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el producto de largo x ancho de las hojas del morfotipo II del norte peruano.	38
22	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y la razón largo/ancho de las hojas del morfotipo II del norte peruano.	38
23	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el área estimada mediante el largo ² de las hojas del morfotipo II del norte peruano.	39
24	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo de las hojas del morfotipo III del norte peruano.	40
25	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho de las hojas del morfotipo III del norte peruano.	40
26	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo ² de las hojas del morfotipo III del norte peruano.	41
27	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho ² de las hojas del morfotipo III del norte peruano.	41
28	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el producto de largo x ancho de las hojas del morfotipo III del norte peruano.	42
29	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y la razón largo/ancho de las hojas del morfotipo III del norte peruano.	42

30	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el área estimada mediante el producto del largo x ancho de las hojas del morfotipo III del norte peruano.	43
31	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo de las hojas del morfotipo IV del norte peruano.	44
32	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho de las hojas del morfotipo IV del norte peruano.	44
33	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo ² de las hojas del morfotipo IV del norte peruano.	45
34	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho ² de las hojas del morfotipo IV del norte peruano.	45
35	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el producto de largo x ancho de las hojas del morfotipo IV del norte peruano.	46
36	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y la razón largo/ancho de las hojas del morfotipo IV del norte peruano.	46
37	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el área estimada mediante el producto del largo x ancho de las hojas del morfotipo IV del norte peruano.	47
38	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo de las hojas del morfotipo V del norte peruano.	48
39	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho de las hojas del morfotipo V del norte peruano.	48
40	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo ² de las hojas del morfotipo V del norte peruano.	49
41	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho ² de las hojas del morfotipo V del norte peruano.	49

42	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el producto de largo x ancho de las hojas del morfotipo V del norte peruano.	50
43	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y la razón largo/ancho de las hojas del morfotipo V del norte peruano.	50
44	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el área estimada mediante el producto del largo x ancho de las hojas del morfotipo V del norte peruano.	51
45	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo de las hojas del morfotipo VI del norte peruano.	52
46	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho de las hojas del morfotipo VI del norte peruano.	52
47	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo ² de las hojas del morfotipo VI del norte peruano.	53
48	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho ² de las hojas del morfotipo VI del norte peruano.	53
49	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el producto de largo x ancho de las hojas del morfotipo VI del norte peruano.	54
50	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y la razón largo/ancho de las hojas del morfotipo VI del norte peruano.	54
51	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el área estimada mediante el producto del largo x ancho de las hojas del morfotipo VI del norte peruano.	55
52	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo de las hojas del morfotipo VII del norte peruano.	56
53	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho de las hojas del morfotipo VII del norte peruano.	56

54	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo ² de las hojas del morfotipo VII del norte peruano.	57
55	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho ² de las hojas del morfotipo VII del norte peruano.	57
56	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el producto de largo x ancho de las hojas del morfotipo VII del norte peruano.	58
57	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y la razón largo/ancho de las hojas del morfotipo VII del norte peruano.	58
58	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el área estimada mediante el producto del largo x ancho de las hojas del morfotipo VII del norte peruano.	59
59	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo de las hojas del morfotipo VIII del norte peruano.	60
60	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho de las hojas del morfotipo VIII del norte peruano.	60
61	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo ² de las hojas del morfotipo VIII del norte peruano.	61
62	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho ² de las hojas del morfotipo VIII del norte peruano.	61
63	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el producto de largo x ancho de las hojas del morfotipo VIII del norte peruano.	62
64	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y la razón largo/ancho de las hojas del morfotipo VIII del norte peruano.	62

65	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el área estimada mediante el largo de las hojas del morfotipo VIII del norte peruano.	63
66	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo de las hojas de yacón del norte peruano.	65
67	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho de las hojas de yacón del norte peruano.	65
68	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo ² de las hojas de yacón del norte peruano.	66
69	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho ² de las hojas de yacón del norte peruano.	66
70	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el producto de largo x ancho de las hojas de yacón del norte peruano.	67
71	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y la razón largo/ancho de las hojas de yacón del norte peruano.	67
72	Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el área estimada mediante el producto del largo x ancho de las hojas de yacón del norte peruano.	68

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El yacón, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson (Asteraceae), es una planta domesticada hace siglos por las culturas preincas, cuyo hábitat original son las tierras altas de los Andes, desde el sur de Colombia hasta el norte de Argentina, entre los 1800 y 2800 msnm, en climas templados montañosos. Sin embargo, se adapta fácilmente a una diversidad amplia de climas y suelos, desde el nivel del mar hasta los 3500 msnm (Muñoz 2009).

Es una planta utilizada por las culturas antepasadas como una “fruta” refrescante o alimento de bajas calorías. Sus raíces están compuestas mayormente por agua (85 a 90 %). El 40 al 70% de su peso seco está en forma de oligofruktanos (FOS), azúcares especiales con efectos favorables para la salud humana, y compuestos con un alto poder antioxidante, por lo que es considerado como medicinal, para tratar problemas de diabetes (Polanco 2011).

Uno de los aspectos poco estudiados del yacón es la productividad, en relación a los diferentes morfotipos o cultivares que existen en el Perú. Existen algunos estudios preliminares que indican que es una planta altamente productiva. A nivel experimental, se registran entre 16 a más de 100 t/ha de raíces. Y se considera que los agricultores en los Andes obtienen en promedio entre 20 a 40 t/ha (Polreich 2003).

Un estudio sobre la producción de hojas con los tres morfotipos más conocidos en el norte peruano (púrpura, verde claro y verde), con siembra a distanciamientos de 0.90m x 0.60 m, cada planta produce entre 8 a 11 tallos, cada tallo produce entre 13 a 16 hojas, es decir, se puede producir entre 200 a 350 hojas/planta. Cada planta produce de 1642 a 2153 g de hoja fresca que significa 164 a 215 g de hoja seca al ambiente. Por lo tanto se puede producir entre 3 a 4 t de hoja seca/ha (Seminario *et al.* 2003).

Son necesarios más estudios sobre la producción de hoja, tomando en cuenta otros morfotipos y otros factores como densidad de plantación, abonamiento, época de siembra, intervalo de cosecha, entre otros. Tampoco se han realizado estudios sobre el análisis de crecimiento, para determinar las etapas críticas de la planta en relación a las condiciones ambientales. Sin embargo, estos estudios requieren necesariamente la evaluación del área foliar y las variables relacionadas. A su vez, la evaluación del área foliar, requiere contar con métodos prácticos y no destructivos. Es decir, que permitan estimar el área foliar sin destruir las hojas y las plantas, tal como se realiza en otras especies.

1.1. Planteamiento del problema

El yacón, ha pasado de ser una planta de pequeños huertos familiares, a una planta con posibilidades de desarrollo, como un producto de alto potencial benéfico para la salud humana como nutracéutico (Seminario 2008).

Es por eso que es necesario conocer sus componentes fisiológicos ligados al crecimiento de la planta. Uno de estos componentes es el área foliar y su determinación permitirá conocer el tamaño del sistema asimilatorio de la planta, el cual determina a su vez los rendimientos biológico y agronómico.

La búsqueda de un método no destructivo y práctico, para la determinación del área foliar, responde a la necesidad de conocer mejor el aspecto productivo. Esto facilitará las investigaciones sobre la productividad y permitirá explicar mejor las diferencias en términos fisiológicos.

La determinación del área foliar constituye un parámetro fundamental en la evolución del desarrollo y crecimiento de los cultivos, en estudios de requerimientos hídricos y eficiencia bioenergética y en la determinación de daños producidos por patógenos y plagas. Además, por su estrecha relación con la interceptación de la radiación solar, con la fotosíntesis y con el proceso transpiratorio, aspectos fuertemente vinculados a la acumulación de biomasa y a la productividad, constituye una información básica para la modelización del

crecimiento, desarrollo y rendimiento agronómico de los cultivos (Brito *et al.* 2007).

Se han desarrollado diversos métodos para medir o estimar el área foliar de las hojas individuales, como base para obtener el área foliar total. Estos métodos lo podemos clasificar en destructivos y no destructivos.

La determinación del área foliar mediante métodos destructivos, requiere arrancar las hojas de las plantas, es decir requieren la destrucción de la muestra objeto de estudio. La mayoría de estos métodos se desarrollan en laboratorio y entre los más comunes podemos citar el método del planímetro, dibujo de las hojas sobre papel milimetrado y método gravimétrico (Lallana 1999).

Los métodos no destructivos se fundamentan en mediciones lineales que son rápidas, fáciles de realizar y permiten una buena precisión en estudios de crecimiento de muchas especies vegetales, donde el modelo matemático puede obtenerse por correlación entre la longitud de la hoja (L), ancho (W) o longitud por ancho (L x W) de la lámina foliar de una muestra de hojas a través del análisis de regresión (Cardona *et al.* 2009).

Mediante este procedimiento se han obtenido ecuaciones o factores para determinar el área de las hojas en: sorgo (Stickler *et al.* 1961), algodón (Ashley *et al.* 1963), higuera (Jain y Misra 1966), girasol (Schneiter 1978), plátano (Turner y Lahav 1983), calabaza (Fargo *et al.* 1986), achira (Kato *et al.* 1989, Seminario *et al.* 2001), uva (Pire y Valenzuela 1995, Legorburo *et al.* 2007), níspero (Meza y Bautista 1999), frijol (Bhatt y Chanda 2003), palma aceitera (Awal *et al.* 2004), lino (Kurt *et al.* 2005), caña de azúcar (Brito *et al.* 2007), arveja (Galindo y Clavijo 2007), albahaca (Espinoza *et al.* 2007), papa (Ovando *et al.* 2008), nuez (Torri *et al.* 2008).

Estos métodos por lo general, usan el largo y ancho de la hoja (lámina) y mediante la aplicación de correlaciones estadísticas se encuentra una ecuación que estima con alta aproximación el área real de las hojas (Mendoza *et al.* 1984, Stickler *et al.* 1996).

El Programa de Raíces y Tubérculos Andinos de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cajamarca, conserva una colección de germoplasma de yacón de más de 100 entradas, procedentes principalmente del norte peruano. En este germoplasma se han identificado ocho morfotipos y se han realizado estudios sobre etnobotánica, distribución geográfica, propagación y rendimiento (Seminario *et al.* 2003, Seminario 2008) y son necesarios otros estudios fisiológicos y agronómicos, para los cuales se requiere contar con una forma rápida para evaluar el área foliar.

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son las ecuaciones alométricas de mejor ajuste para estimar el área foliar de ocho morfotipos de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) del norte peruano, mediante las medidas lineales de las hojas?

1.3. Objetivo de investigación

Determinar las mejores ecuaciones alométricas para estimar el área foliar de ocho morfotipos de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) del norte peruano, utilizando las dimensiones lineales de las hojas.

1.4. Hipótesis de investigación

Las ecuaciones alométricas que permiten estimar el área foliar de ocho morfotipos de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) del norte peruano, mediante las dimensiones lineales de las hojas son semejantes y existe una ecuación alométrica general que permite estimar el área foliar de ocho morfotipos como si fuera uno solo.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes teóricos de la investigación

Existen diversos procedimientos para la determinación del área foliar, los cuales van desde modernos y automáticos equipos hasta laboriosos y tediosos métodos de laboratorio. Por ser los primeros bastante costosos y requerir los segundos la dedicación de largos periodos de tiempo, muchos investigadores han tratado de desarrollar procedimientos de fácil ejecución para determinar el área foliar de diferentes especies (Solórzano 1976).

El empleo de modelos para la estimación del área foliar a partir de mediciones lineales de las hojas ha demostrado ser un método útil en plantas cuya forma geométrica permite una alta relación entre las variables (López 1991, Del Pozo *et al.* 1998).

Jain y Misra (1966) encontraron un método para estimar el área foliar en higuera (*Ficus religiosa*). Los autores utilizaron las dimensiones largo mayor y ancho mayor de la lámina foliar y derivaron una ecuación que permitirá estimar el área foliar como sigue: $A = 0.55 L \times W$.

Schneiter (1978) trabajó con 840 hojas de girasol (*Helianthus annuus*), extraído cuando las inflorescencias habían completado la floración. Las hojas fueron colocadas en dos hojas de plásticos transparentes y fotocopiadas. El área de la lámina fue determinada con un planímetro (cm^2). Las fórmulas de regresión fueron calculadas entre el área foliar determinada (variable dependiente) y varias combinaciones de largo (desde el ápice a la base de la lámina) y el ancho (porción más ancha de la lámina) (variables independientes). Las fórmulas de regresión se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Ecuaciones de regresión desarrolladas para estimar el área de las hojas de girasol, usando el largo y ancho de lámina.

VARIABLE	FÓRMULAS DESARROLADAS	R	C.V.
L	$L \times 18.0336) - 129.45$	0.922	19.3
L ²	$(L^2 \times 0.6246) - 7.56$	0.931	18.2
A	$(A \times 16.3887) - 78.79$	0.962	13.7
A ²	$(A^2 \times 0.6459) + 13.83$	0.975	11
L x A	$(L \times A \times 0.6683) - 2.45$	0.982	9.46

Fuente: (Schneiter 1978).

El mismo autor realizó la comparación entre el área foliar real y estimada, usando cada una de las formulas y la formula que resultó con más alta correlación entre el área foliar estimada y el área foliar real fue la que incorpora el largo y el ancho, siendo la ecuación de la regresión: Área = largo (cm) x ancho (cm) x 0. 6683 – 2.45. Esta ecuación permitió estimar el área foliar en girasol para diferentes genotipos y en diferentes condiciones ambientales.

Pire y Valenzuela (1995) encontraron las ecuaciones para determinar el área foliar en Uva (*Vitis vinífera* L.), midiendo el largo y ancho de las hojas. Se encontró una alta correlación en los modelos de regresión calculados, especialmente en la fase de prefloración. Recomiendan utilizar las ecuaciones: Área = 1.27 + 0.10 (l)² + 0.43 (a)² y Área = 2.37 + 0.20 (l)² + 0.43 (a)² para las fases de prefloración y envero, respectivamente. De igual forma, para mayor rapidez y facilidad se podrían utilizar las ecuaciones: Área = 0.53 (l x a) y Área = 0.63 (l x a) para cada fase, respectivamente.

Del Pozo *et al.* (1998) establecieron ecuaciones para estimar el área foliar de guaje (*Leucaena leucocephala*) a partir de los valores de masa seca foliar (MSF). Las ecuaciones AF= 16256.9 + 8132.63 (636.54) MSF y AF= 6558.49 + 15455.1 (4963) MSF, resultan ser válidas para la estimación de área foliar de la *Leucaena* a partir de los valores de masa seca, lo cual permite efectuar estimación de la cobertura foliar y el índice de área foliar, indicadores básicos para estudios ecofisiológicos y de la bioproductividad bajo condiciones de campo de esta especie.

Seminario *et al.* (2001) encontró un método no destructivo para determinar el área foliar en seis morfotipos de achira (*Canna edulis*), midiendo el largo y ancho mayor de las láminas de las hojas y aplico el método de Bezout para obtener el área real de las hojas. Con el largo, el ancho mayor y el área real de las láminas se realizaron un análisis de regresión y correlación, para cada morfotipo. La ecuaciones fueron similares y la ecuación general, $A = 0.67 \times \text{largo} \times \text{ancho mayor}$, ecuación que estima el área de cualquier morfotipo, con un grado de aproximación de $100\% \pm 3.4$, encontrando alta correlación ($r = 0.99$) entre el área real y el producto de largo x ancho mayor; asimismo entre el área real y el área estimada mediante la ecuación.

Martín *et al.* (2006) establecieron la ecuación para estimar el área foliar en *Canavalia ensiformis* utilizando las dimensiones de largo y ancho de las hojas, logrando determinar la ecuación $AF = -18.50 + 2.04 L \times W$ con un r^2 de 91.60 %

Casierra *et al.* (2007) encontraron un modelo cúbico de la ecuación de regresión que se ajustaba para la estimación del área foliar en varias especies, lo cual fue confirmado por el alto coeficiente de determinación encontrado ($r^2 = 0.99$), las ecuaciones para cada caso, se encuentran en la tabla 2. Además, en todos los casos, el modelo presento alta significancia al nivel de 0.01.

Tabla 2. Ecuaciones de regresión para estimar el área foliar en 6 especies frutícolas.

Especie	Ecuación de regresión	r²
Brevo	$y = 0.96354 x - 0.000739 x^2 + 8.58601011 \cdot 10^{-7} x^3$	0.99**
Curuba	$y = 0.596944 x - 0.000821 x^2 + 1.49412692 \cdot 10^{-6} x^3$	0.99**
Feijoa	$y = 0.868539 x - 0.007734 x^2 + 0.000111 x^3$	0.99**
Fresa	$y = 0.286141 x - 8.5624061 \cdot 10^{-5} x^2 - 1.06547953 \cdot 10^{-8} x^3$	0.99**
Mora	$y = 0.637859 x + 0.000146 x^2 - 1.875055 \cdot 10^{-6} x^3$	0.99**
Uchuva	$y = 0.728545 x - 0.001184 x^2 + 8.60036002 \cdot 10^{-6} x^3$	0.99**

** Significativo al nivel de 0.01

y= área foliar estimada en (cm²)

x= producto del largo por el ancho máximo de la hoja en (cm)

Posada *et al.* (2007) determinaron las ecuaciones para estimar el área foliar de seis especies frutícolas, con base en el largo y ancho de las hojas, con valores confiables que expresan una exactitud entre el 95 y 99%.

Ruíz *et al.* (2007) establecieron ecuaciones para estimar el área foliar de la albahaca a cualquier edad del cultivo en el periodo de 25 a 75 días. Los resultados permiten estimar el área foliar utilizando el ancho y largo de las hojas. La ecuación de regresión lineal múltiple $AF = -20.5 + 2.59 \times \text{largo} + 8.29 \times \text{ancho}$, y la ecuación lineal simple $AF = -8.49 + 3.86 \times \text{largo}$ estiman mejor el área foliar en albahaca.

Olfati *et al.* (2010) establecieron ecuaciones para determinar el área foliar en col roja, col y brócoli utilizando las dimensiones de la hoja, siendo la ecuación $AF = -338.88 + 3.2859 \times W$ para la col roja, $AF = 5.5981 + 0.8961 \times W$ para la col y $AF = 3.2834 + 0.0088 W^2$ para las plantas de brócoli, que pueden emplearse fácilmente para estimar con precisión y en grandes cantidades. Sin embargo la ecuación $AF = 21.72 + 0.0073 W^2$ puede ser utilizada adecuadamente para estimar el área foliar en todas las hojas.

Calderón *et al.* (2011) establecieron la ecuación para estimar el área foliar del mamey utilizando las dimensiones lineales de las hojas siendo la ecuación de regresión $AF = -29.9582 + 5.70433xL$ más aproximada para estimar el área foliar en este cultivar frutal.

Cardona *et al.* (s.f.) determinaron la ecuación para estimar el área foliar en berenjena, está relacionada con el largo de la hoja, medido desde el punto de inserción del peciolo, siendo la ecuación de regresión $AF = -49.10 + 8.33xL$, con un r^2 igual a 0.9605, que cumple con los supuestos de normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia de errores.

A continuación (tabla 3) se presenta un resumen de las ecuaciones encontradas para estimar el área foliar en varias especies cultivadas.

Tabla 3. Ecuaciones para estimar el área foliar en varias especies cultivadas, según diferentes autores.

Especie	Ecuación	Fuente
Maíz	$L \times A \times 0.75$	Montgomery 1911
Tomate	$0.1551 \times L^2$	Lyon 1948
Sorgo	$L \times A \times 0.747$	Stickler <i>et al.</i> 1961
Algodón	$L \times A \times 0.77$	Ashley <i>et al.</i> 1963
Higuerilla	$L \times A \times 0.55$	Jain y Misra 1966
Girasol	$L \times A \times 0.6683 - 2.45$	Schneiter 1978
Frijol	$84.1152 + 184.4708 W^a$	Ascencio 1985
Frijol var 'coche'	$2.757 A^{1.892 b}$	Ascencio 1985
Frijol var. 'cubagua'	$322 A^{1.820 b}$	Ascencio 1985
Frijol var. 'tacarigua'	$3259 A^{1.833 b}$	Ascencio 1985
Frijol	$L \times A \times 0.75$	Muñoz <i>et al.</i> 1993
Yuca var. 'sucre'	$Y = 0.1906 L^{2.5036}$	Ascencio 1985
Yuca var. 'barinas'	$y = 121.6839 + 179908 L$	Ascencio 1985
Camote var. LM-24	$Y = -20.67 + 7.53 A$	Ascencio 1985
Achira	$L \times A \times 0.704$	Kato <i>et al.</i> 1989
Plátano	$L \times A \times 0.67$	Seminario <i>et al.</i> 2001
Papa var. Desire	$1.91 + 0.18 (L)$	Torres y García 1985
	$8.99 + 0.50 (L \times A)$	Torres y García 1985
Papa var. Baraka	$1.92 + 0.16 (L)$	Torres y García 1985
	$7.32 + 0.63 (L \times A)$	Torres y García 1985
Uva	$0.53LxA, 0.63LxA$	Pire y Valenzuela 1995
Arracacha	$AE = 6.55 (LF \times Wf) + 19.42^*$	Lucero 2000
Sorgo granero	$L \times A \times 0.700$	Solórzano 2000
Tomate	$0.34 (L \times A) - 9.31$	Astegiano <i>et al.</i> 2001
Palma de Aceite	$S=0.80 \times L \times A$	Awal <i>et al.</i> 2004
<i>Canavalia ensiformis</i>	$-18.50 + 2.04^*LW$	Martín <i>et al.</i> 2006
Papa	$S=0.872 \times L \times A$	Fleisher y Timlin 2006
Arveja	$L \times Ax 0.366$	Galindo y Clavijo 2007
Albahaca	$-8.49 + 3.86 \times L$	Ruiz <i>et al.</i> 2007
Papa	$(r^2 = 0,86; P<0,01)$	Ovando <i>et al.</i> 2008
Col y brócoli	$21.72+0.0073W^2$	Olfati <i>et al.</i> 2010
Mamey	$-29.9582 + 5.70433^*L$	Calderón <i>et al.</i> 2011

* L = largo de los foliolos y foliolulos de los foliolos basales y Wf es el ancho mayor de los foliolos y foliolulos de los foliolos basales.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Generalidades sobre el yacón

2.2.1.1. Descripción de la especie

Taxonomía

Reino	:	Plante
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Orden	:	Asterales
Familia	:	Asteraceae
Tribu	:	Millerieae
Género	:	<i>Smallanthus</i>
Especie	:	<i>S. sonchifolius</i>
N.C.	:	<i>Smallanthus sonchifolius</i> (Poepp & Endl) H. Robinson 1978.

El Yacón, es un cultivo de los Andes, pertenece a la familia de las compuestas (Asteraceae), el cual ha sido cultivado desde el tiempo de los incas; básicamente por sus raíces tuberosas, que son consumidas por su agradable sabor en forma fresca o secada al sol (Palacios, citado por Grau y Rea 1997, Carvalho *et al.* 2004).

Se ha cultivado en diversas regiones del Perú, una prueba de esto son los diferentes nombres vernaculares, con los que se conoce. Así por ejemplo, en el norte del Perú es llacón, yacón y llakwash. En el sur se conoce como aricoma, aricama (Aymara), llaqón, llacúm, llacuma (quechua). En el centro-norte del Perú se le conoce como yacumi y racón (Valderrama y Seminario 2003).

En Argentina, los primeros registros disponibles son restos arqueológicos de raíces de yacón recuperados en Pampa Grande, provincia de Salta, asociados a la cultura Candelaria (1-100 a.C.) (Zardini 1991). En La Paz, Bolivia, se conoce como “aricoma” (Aymara), era traído desde illimani. También se

cultiva en Cochabamba y en área de Los Yungas (Cárdenas 1989). En Ecuador, su cultivo al parecer es menos antiguo. Aquí su nombre es jícama y algunas derivaciones, como chicama, shicama, jíquima o jiquimilla (Polanco, citado por Grau y Rea 1997, Seminario *et al.* 2003).

La planta de yacón es herbácea perenne, mide de 1 a 2.5 m de alto. Si proviene de semilla botánica, consta de un solo tallo principal, a veces ramificado desde la base, otras veces, solo con ramas pequeñas en la parte superior. Si la planta proviene de propágulo o semilla vegetativa, consta de varios tallos. (Seminario *et al.* 2003).

Las raíces son irregulares o fusiformes y presenta diferentes colores, según el ecotipo: rosado, blanco, amarillo, crema, moteado y jaspeado. El número de raíces puede fluctuar entre 10 a 20 por planta y los rendimientos están en el orden de 1 a 5 Kg/planta (Seminario *et al.* 2002).

La cepa es un órgano subterráneo sobre el cual se desarrollan abundantes yemas vegetativas. Se forman por el engrosamiento de la parte del tallo que está dentro de la tierra y que está unida a las raíces. Sus tejidos almacenan sustancias de reserva en forma de carbohidratos simples y fructooligosacáridos, los cuales posiblemente sirven de alimento a las yemas cuando estas van a brotar (Seminario *et al.* 2003).

Las hojas son opuestas, de lámina triangular, de base trunca, hastada o cordada (acorazonada). Hasta la floración en cada tallo se producen entre 13 a 16 pares de hojas. Después de la floración la planta solo produce hojas pequeñas (Seminario *et al.* 2003).

Los tallos son huecos, cilíndricos, de color verde a purpura, su altura varía de 1 a 3 metros (Seminario *et al.* 2003).

La rama floral es terminal de ramificación dicásica, compuesta de inflorescencias llamadas capítulos o cabezuelas. Cada rama floral puede presentar entre 20 a 40 capítulos. Una planta puede producir 20 a 80 capítulos.

Cada capítulo está formado por flores femeninas y masculinas. Las flores femeninas se ubican en el verticilo externo, cuya parte más vistosa y coloreada de amarillo es la lígula. Las flores masculinas son tubulares y más pequeñas, se ubican en los verticilos internos del receptáculo (Seminario *et al.* 2003).

El fruto es un aquenio, que procede de un ovario ínfero con más de un carpelo. El pericarpio es delgado y seco a la madurez, externamente presenta estrías longitudinales que forman surcos paralelos. La semilla se encuentra unida al pericarpio solamente por el funículo (unión del saco embrionario con el ovario). El aquenio es piramidal con ángulos no bien definidos y redondeados, de ápice truncado y base ensanchada, en la cual lleva una pequeña cicatriz (en la unión con el receptáculo floral). En promedio, mide alrededor de 3.7 mm de largo y 2,2 mm de ancho (Seminario *et al.* 2003).

Las mejores condiciones para el desarrollo del yacón se encuentran en el piso alto de la región yunga y el piso medio de la región quechua, según la clasificación de Pulgar Vidal (1996), en el rango altitudinal de 1100 a 2500 msnm. Sin embargo, el yacón ha demostrado ser un cultivo con bastante adaptación, pudiendo sembrarse en varios lugares de la costa y la selva del Perú. En el norte peruano, no soporta ambientes arriba de los 3000 msnm, pero su cultivo se extiende hacia la ceja de selva de los departamentos de Cajamarca, Amazonas y San Martín (Seminario *et al.* 2003).

Los requerimientos de agua están entre los 650 y 1000 mm de lluvia anuales, no soportan heladas. Se comportan mejor en suelos sueltos, francos a francos arenosos, con pH desde ligeramente ácido hasta neutro. Requieren entre 14 a 18° C para el periodo de crecimiento y, de 20 a 28° C para el llenado de raíces. La cosecha se realiza entre los 9 a 12 meses según el lugar y el cultivar (Seminario *et al.* 2003).

2.2.2. Área foliar de las plantas y su importancia

Las hojas constituyen el órgano más importante de la planta y juega el papel principal en las actividades anabólicas por medio de la clorofila que poseen en abundancia, el único medio para los procesos fotosintéticos. El área foliar total, que ha sido directamente relacionada con la cantidad de clorofila, es un parámetro importante para estimar la habilidad de la planta para sintetizar materia seca. Su adecuada determinación durante el ciclo del cultivo posibilita conocer el crecimiento y el desarrollo de la planta, la eficiencia fotosintética y, en consecuencia, la producción total de la planta (Cardona *et al.*, citado por Teruel 1995, Costa 1999, Campostrini y Yamanishi 2001).

El área foliar constituye un índice importante para establecer la capacidad de las plantas para interceptar la luz, realizar fotosíntesis y producir bienes agrícolas. En general, una alta productividad requiere una interceptación adecuada que aproveche al máximo la radiación solar incidente (Galindo y Clavijo 2007).

El área foliar alcanzada por una planta durante ciertos estadios específicos de desarrollo, es un dato indispensable para la calibración, adaptación y en general para la aplicación racional de los modelos de simulación agroambientales. Es bien conocido que la magnitud del área foliar define la capacidad de la cubierta vegetal para interceptar la radiación fotosintéticamente activa, la cual es la fuente primaria de energía utilizada por las plantas para la fabricación de tejidos y elaboración de compuestos alimenticios (Warnock *et al.* 2006).

2.2.3. Métodos para medir o estimar el área foliar

La determinación del AF de una planta se puede realizar por métodos diversos. Algunos son muy simples y prácticos (aunque laboriosos). Existen también métodos electrónicos, mediante integradores de área foliar. Todos los métodos existentes permiten una aproximación al área foliar real (unos más que otros). Por otro lado, existen métodos que requieren sacar las hojas de la planta,

es decir, son destructivos y otros permiten estimar el área de las hojas con alto grado de ajuste o aproximación, sin tener que sacar las hojas de las plantas. Es decir son no destructivos.

2.2.3.1. Métodos destructivos

Entre los más importantes tenemos (Seminario *et al.* 2001):

a. Pesada de las rodajas o cuadrados

Se divide a la planta en tres estratos: basal medio y apical. Se separan las láminas de las hojas de cada estrato y se pesan. De cada estrato se toma un número determinado de rodajas o cuadrados de hojas (láminas) de área conocida, al azar. Se pesa cada grupo de rodajas inmediatamente. Se tiene entonces, el peso total de las láminas y el área y peso del total de rodajas o cuadrados. Esto permite, mediante una simple relación determinar el área total de las hojas de esa planta. Este procedimiento puede tener una variante, en la cual tanto las rodajas o cuadrados y las láminas son sometidas a estufa hasta peso constante; esto permite mayor exactitud y precisión.

b. Pesadas de las siluetas en papel

Se dibuja la silueta de la hoja en un papel de grosor uniforme y se pesa esta silueta. Se toma un cuadrado de área conocida del mismo papel y también se pesa. Por una relación simple se obtiene el área de la silueta de la hoja.

c. Papel cuadriculado

Se dibuja las siluetas de las hojas sobre un papel cuadriculado (milimetrado, por ejemplo). Luego se cuenta los cuadrados de área conocida que quedan involucrados dentro de la silueta. Si la línea pasa por menos de la mitad del cuadrado no se cuenta, pero si la línea pasa por la mitad o más del cuadrado se considera como uno.

d. Planímetro

Este es un método convencional comúnmente usado en topografía para determinar áreas y que tiene niveles altos de precisión, si se siguen las instrucciones para el uso del instrumento.

e. Integrador de área foliar estacionario

Existen en el mercado “areadores” o integradores de área, electrónicos. Generalmente, constan de una faja a través de la cual se colocan y circulan las hojas, y un sensor que capta la imagen e integra las áreas individuales y las integra, mostrando el resultado en una pantalla.

2.2.3.2. Métodos no destructivos

Se puede inferir que los métodos anteriores, tienen el inconveniente que se necesita desprender las hojas de la planta (destruirla). Por este motivo se han propuesto métodos no destructivos (indirectos) que permiten estimar en forma rápida y sencilla el área de las láminas individuales, mediante ecuaciones en que intervienen una o varias dimensiones lineales. Así, por ejemplo, se ha usado las medidas de largo y ancho de lámina. El registro más antiguo, al respecto, pertenece a Montgomery (1911). Este autor, determinó, mediante el uso de correlaciones estadísticas, que la ecuación que permitía estimar, con alto grado de aproximación, el área de las hojas de maíz (*Zea mays* L.) es: $A = L \times A \times 0.75$. En donde: L = largo de lámina, desde la base (unión entre lámina y vaina), hasta el ápice y el ancho mayor de la lámina (tomado en el punto de mayor ancho, perpendicular al eje vertical de la hoja).

Esta ecuación, que en la práctica se reduce al coeficiente 0.75, resultó ser funcional y adecuado, de tal modo que, hasta la fecha se usa en los ensayos, en los cuales, es necesario evaluar el área foliar (Mendoza *et al.* 1985; Seminario, 1991). Hasta el momento, se han generado ecuaciones para estimar el área foliar, en diversas especies como se describe en los antecedentes teóricos.

2.2.4. Análisis de correlación y regresión lineal y su interpretación

El análisis de correlación agrupa técnicas para medir el grado de asociación o relación entre dos o más variables, el cual describe la magnitud entre dos conjuntos de variables de intervalo o razón. El grado de correlación se mide o interpreta mediante el coeficiente de correlación (r), que expresa la mutua asociación entre las variables en estudio. De modo que si $r = 0$, significa que no existe asociación entre variables. En cambio, cuando existe asociación entre variables los valores pueden variar de $+ 1$ a -1 (Infante y Zárate 1984, Vásquez 1990).

Robles (1980) presenta rangos que sirven para interpretar el valor o grado de correlación que existe entre las variables independientes (x) y dependientes (y), como se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Grado de correlación entre las Variables (X, Y).

Valor	Interpretación
± 1.00	Correlación perfecta
± 0.90 a ± 0.99	Correlación muy alta
± 0.70 a ± 0.89	Correlación alta
± 0.40 a ± 0.69	Correlación moderada
± 0.20 a ± 0.39	Correlación baja
0.00	Correlación nula

Fuente: Robles (1980).

De forma general, lo primero que suele hacerse para ver si dos variables aleatorias están relacionadas o no (llamadas X e Y , denotando con Y a la variable dependiente o de respuesta, y X a la variable independiente o regresora), consiste en tomar una muestra aleatoria. Sobre cada individuo de la muestra se analizan las dos características en estudio, de modo que para cada individuo tenemos un par de valores (X_i, Y_i) ($i=1, 2, \dots, n$) (Universidad de Salamanca 1990).

Seguidamente, se representa dichos valores en el plano cartesiano, dando lugar al diagrama de dispersión o nube de puntos. Así, cada individuo vendrá representado por un punto en el gráfico, de coordenadas, X_i, Y_i . De esta

forma, podemos obtener una primera idea acerca de la forma y de la dispersión de la nube de puntos ya sea lineal, parabólica, exponencial, etc. (Vila *et al.* 2003)

Un diagrama de dispersión es una gráfica en la que cada punto trazado respeta un par de valores observados de las variables independiente y dependiente. El valor de la variable independiente X se identifica respecto al horizontal, mientras que el valor de la variable dependiente Y se identifica respecto al eje vertical (Universidad de Salamanca 1990).

Los diagramas de dispersión no solo muestran la relación existente entre las variables, sino también resaltan las observaciones individuales que se desvían de la relación general. Estas observaciones son conocidas como *outliers* o valores inusitados, que son puntos de los datos que aparecen separados del resto (Gonzales 2009).

En las siguientes figuras, se muestran las diferentes correlaciones que existen, en la cual se diferencian claramente la disposición de los puntos de los diagramas de dispersión.

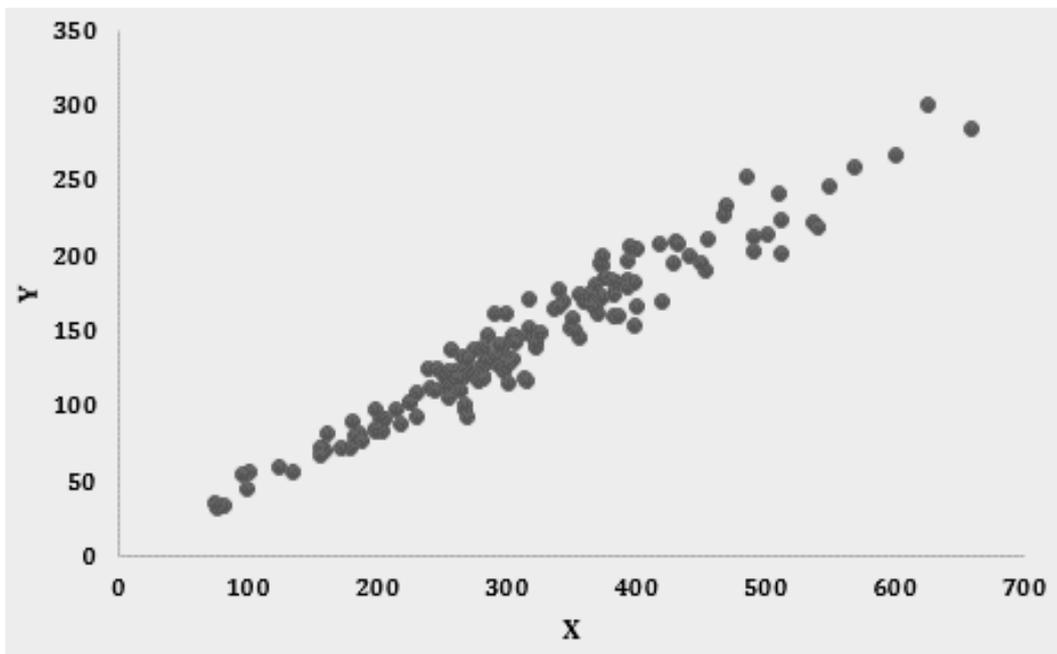


Fig. 1. Correlación positiva (Gonzales 2009).

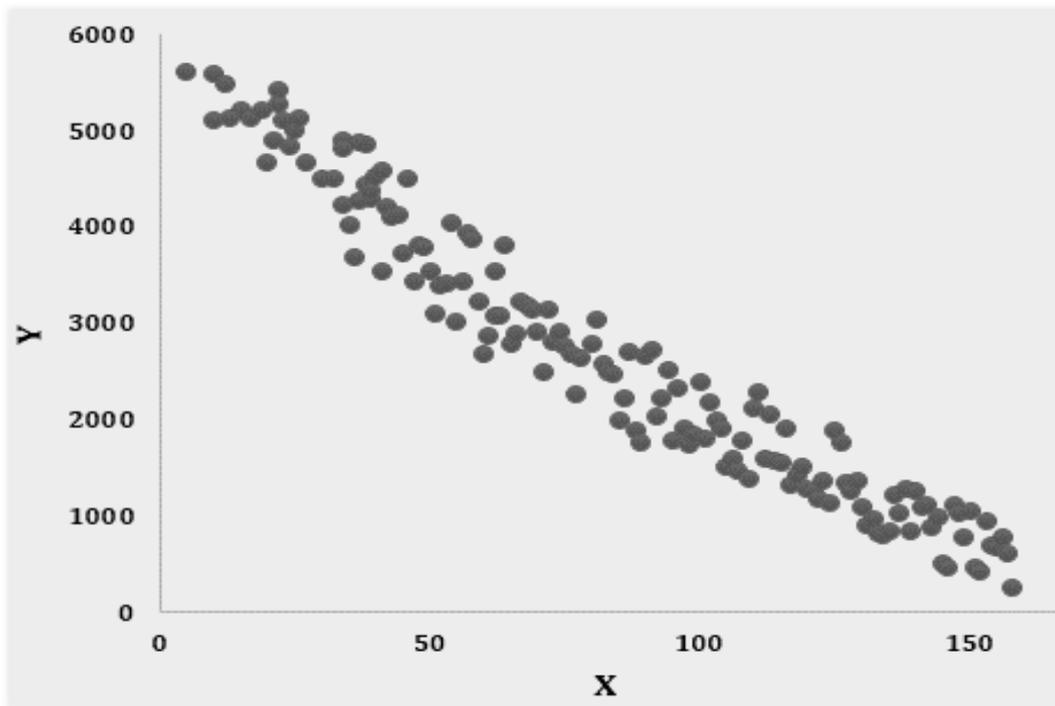


Fig. 2. Correlación negativa (Gonzales 2009).

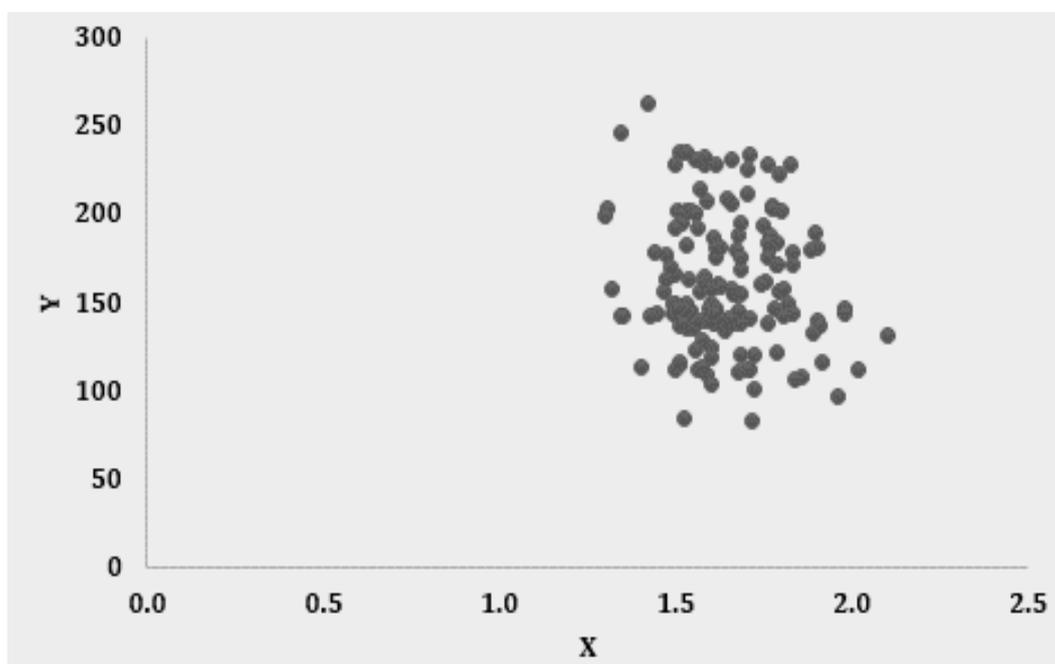


Fig. 3. Correlación nula o ausencia de correlación (Gonzales 2009).

De modo general, diremos que existe regresión de los valores de una variable con respecto a los de otra, cuando hay alguna línea, llamada línea de regresión que se ajusta más o menos claramente a la nube de puntos. Si existe

regresión, a la ecuación que nos describe la relación entre las dos variables la denominaremos ecuación de regresión (Universidad de Salamanca 1990).

Por otro lado, la ecuación de regresión es una herramienta estadística poderosa y versátil, que permite cuantificar, a través de una función matemática, la relación entre dos o más variables. En la relación de variables se considera la presencia de una variable dependiente en función de una o más variables independientes (Bula 2014).

La ecuación de regresión tiene el objetivo de determinar si dichas variables están asociadas y en qué sentido se da la asociación (es decir, si los valores de una de las variables tienden a aumentar o disminuir los valores de la otra), y estudiar si los valores de una variable pueden ser utilizados para predecir el valor de la otra (Azor 2001).

Toda función de la forma $Y = a + bX$, determina, al representarla en un plano una línea recta, donde X e Y son variables y a y b son constantes:

a: Es la ordenada en el origen, es decir, es la altura a la que la recta corta al eje Y, se denomina también término independiente.

b: También denominada pendiente, es la inclinación de la recta, es decir, es el incremento que se produce en la variable Y cuando la variable X aumenta una unidad

Otra forma de estudiar el grado de asociación entre las variables correlacionadas es a través de coeficiente de determinación (r^2). Este mide la proporción de la variación en la variable Y (medida por la suma de cuadrados de Y) que es explicada por las variaciones en la variable X. Por ejemplo si al correlacionar dos variables existe un $r = 0.6$, significa que $r^2 = 0.36$, o sea que el 36% del valor de Y (o de la suma de cuadrados de Y) está explicado por las variaciones de la variable X y el porcentaje restante de otras variables o factores desconocidos (Infante y Zárate 1984, Vásquez 1990).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en el Programa de Raíces y Tubérculos Andinos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, distrito, provincia y departamento de Cajamarca. Esta institución se encuentra situada a 3.5 km de la ciudad de Cajamarca, altitud 2650 msnm, 7° 10' latitud sur, 78° 30' longitud este, temperatura media 14°C, humedad relativa 65%, precipitación promedio anual 650 mm/año.

3.2. Materiales:

a. Material vegetal

Se trabajó con hojas maduras de ocho morfotipos de yacón mantenidos por el Programa de Raíces y Tubérculos Andinos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, que cuenta con 108 accesiones. Estas estaban sembradas sistemáticamente en surcos, de 10 plantas a distanciamientos de 0.60 m x 0.90 m.

Las características morfológicas principales de los morfotipos de yacón utilizados se presentan en la Tabla 5. Esta descripción fue realizada por Seminario y Valderrama (2004), mediante descriptores probados y estandarizados en varias campañas. Como se puede apreciar, el carácter más importante con relación a la presente investigación es la forma de la lámina foliar.

En este aspecto se han determinado tres formas de lámina: triangular que en su forma general describe un triángulo, con base trunca. Deltoidea, de forma triangular, pero de base hasta. Cordada, que en su forma general es acorazonada (Fig.4).

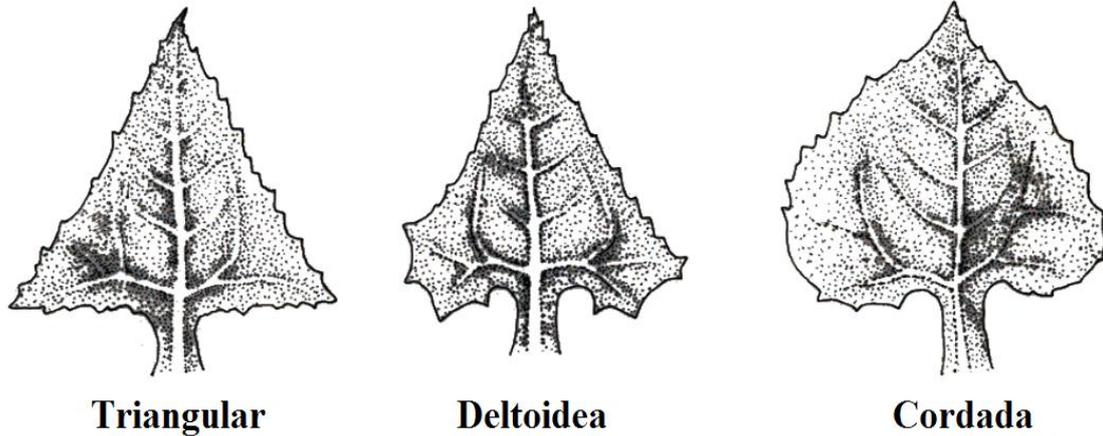


Fig. 4. Forma de la lámina de la hoja del yacón, en cultivares del norte peruano (Seminario 2008).

b. Otros materiales:

- Cuchillas
- Tijeras
- Papel periódico
- Papel bond
- Papel milimetrado
- Regla graduada
- Libreta de apuntes
- Formato de evaluación
- Material de escritorio

c. Equipos

- Planímetro (PLACOM KP - 80N)
- Computadora equipada
- Calculadora
- Prensa botánica
- Balanza analítica

Tabla 5. Características morfológicas de ocho morfotipos de yacón, del norte peruano, domesticado y mantenidas por el Banco de Germoplasma de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Morfo-tipo	Color principal del tallo	Color del follaje	Pigmentación en hojas apicales (nuevas)	Forma de la lámina	Forma de la base de la lámina	Borde de la lámina	Color de la lígula	Forma de la lígula	Ramificación del tallo	Color externo de Raíces	Hendiduras en raíces reservantes
I	Púrpura Grisáceo Claro	Verde amarillento	Presente	Triangular	Sub hastada	Dentado	Amarillo Anaranjado Oscuro	Oblonga	A través de todo el tallo	Púrpura Grisáceo	Presente
II	Verde amarillento	Verde amarillento	Ausente	Triangular	Truncada	Dentado	Amarillo Anaranjado Claro	Ovada	Ausente	Gris Anaranjado	Ausente
III	Verde amarillento	Verde oscuro	Presente	Triangular	Hastada	Doble mente dentado	Amarillo Anaranjado Claro	Elíptica	Predominante apical	Gris Anaranjado	Ausente
IV	Púrpura Grisáceo Oscuro	Verde oscuro	Presente	Cordada	Cordada	Crenado	Amarillo Anaranjado Claro	Oblonga	Ausente	Púrpura Grisáceo	Presente
V	Púrpura Grisáceo Oscuro	Verde amarillento	Ausente	Deltóidea	Truncada	Crenado	Amarillo Anaranjado Claro	Ovada	A través de todo el tallo	Púrpura Grisáceo	Presente
VI	Verde amarillento	Verde oscuro	Presente	Triangular	Truncada	Dentado	Amarillo Anaranjado Oscuro	Oblonga	A través de todo el tallo	Púrpura Grisáceo	Presente
VII	Verde amarillento	Verde oscuro	Presente	Triangular	Hastada	Dentado	Amarillo Anaranjado Claro	Oblonga	Ausente	Gris Anaranjado	Ausente
VIII	Verde amarillento	Verde amarillento	Presente	Triangular	Sub hastada	Dentado	Amarillo Anaranjado Claro	Elíptica	Predominante apical	Gris Anaranjado	Ausente

Fuente: (Seminario *et al.* 2004).

3.3. Metodología

a. Toma de muestras

La toma de muestras se efectuó cuando los ocho morfotipos de yacón iniciaron la etapa reproductiva (formación del botón floral). Después de este momento ya no se producen más hojas vegetativas y todas las hojas han alcanzado su máximo crecimiento.

Las muestras fueron identificadas por morfotipo, y colectadas al azar de tres estratos de la planta (basal, medio y apical). Las hojas se cortaron, con mucho cuidado, desde la inserción del peciolo con la lámina de la hoja. Se colectaron entre 100 a 150 hojas por morfotipo, como se muestra en la Tabla 6. El número de hojas muestra por morfotipo varió debido a que el número de accesiones por morfotipo no era el mismo.

Tabla 6. Número de hojas por morfotipo.

	Morfotipos	N° de hojas
I	Púrpura	150
II	Hualqui	150
III	Otuzco	101
IV	San Ignacio	100
V	Cachachi	100
VI	Taquia	100
VII	Moteado	100
VIII	Ancash	100
	TOTAL	901

b. Dibujo de hojas en papel periódico

Con base en el procedimiento utilizado por Lyon (1948) en tomate (*Lycopersicum sculentum*) y adaptado por Seminario *et al.* (1998) en achira (*Canna edulis*); inmediatamente después de recoger las hojas de campo, se dibujaron por duplicado las siluetas en papel periódico, y se numeraron por cada

morfotipo, para luego determinar el área real en cm^2 de cada silueta. Las hojas muestra de cada morfotipo numeradas fueron secadas y guardadas.



Fig. 5. Forma como se dispusieron las hojas de yacón sobre el papel periódico para el dibujo.

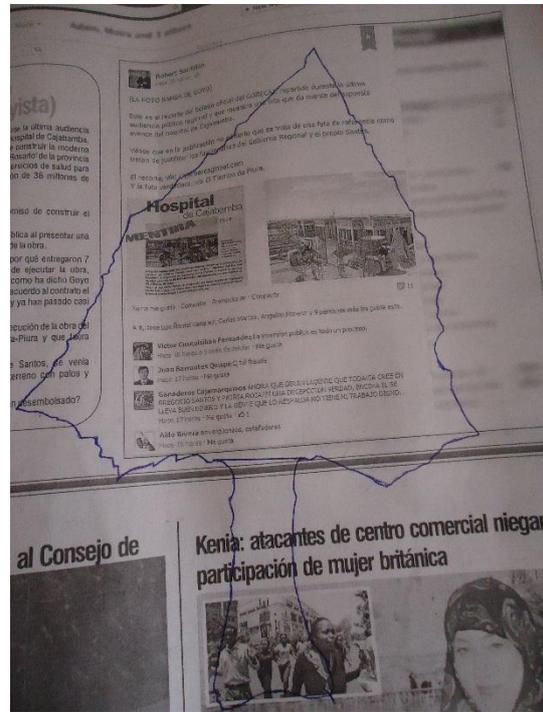


Fig. 6. Silueta de la hoja, dibujada en papel periódico.

c. Determinación del área real (medida) de las hojas

Se determinó el área real de todas las hojas muestreadas, para cada morfotipo de yacón, utilizando un planímetro digital (PLACOM KP - 80N), por ser un método topográfico práctico y preciso. Este método fue utilizado por Mesa y Bautista (1995) para determinar el área real en hojas de níspero (*Manilcara achras*), también utilizado por Penton *et al.* (2006) en hojas de morera (*Morus alba*) Var. Acorazonada. Se siguió el siguiente procedimiento:

Se procedió a extender las siluetas dibujadas en el papel periódico sobre una mesa lisa y plana para que la rueda polar del planímetro pueda girar suave y libremente. Luego se colocó el polo del planímetro en un lugar tal que al recorrer el planímetro pase por todo el perímetro de la hoja, su mismo peso o anclaje lo hizo permanecer fijo en esa posición, luego se colocó el centro de la

lupa trazadora sobre el punto inicial de medición a través del brazo trazador del planímetro, manteniendo el punto central de la lupa trazadora sobre la línea del perímetro de la hoja, se puso al planímetro en una escala de medición en cm^2 a través del teclado, para luego pulsar la tecla START y poner en cero. Inmediatamente después se pasó con la lupa trazadora cuidadosamente por todo el contorno de la silueta de la hoja, a una velocidad constante y siempre en sentido horario, hasta llegar al punto inicial y tomar la lectura final, se hicieron dos repeticiones para encontrar un promedio (Fig. 7).



Fig. 7. Forma como se dispuso el planímetro para determinar el área real de las láminas.

d. Estimación del área de las hojas mediante el análisis de correlación y regresión utilizando las dimensiones lineales de las hojas.

Una vez determinada el área real (AR) de las hojas de cada morfotipo, mediante el método del planímetro, se tomaron las dimensiones reales de largo (L), desde la base de la lámina de la hoja, y ancho mayor (W) de cada hoja muestreada (medidas en las siluetas dibujadas en papel periódico), para cada morfotipo, así como se muestra en la Fig. 8.

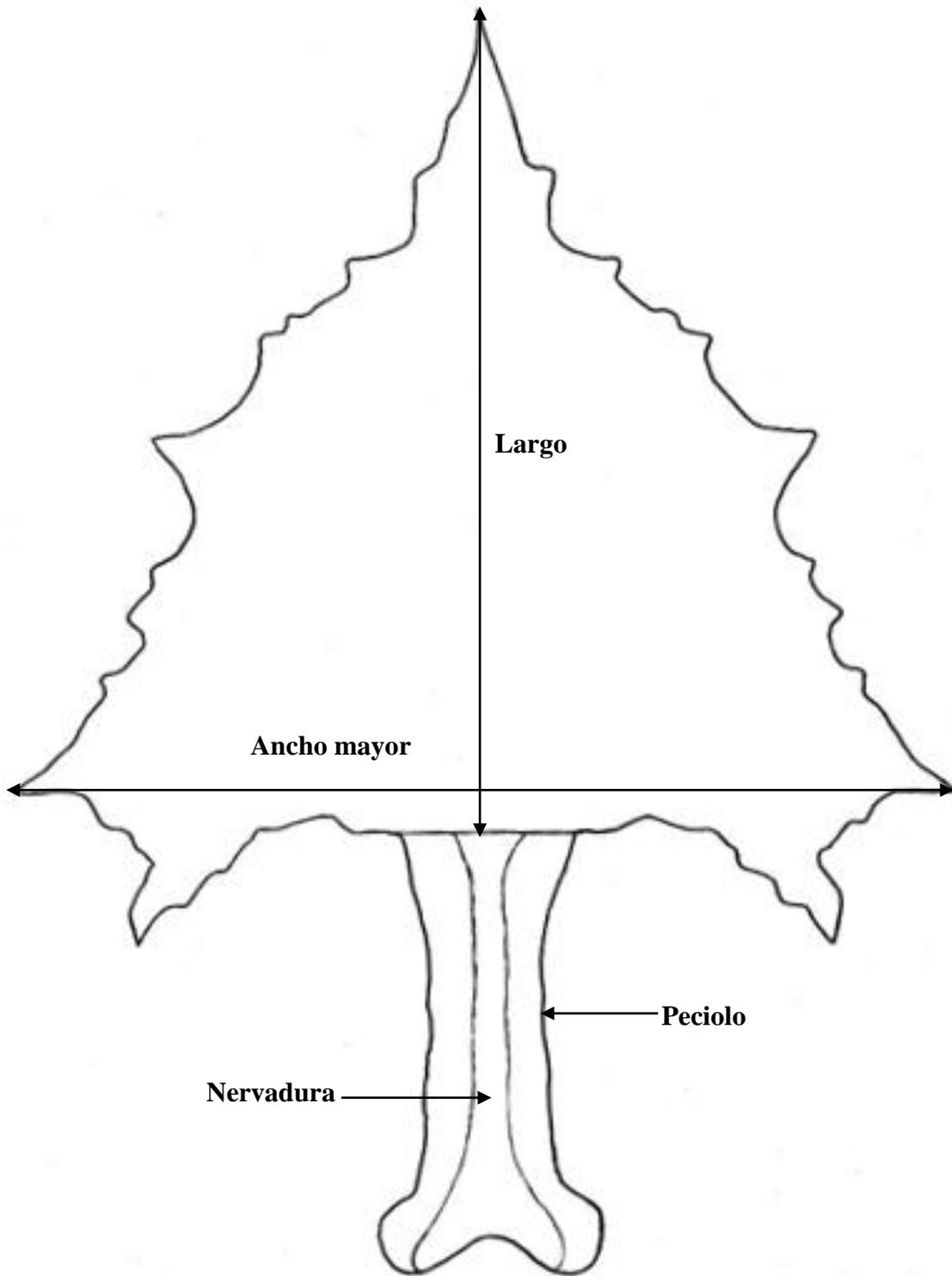


Fig. 8. Forma como se tomó el largo y ancho mayor de la lámina.

Los valores obtenidos de cada hoja fueron introducidos en una base de datos de *Microsoft Excel*, con los datos obtenidos se determinaron los valores de L^2 , W^2 , $L \times W$ y L/W y se colocaron en sus respectivas columnas. Es decir la hoja de cálculo comprendía los datos que se describen en la Tabla 7.

Tabla 7. Formato de tabla en donde se acopiaron los datos de las medidas lineales, sus combinaciones y el área real (o medida) tomada con el planímetro.

Morfo- tipo	N° de hoja	Largo (L) en cm	Ancho (W) en cm	L²	W²	L x W	L/W	Área real medida (AR) en cm²
------------------------	-----------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------	----------------------	--------------	------------	--

En seguida se procedió a hacer el análisis de regresión de la siguiente manera:

Siguiendo el procedimiento de varios autores (Solórzano 1976, Ascencio 1985, Kato *et al.* 1989, Seminario *et al.* 2001, y otros), se hicieron pruebas de correlaciones entre las medidas lineales de las hojas (L, W, L², W², L x W, L/W) y el área real (AR). Siendo las medidas lineales de las hojas la variable independiente “X” y el área real (AR) la variable dependiente “Y”.

Se representó dichos valores en el plano cartesiano dando lugar a una nube de puntos o diagrama de dispersión. De esta manera se pudo agregar la línea de tendencia o regresión, según la forma de distribución de la nube de puntos (regresión lineal). Esta línea de regresión tiene el carácter de línea media o promedio, se ajusta a la mayoría de datos. Es decir, pasa lo más cerca posible de todos y cada uno de los puntos.

Además se obtuvo la ecuación de regresión que describe matemáticamente esta relación, a través de la línea de regresión y es de la forma $Y = a + bX$, donde:

X= variable independiente o regresora (Medida lineal de la hoja L, W, L², W², L x W, L/W).

Y= variable dependiente o de respuesta (área estimada de la hoja)

a= es la ordenada en el origen, es decir, es la altura a la que la recta corta al eje Y.

b= también denominada pendiente, es la inclinación de la recta, es decir, es el incremento que se produce en la variable Y cuando X aumenta una unidad.

Para asegurarnos del grado de asociación de las variables se determinó el coeficiente de determinación (r^2), que nos indica el porcentaje de variación en la variable respuesta (área estimada), explicada por la variable independiente (medidas lineales de las hojas). Su valor siempre está en un rango de 0 a 1 y siempre es igual al cuadrado del coeficiente de correlación (r).

Cuanto más se acerque dicho valor a la unidad, mayor poder explicativo tendrá el modelo de regresión, y cuanto más cercano a cero menor poder explicativo

Se eligió aquella relación, cuyo coeficiente de determinación fue más cercano a la unidad para cada morfotipo de yacón.

Para corroborar que la estimación era alta, se hicieron las correlaciones entre el área real *versus* el área estimada (con la variable que dio mejor resultado), tomando como referencia el valor r^2 próximo a 1.

e. Determinación del área del peciolo como área fotosintética adicional

La hoja de yacón tiene un peciolo alado, con un nervio central grueso y alas foliares a ambos lados (Fig. 9), que por ser verdes y contener clorofila, constituyen un área fotosintética que podría ser significativa, respecto del área total de la hoja. Debido a que el área del peciolo no fue tomado en cuenta en la estimación de las áreas laminares, se hizo una evaluación por separado de esta área, en los ocho morfotipos, para conocer su incidencia en el área fotosintética total. Se tomó una muestra de 10 hojas por morfotipo y dibujaron en papel periódico y en las siluetas se midió con planímetro, por separado, el área total de la hoja (lámina + peciolo) y el área del peciolo. Esta última se tomó desde la base, hasta la línea perpendicular al eje del peciolo que pasa inmediatamente en donde la nervadura central se trifurca. Luego, el área del peciolo se expresó en %, en relación al área total (suma de área de lámina + área del peciolo). De este modo, se pudo conocer la proporción del área del peciolo, con respecto al área total de la hoja y se estableció la posibilidad de su adición al área laminar en los casos que sea necesario.



Fig. 9. Hoja de yacón. Obsérvese el peciolo alado con área verde y la nervadura central trifurcada desde la base de la lámina.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Valores de largo, ancho y otros valores combinados de las hojas de ocho morfotipos de yacón del norte peruano

Los promedios de largo y ancho mayor de las láminas fueron 27.88 y 16.55 cm, respectivamente, sin diferencias significativas entre morfotipos, pero el rango fue de 10.6 a 34.4 cm para el largo y de 6.5 a 23.6 cm para el ancho. El promedio de $L \times W$ mayor fue de 461.06 cm², pero el rango varía de 74.2 a 778.8 cm². La razón promedio de L/W fue de 1.63, pero el rango varía de 1.2 a 2.18, todos estos datos se detallan en la (Tabla 8).

4.2. Área real de las hojas de ocho morfotipos de yacón

Las áreas reales promedios obtenidas por el método ya descrito en la (Tabla 8), las cuales presentan diferencias entre morfotipos y el rango varió de 143.62 cm² (morfotipo I), hasta 209.01 cm² (morfotipo VIII), siendo el área real mínima 32.44 cm² (morfotipo I), y el área real máxima 343.39 cm² (morfotipo III).

4.3. Estimación del área foliar mediante análisis de regresión y correlación entre el área real y las medidas lineales y sus combinaciones

Conforme se describió anteriormente en materiales y métodos se procedió a realizar las correlaciones simples entre el área real medida y las dimensiones de L , W y sus combinaciones, además, se hizo la correlación entre el área real y el área estimada en donde intervienen las dimensiones lineales y sus combinaciones. Los resultados se muestran en las siguientes figuras para cada morfotipo.

Tabla. 8. Valores de largo (L), ancho (W), (L x W), (L/W) y área real de las hojas de ocho morfotipos de yacón del norte peruano.

Morfo- tipo	Largo (cm)				Ancho (cm)				L x W				L/W				Área real (cm ²)			
	Min.	Max.	Prom.	D.S.	Min.	Max.	Prom.	D.S.	Min.	Max.	Prom.	D.S.	Min.	Max.	Prom.	D.S.	Min.	Max.	Prom.	D.S.
I	10.60	32.20	21.83	3.94	6.50	21.90	14.01	2.88	74.20	660.10	315.72	112.52	1.20	2.12	1.57	0.16	32.44	301.35	143.62	52.17
II	17.40	30.00	24.24	2.67	9.90	21.10	14.90	2.12	178.50	633.00	365.31	85.18	1.30	2.10	1.64	0.15	82.81	262.84	161.96	37.25
III	16.20	33.00	24.90	3.48	10.50	23.60	16.55	2.64	170.10	778.80	419.97	118.25	1.27	1.87	1.51	0.13	88.69	343.39	191.59	48.74
IV	19.50	31.20	25.40	2.76	10.20	22.60	15.80	2.53	206.70	691.56	406.83	103.41	1.24	2.12	1.63	0.16	108.78	295.86	204.61	46.08
V	18.30	29.20	23.59	2.62	9.50	19.50	14.08	2.30	189.00	534.82	337.16	87.47	1.32	2.18	1.70	0.16	86.24	338.69	169.08	46.00
VI	17.70	29.50	23.00	2.91	10.30	21.70	14.63	1.99	187.46	633.64	340.73	83.88	1.29	1.96	1.58	0.15	89.67	268.81	162.28	34.59
VII	19.20	32.40	25.60	3.24	11.00	22.70	15.49	2.60	224.64	712.80	403.72	115.07	1.38	2.00	1.67	0.15	95.06	265.38	173.71	44.20
VIII	22.10	34.40	27.88	2.80	12.40	22.20	16.39	1.92	286.44	754.80	461.06	93.57	1.43	2.00	1.71	0.13	140.14	274.40	209.01	36.82
Media	17.63	31.49	24.56	3.05	10.04	21.91	15.23	2.37	189.63	674.94	381.31	99.92	1.30	2.04	1.63	0.15	90.48	293.84	176.98	43.23

4.3.1. Correlaciones y regresiones para el morfotipo I

A continuación se presentan las diversas correlaciones entre el área real y las variables (L, W, L², W², L x W, L/W) de las dimensiones lineales de las hojas del morfotipo I. La mejor correlación se presenta entre el área real y el producto de largo x ancho, cuyo valor de $r = 0.97$ y el coeficiente de determinación $r^2 = 0.9336$, ambos indican que existe alta correlación entre las dos variables.

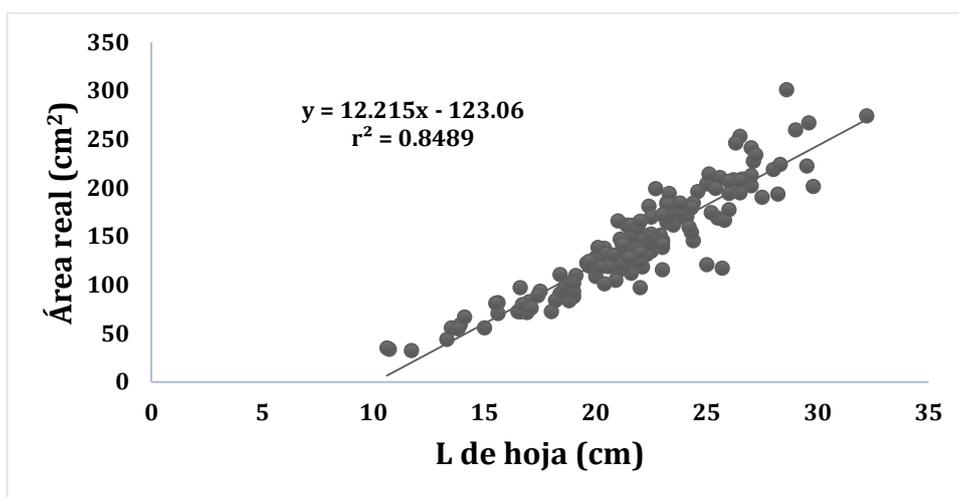


Fig. 10. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el largo de las hojas del morfotipo I del norte peruano.

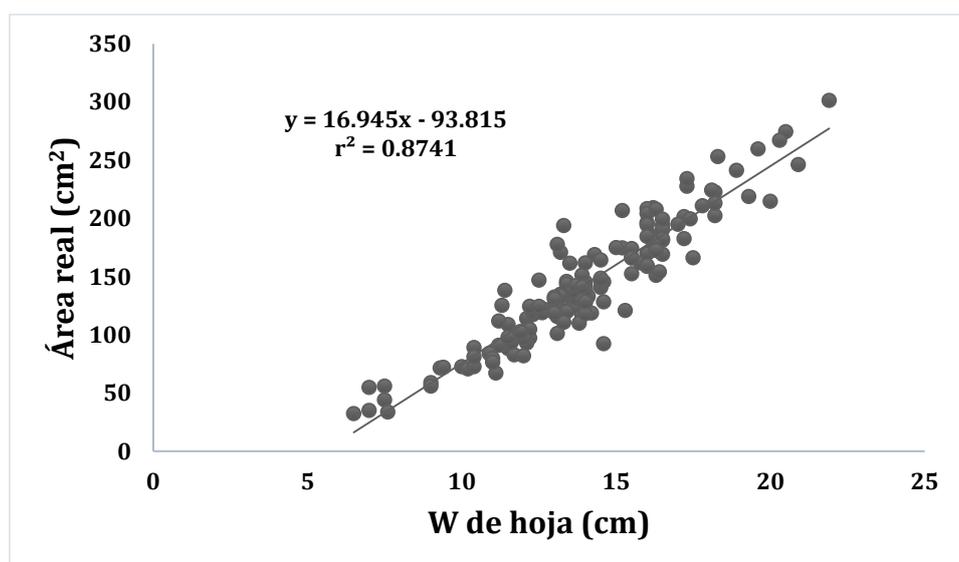


Fig. 11. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el ancho de las hojas del morfotipo I del norte peruano.

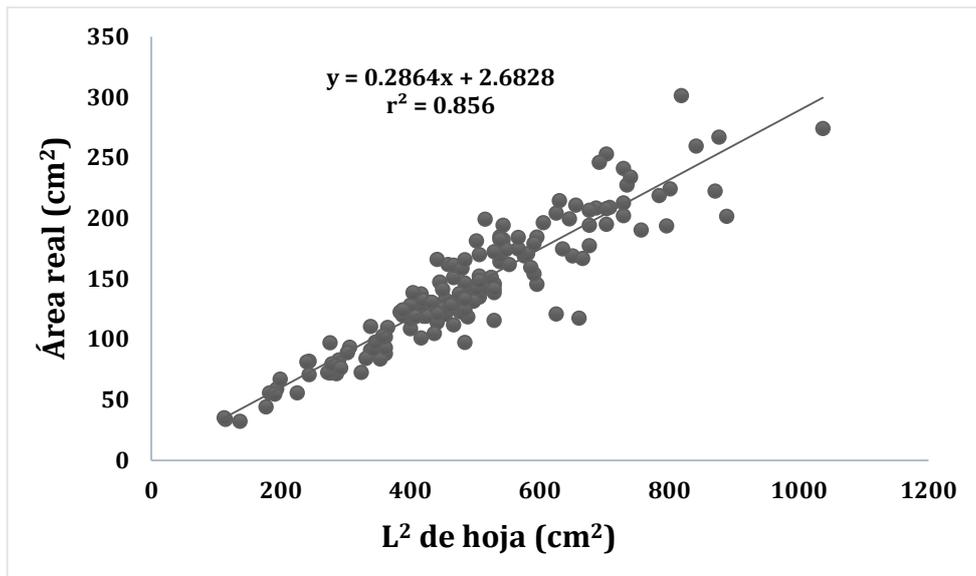


Fig.12. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el largo² de las hojas del morfotipo I del norte peruano.

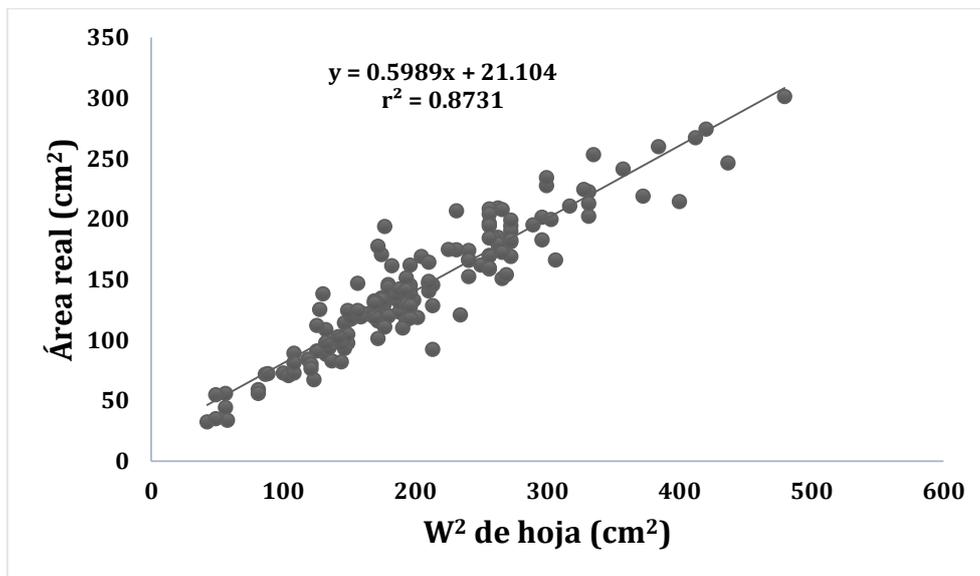


Fig. 13. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el ancho² de las hojas del morfotipo I del norte peruano.

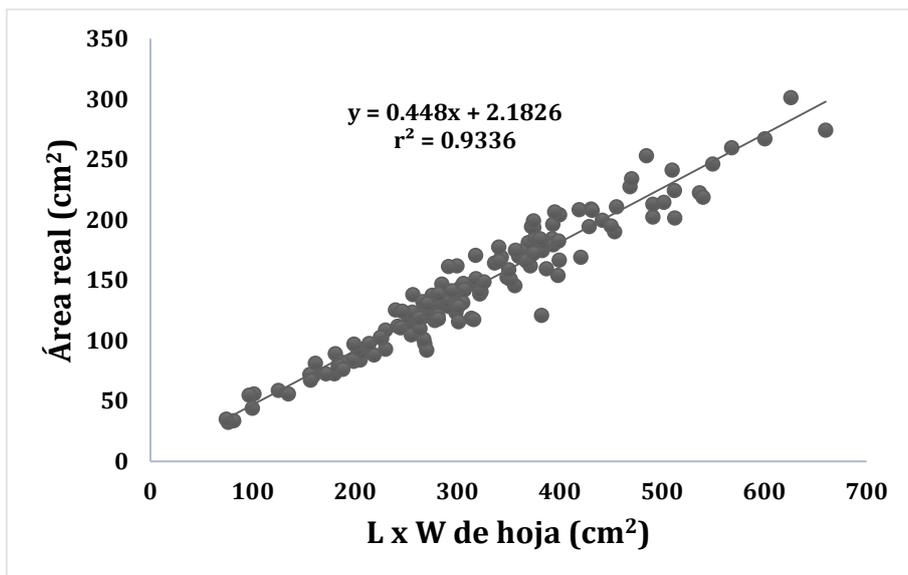


Fig. 14. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el producto de largo x ancho de las hojas del morfotipo I del norte peruano.

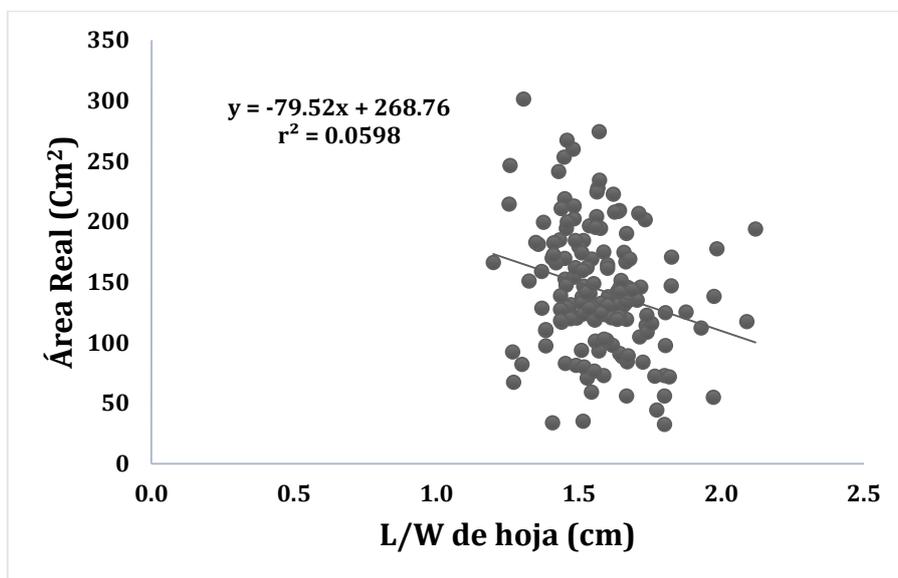


Fig. 15. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y la razón largo/ancho de las hojas del morfotipo I del norte peruano.

Tabla. 9. Ecuaciones de regresión con las diferentes variables, para estimar el área de las hojas de yacón del morfotipo I del norte peruano.

Variables	Ecuación	r	r ²	Área Real	Prom.	Área Estimada %	D.S.	C.V.
L	A = 12.215(L) - 123.06	0.92	0.8489	143.62	143.62	100.64	17.46	17.35
W	A = 16.945(W) - 93.815	0.93	0.8741	143.62	143.62	101.01	15.45	15.29
L ²	A = 0.2864(L ²) + 2.6828	0.93	0.8560	143.62	143.60	101.95	13.80	13.54
W ²	A = 0.5989(W ²) + 21.104	0.93	0.8731	143.62	143.62	102.66	15.16	14.76
L x W	A = 0.448(L x W) + 2.1826	0.97	0.9336	143.62	143.62	101.03	9.63	9.53
L/W	A = -79.52(L/W) + 268.76	0.24	0.0598	143.62	143.62	117.80	61.97	52.61

En la (Fig. 16), se muestra la línea de regresión y el coeficiente de determinación ($r^2 = 0.9336$), entre el área real y el área estimada mediante el producto de largo (L) por el ancho (W). La tendencia de la línea de regresión y el valor de r^2 , indica que existe alta correlación entre ambas áreas y que se puede obtener el área real a través del área estimada.

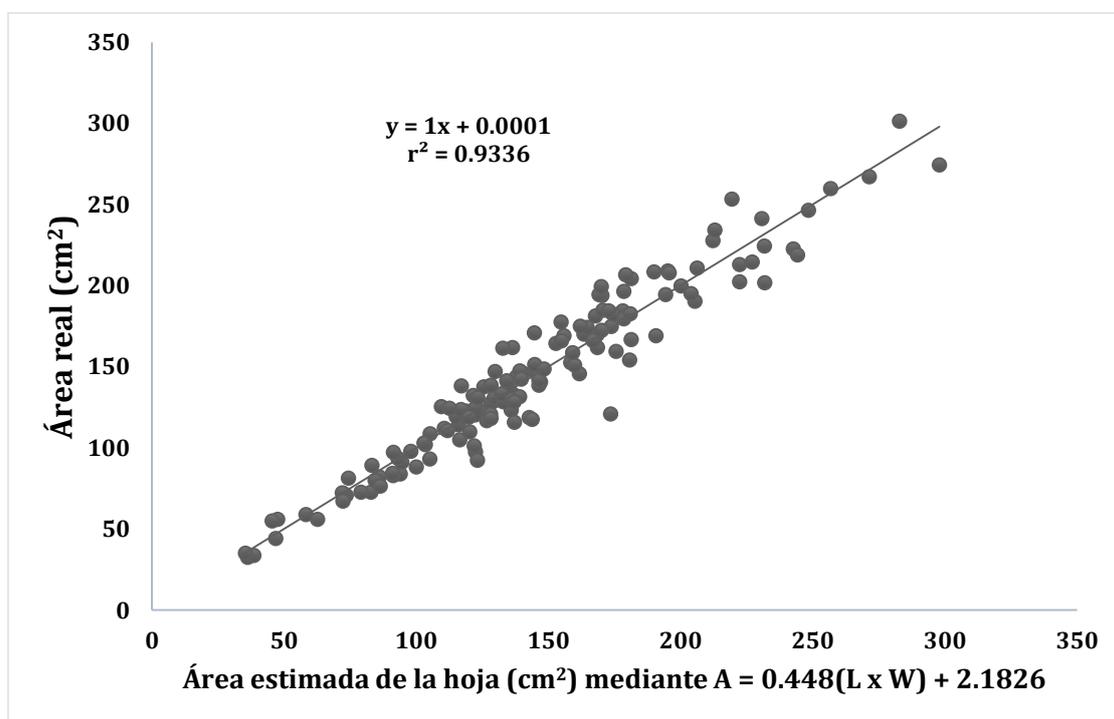


Fig. 16. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación entre área real y el área estimada mediante el producto del largo (L) por el ancho (W) de las hojas del morfotipo I del norte peruano.

4.3.2. Correlaciones y regresiones para el morfotipo II

A continuación se presentan las diversas correlaciones entre el área real y las variables (L, W, L², W², L x W, L/W) de las dimensiones lineales de las hojas del morfotipo II. La mejor correlación se presenta entre el área real y el largo², cuyo valor de $r = 0.93$ y el coeficiente de determinación $r^2 = 0.8646$, ambos indican que existe alta correlación entre las dos variables.

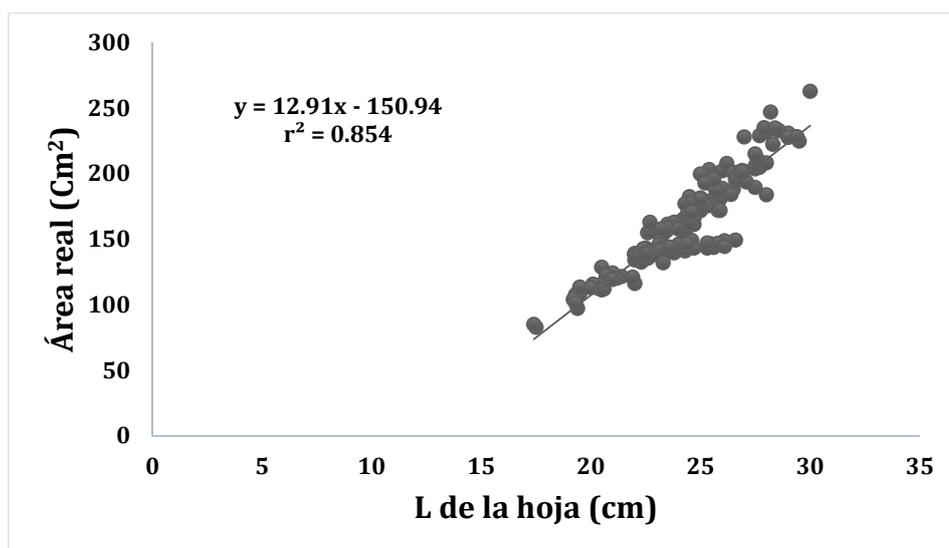


Fig. 17. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el largo de las hojas del morfotipo II del norte peruano.

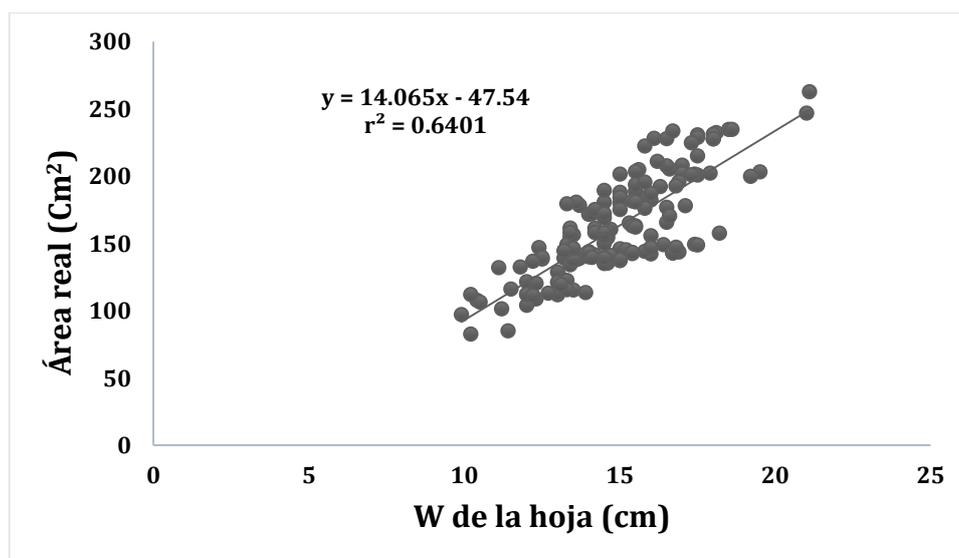


Fig. 18. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el ancho de las hojas del morfotipo II del norte peruano.

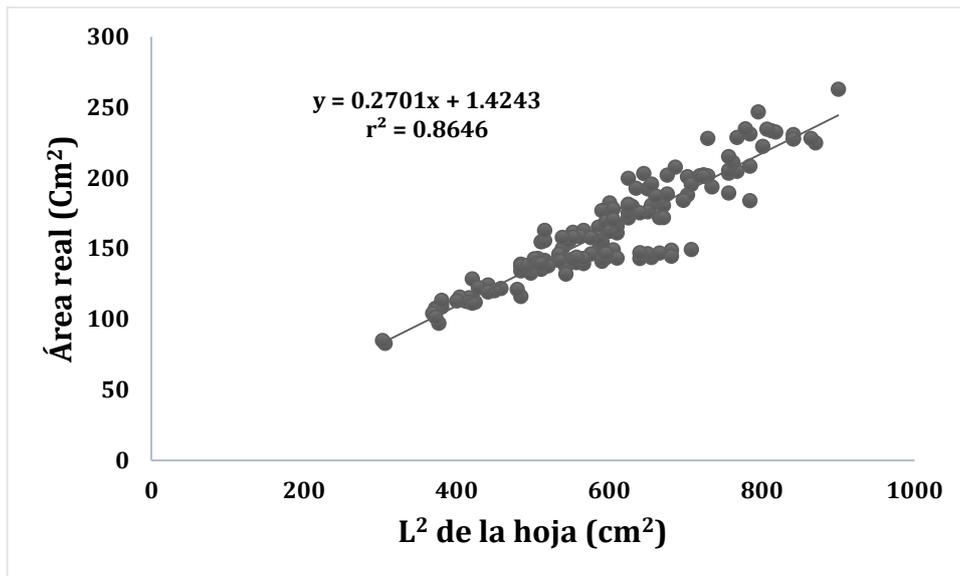


Fig. 19. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el largo² de las hojas del morfotipo II del norte peruano.

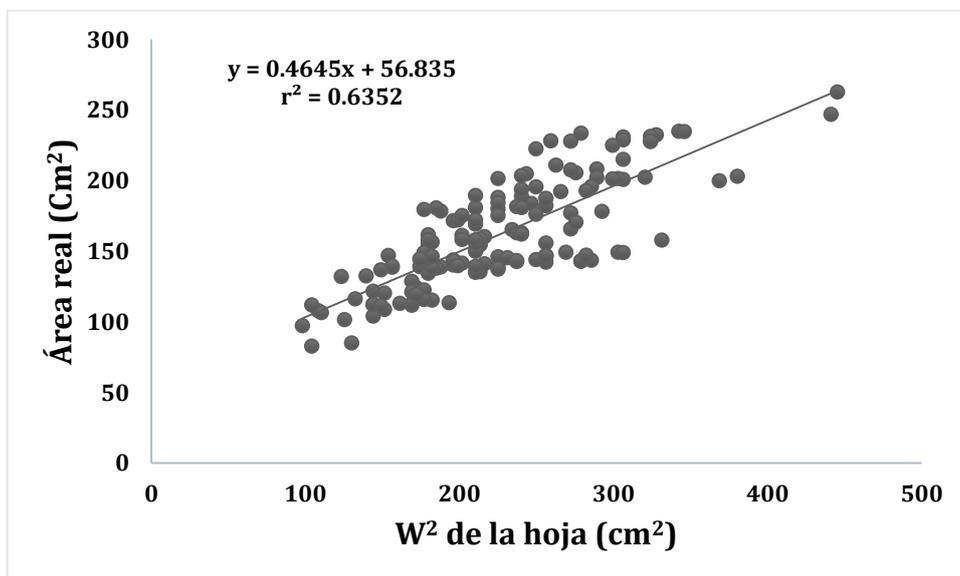


Fig. 20. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el ancho² de las hojas del morfotipo II del norte peruano.

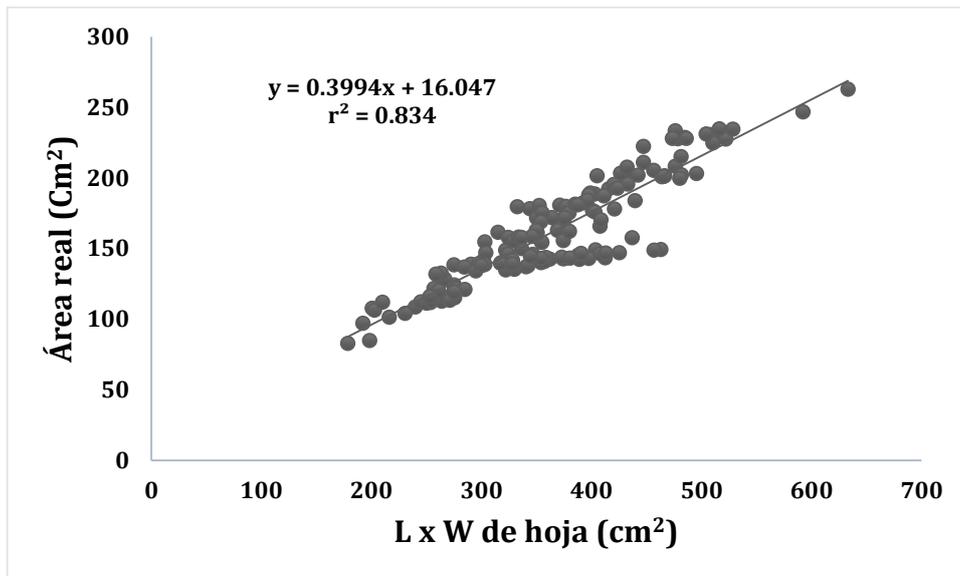


Fig. 21. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el largo x ancho de las hojas del morfotipo II del norte peruano.

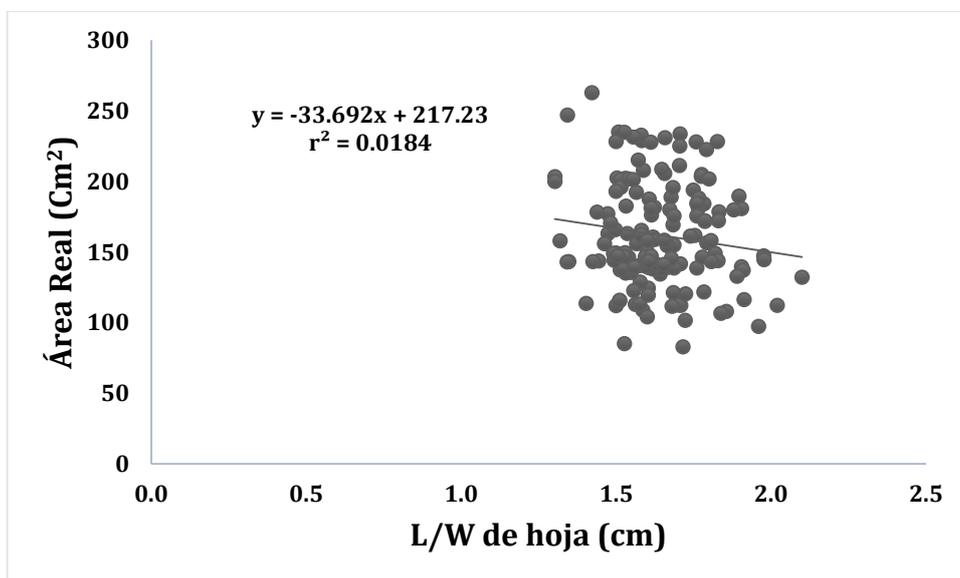


Fig. 22. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y la razón largo/ancho de las hojas del morfotipo II del norte peruano.

Tabla. 10. Ecuaciones de regresión con las diferentes variables, para estimar el área de las hojas yacón del morfotipo II del norte peruano.

Variables	Ecuación	r	r ²	Área Real	Área Estimada			
					Prom.	%	D.S.	C.V.
L	A = 12.91(L) - 150.94	0.92	0.8540	161.96	161.95	100.55	8.97	8.92
W	A = 14.065(W) - 47.54	0.80	0.6401	161.96	161.96	101.84	14.07	13.81
L²	A = 0.2701(L²) + 1.4243	0.93	0.8646	161.96	161.98	100.61	8.52	8.47
W ²	A = 0.4645(W ²) + 56.835	0.80	0.6352	161.96	161.97	101.96	14.15	13.88
L x W	A = 0.3994(L x W) + 16.047	0.91	0.8340	161.96	161.95	100.80	9.67	9.59
L/W	A = -33.692(L/W) + 217.23	0.14	0.0184	161.96	161.96	105.38	24.81	23.54

En la (Fig. 23), se muestra la línea de regresión y el coeficiente de determinación ($r^2 = 0.8646$), entre el área real y el área estimada mediante el largo al cuadrado (L^2), la tendencia de la línea de regresión y el valor de r^2 , indica que existe alta correlación entre ambas áreas y que se puede obtener el área real a través del área estimada.

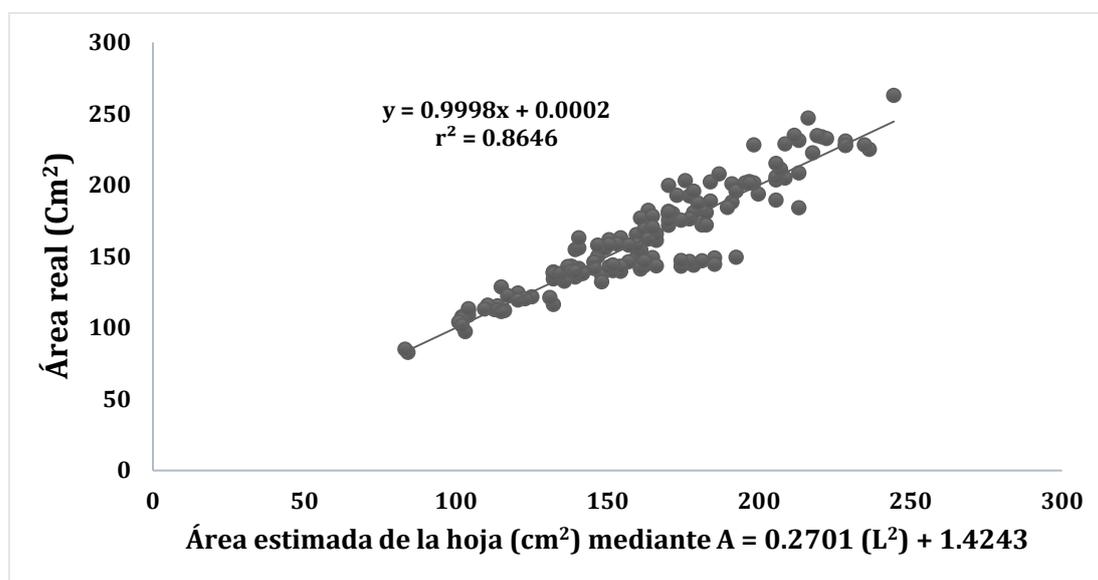


Fig. 23. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación entre área real y el área estimada mediante el largo² de las hojas del morfotipo II del norte peruano.

4.3.3. Correlaciones y regresiones para el morfotipo III

A continuación se presentan las diversas correlaciones entre el área real y las variables (L, W, L², W², L x W, L/W) de las dimensiones lineales de las hojas del morfotipo III. La mejor correlación se presenta entre el área real y el producto de largo x ancho, cuyo valor de $r = 0.98$ y el coeficiente de determinación $r^2 = 0.9577$, ambos indican que existe alta correlación entre las dos variables.

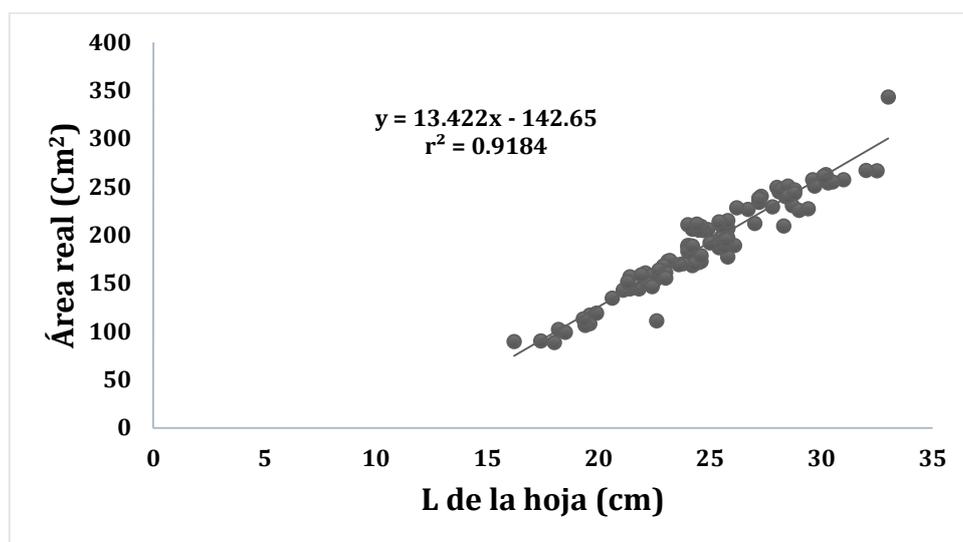


Fig. 24. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el largo de las hojas del morfotipo III del norte peruano.

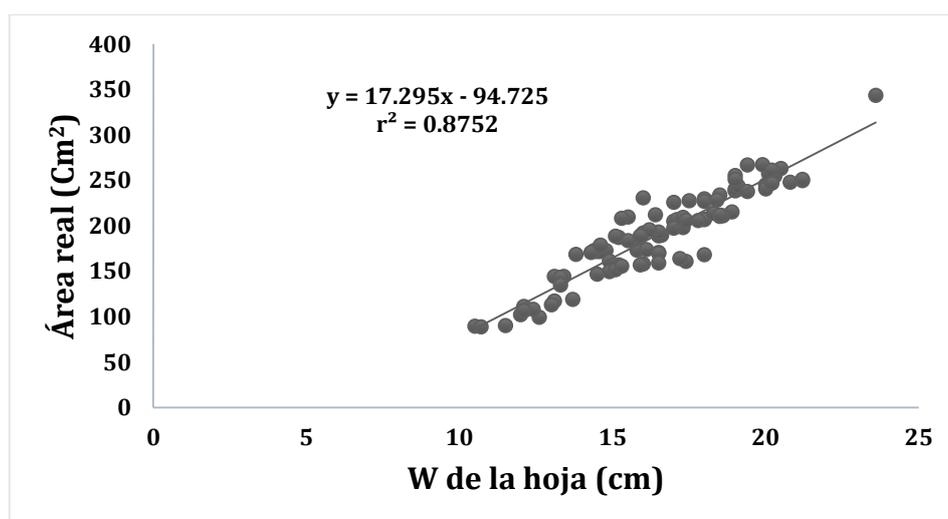


Fig. 25. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el ancho de las hojas del morfotipo III del norte peruano.

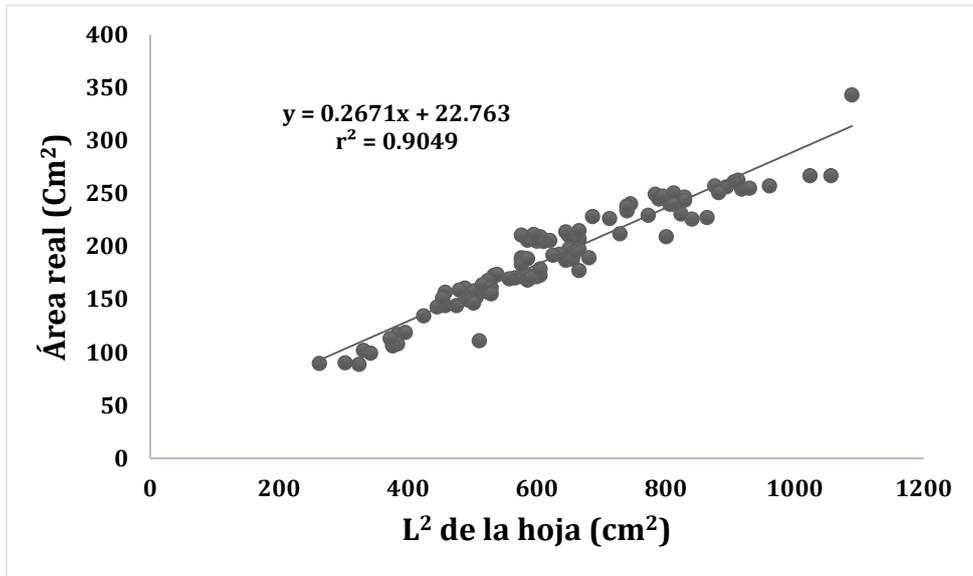


Fig. 26. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el largo² de las hojas del morfotipo III del norte peruano.

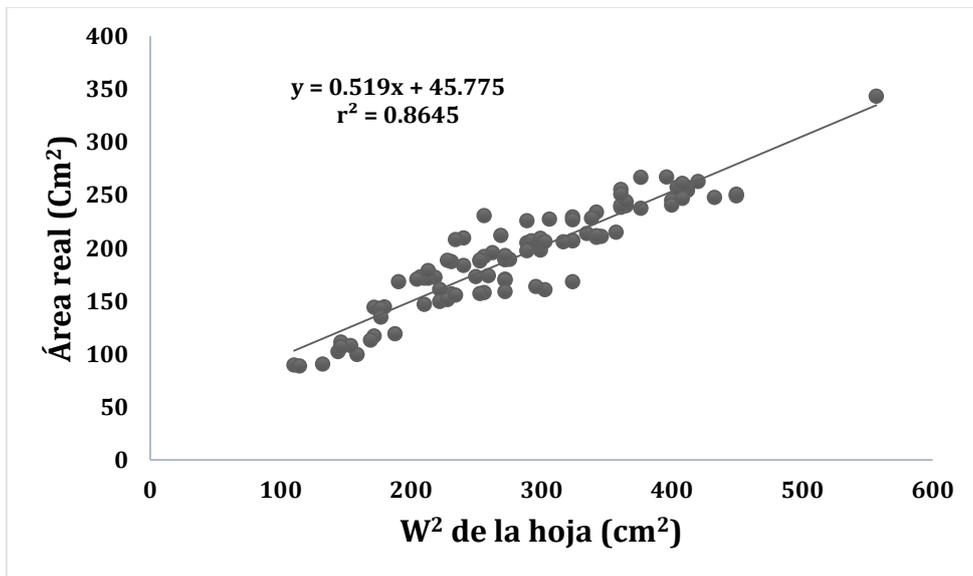


Fig. 27. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el ancho² de las hojas del morfotipo III del norte peruano.

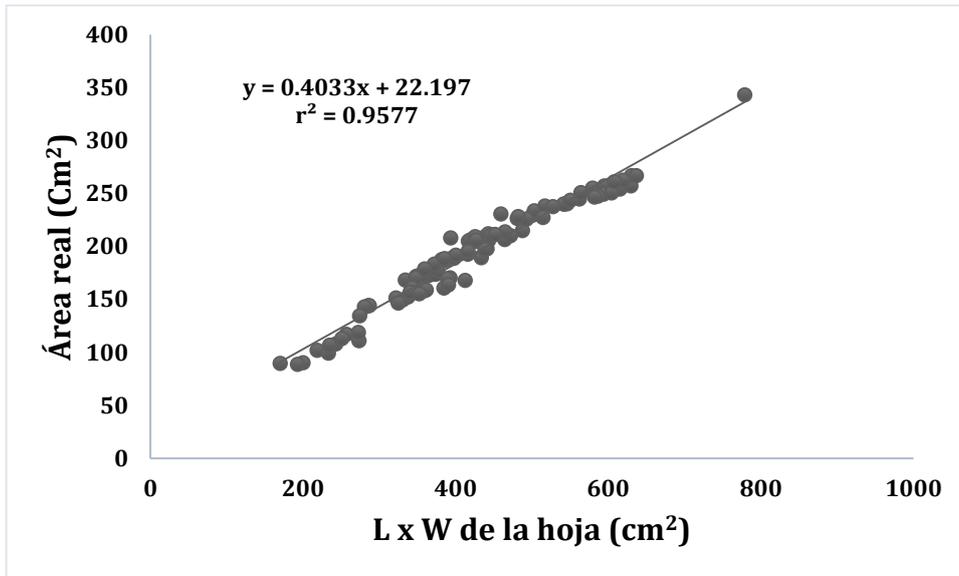


Fig. 28. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el largo x ancho de las hojas del morfotipo III del norte peruano.

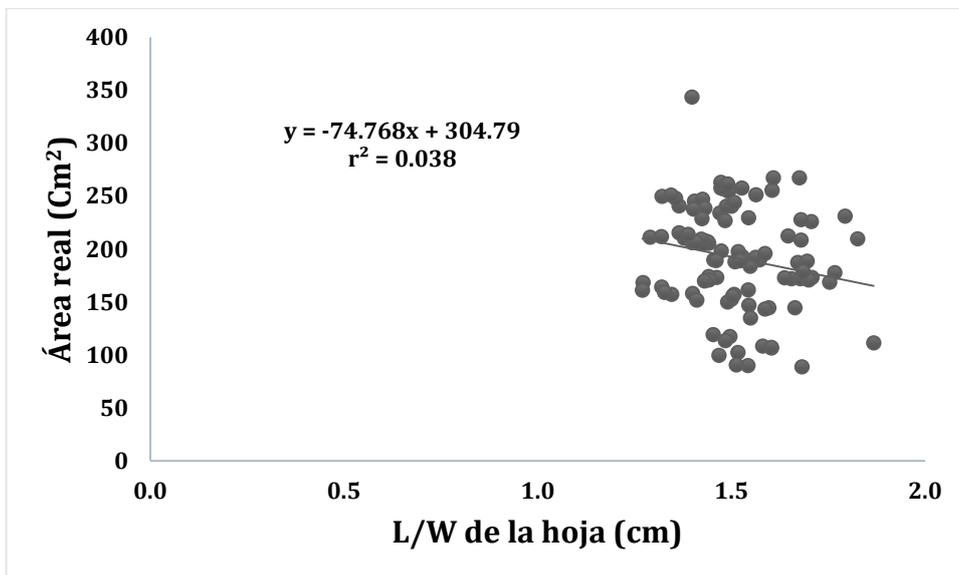


Fig. 29. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y la razón largo/ancho de las hojas del morfotipo III del norte peruano.

Tabla. 11. Ecuaciones de regresión con las diferentes variables, para estimar el área de las hojas yacón del morfotipo III del norte peruano.

Variables	Ecuación	r	r ²	Área Real	Área Estimada			
					Prom.	%	D.S.	C.V.
L	A = 13.422(L) - 142.65	0.96	0.9184	191.59	191.57	100.61	7.94	7.89
W	A = 17.295(W) - 94.725	0.94	0.8752	191.59	192.03	101.23	9.79	9.67
L ²	A = 0.2671(L ²) + 22.763	0.95	0.9049	191.59	191.58	100.96	8.76	8.67
W ²	A = 0.519(W ²) + 45.775	0.93	0.8645	191.59	191.57	101.30	10.73	10.59
L x W	A = 0.4033(L x W) + 22.197	0.98	0.9577	191.59	191.57	100.57	6.09	6.05
L/W	A = -74.768(L/W) + 304.79	0.19	0.0380	191.59	191.59	107.71	32.99	30.63

En la (Fig. 30), se muestra la línea de regresión y el coeficiente de determinación ($r^2 = 0.9577$), entre el área real y el área estimada mediante el producto de largo (L) por el ancho (W). La tendencia de la línea de regresión y el valor de r^2 , indica que existe alta correlación entre ambas áreas y que se puede obtener el área real a través del área estimada.

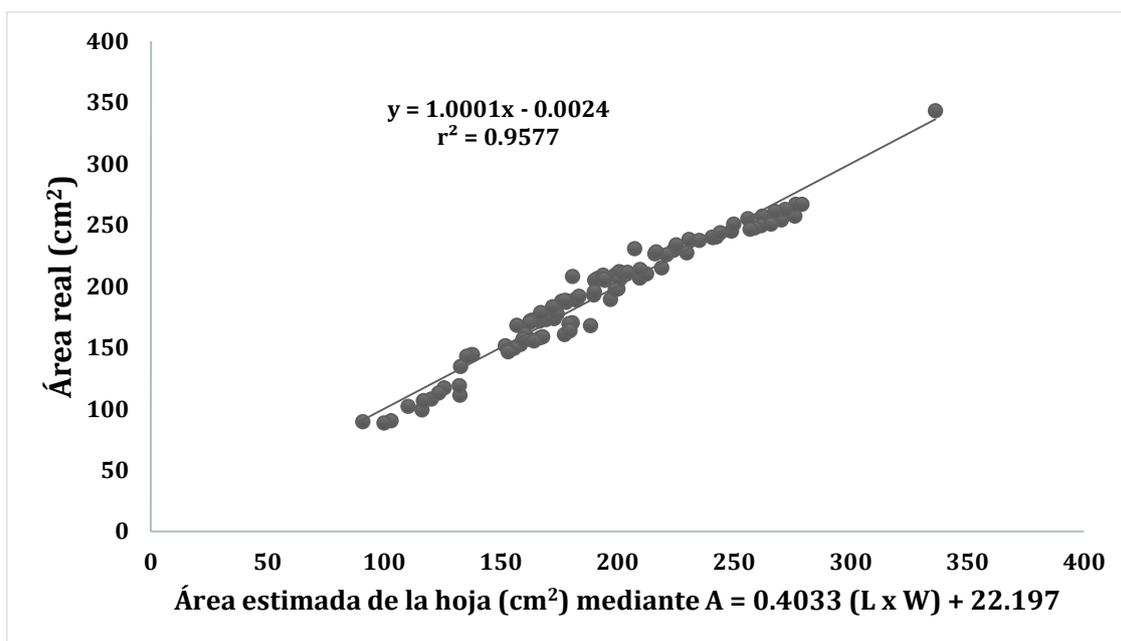


Fig. 30. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación entre área real y el área estimada mediante el producto del largo (L) por el ancho (W) de las hojas del morfotipo III del norte peruano.

4.3.4. Correlaciones y regresiones para el morfotipo IV

A continuación se presentan las diversas correlaciones entre el área real y las variables (L, W, L², W², L x W, L/W) de las dimensiones lineales de las hojas del morfotipo IV. La mejor correlación se presenta entre el área real y el producto de largo x ancho, cuyo valor de $r = 0.97$ y el coeficiente de determinación $r^2 = 0.9378$, ambos indican que existe alta correlación entre las dos variables.

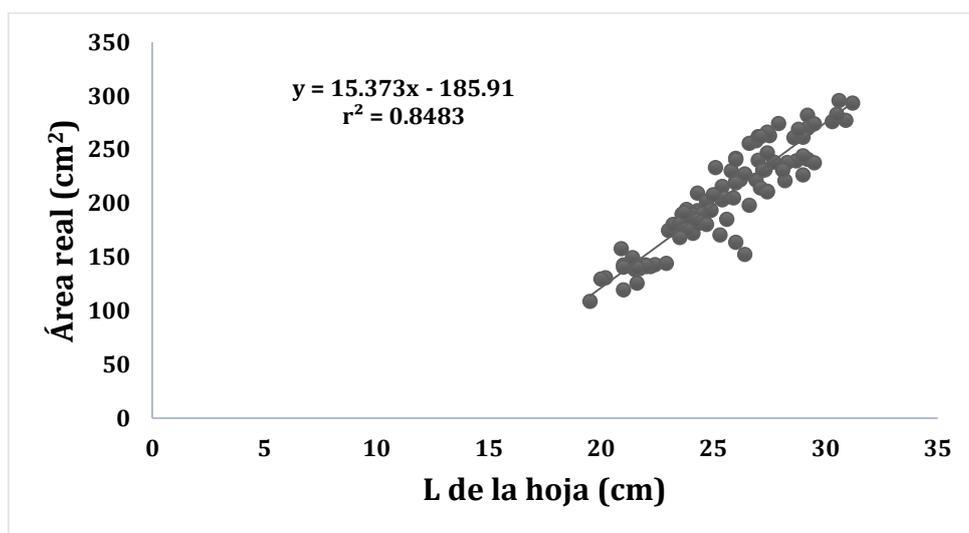


Fig. 31. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el largo de las hojas del morfotipo IV del norte peruano.

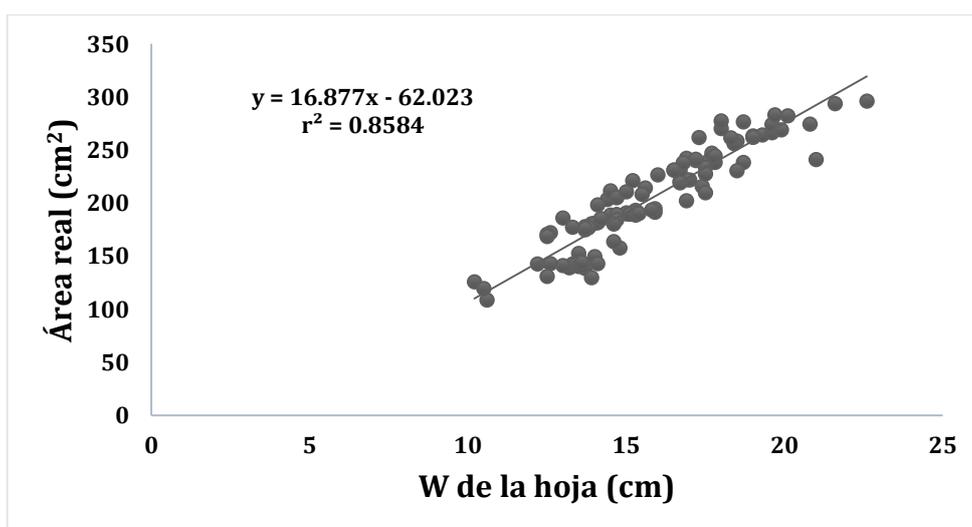


Fig. 32. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el ancho de las hojas del morfotipo IV del norte peruano.

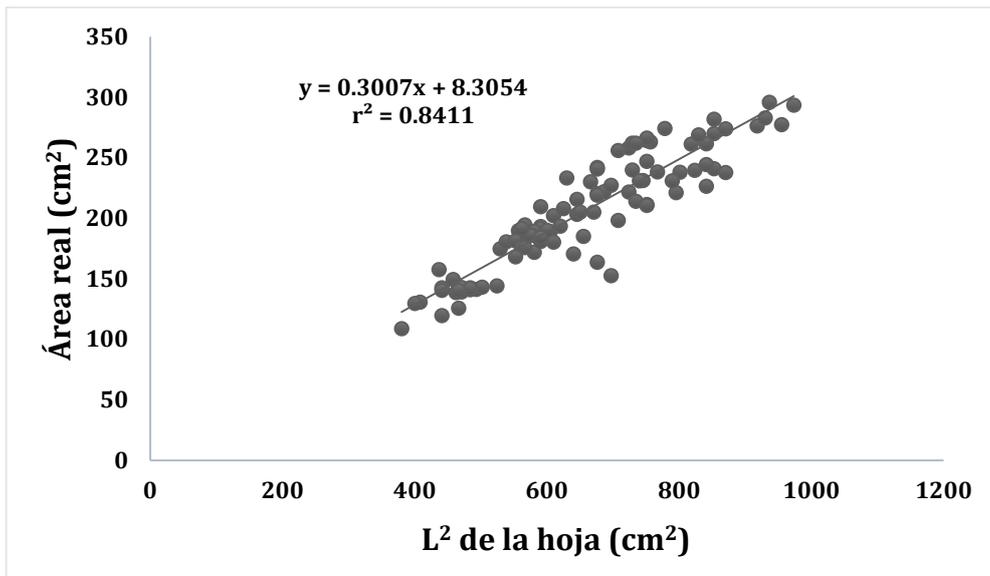


Fig. 33. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el largo² de las hojas del morfotipo IV del norte peruano.

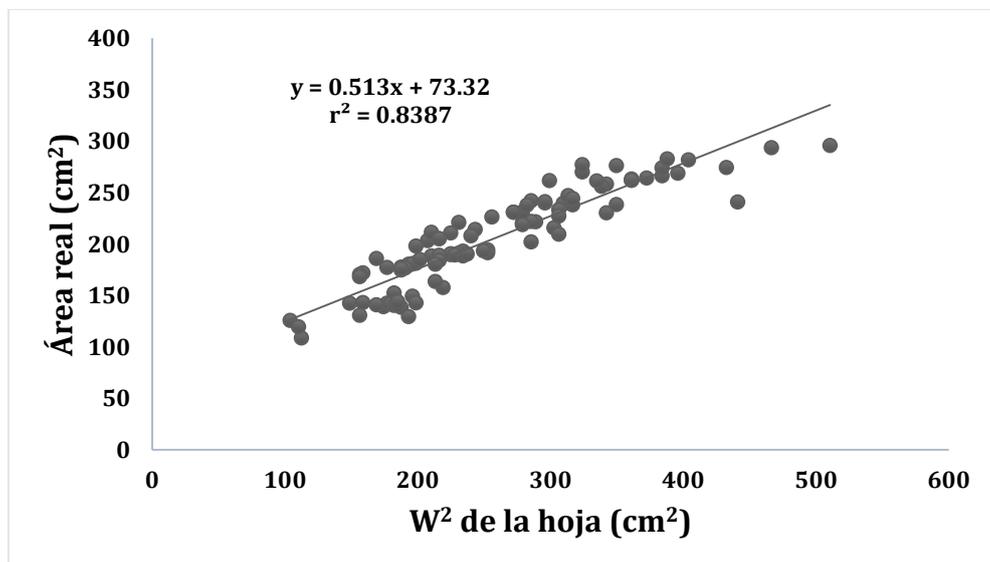


Fig. 34. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el ancho² de las hojas del morfotipo IV del norte peruano.

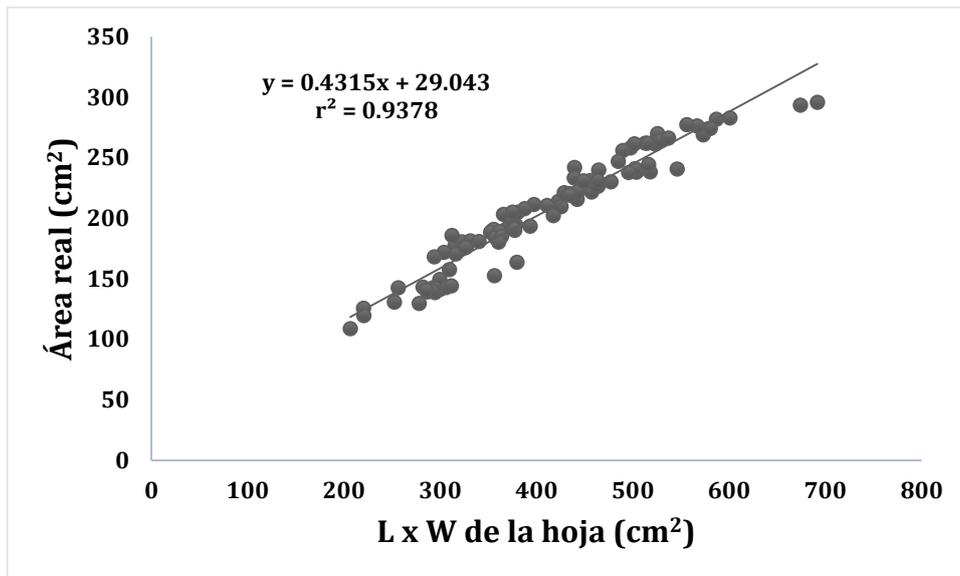


Fig. 35. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y el largo x ancho de las hojas del morfotipo IV del norte peruano.

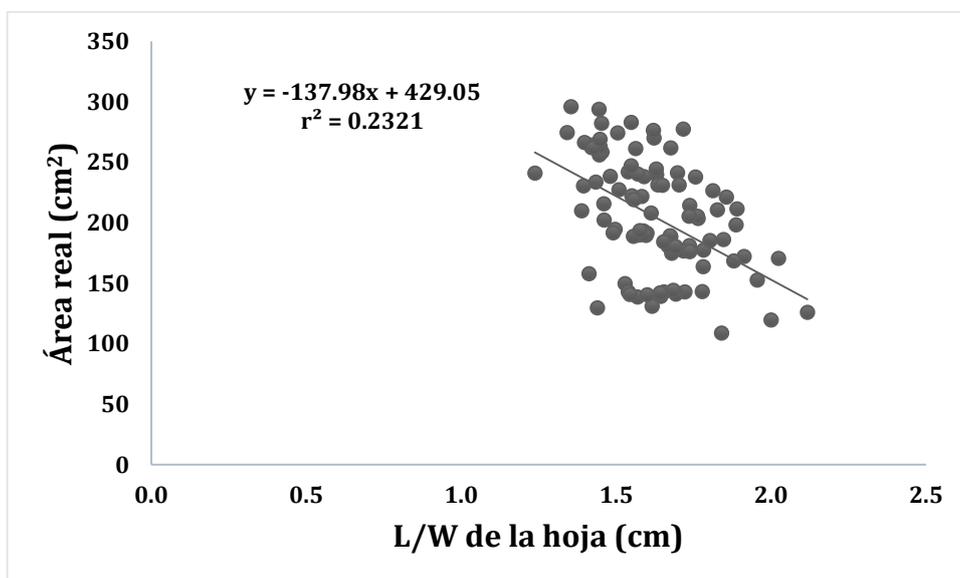


Fig. 36. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y la razón largo/ancho de las hojas del morfotipo IV del norte peruano.

Tabla. 12. Ecuaciones de regresión con las diferentes variables, para estimar el área de las hojas yacón del morfotipo IV del norte peruano.

Variables	Ecuación	r	r ²	Área Real	Área Estimada			
					Prom.	%	D.S.	C.V.
L	A = 15.373(L) - 185.91	0.92	0.8483	204.61	204.61	100.81	9.28	9.20
W	A = 16.877(W) - 62.023	0.93	0.8584	204.61	204.60	100.91	9.68	9.59
L ²	A = 0.3007(L ²) + 8.3054	0.92	0.8411	204.61	204.62	100.92	9.44	9.36
W ²	A = 0.513(W ²) + 73.32	0.92	0.8387	204.61	204.60	101.11	10.14	10.03
L x W	A = 0.4315(L x W) + 29.043	0.97	0.9378	204.61	204.59	100.48	6.25	6.22
L/W	A = -137.98(L/W) + 429.05	0.48	0.2321	204.61	204.60	104.37	23.25	22.28

En la (Fig. 37), se muestra la línea de regresión y el coeficiente de determinación ($r^2 = 0.9378$), entre el área real y el área estimada mediante el producto de largo (L) por el ancho (W). La tendencia de la línea de regresión y el valor de r^2 , indica que existe alta correlación entre ambas áreas y que se puede obtener el área real a través del área estimada.

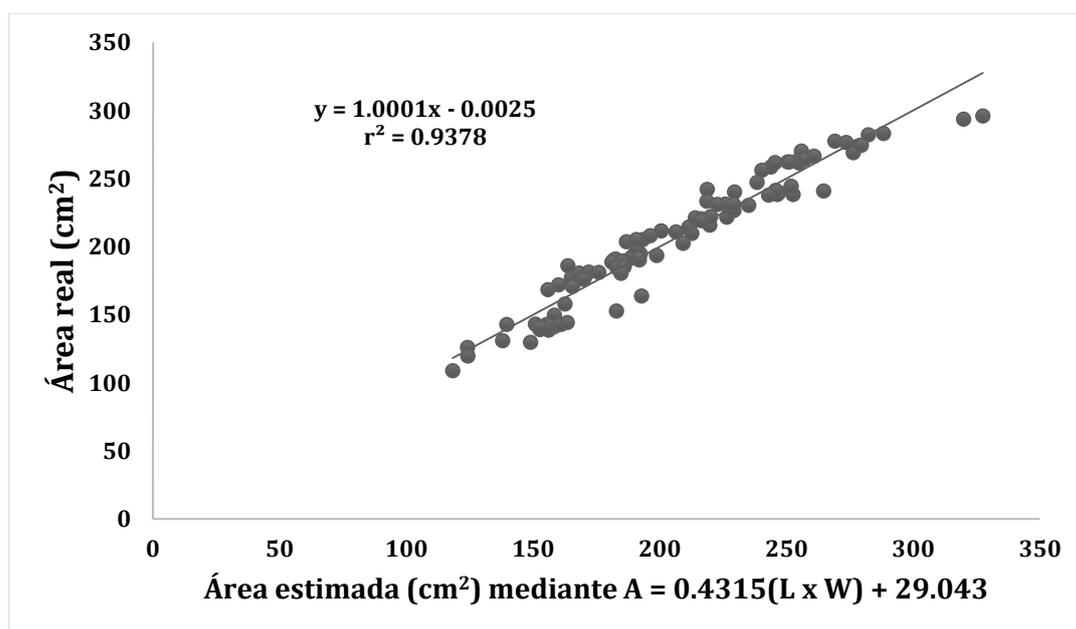


Fig. 37. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación entre área real y el área estimada mediante el producto del largo (L) por el ancho (W) de las hojas del morfotipo IV del norte peruano.

4.3.5. Correlaciones para el morfotipo V

A continuación se presentan las diversas correlaciones entre el área real y las variables (L, W, L², W², L x W, L/W) de las dimensiones lineales de las hojas del morfotipo V. La mejor correlación se presenta entre el área real y el producto de largo x ancho, cuyo valor de $r = 0.93$ y el coeficiente de determinación $r^2 = 0.8650$, ambos indican que existe alta correlación entre las dos variables.

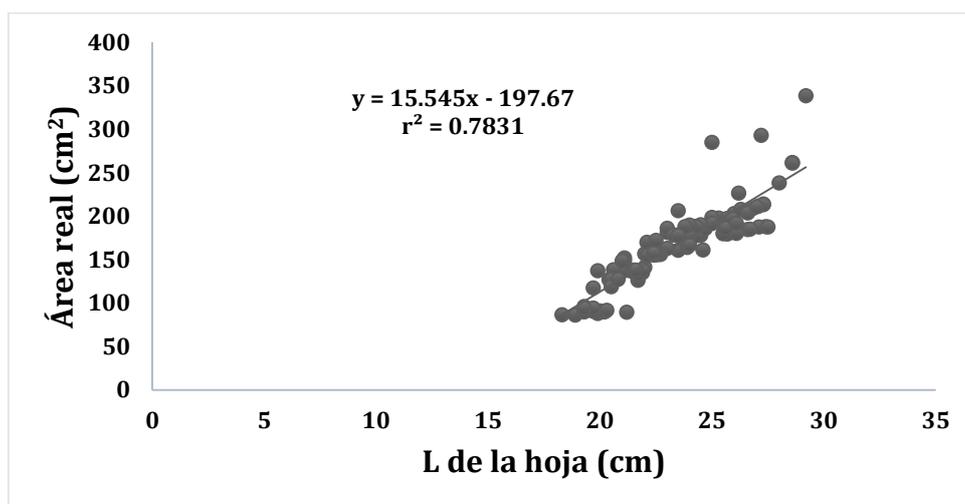


Fig. 38. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo de las hojas del morfotipo V del norte peruano.

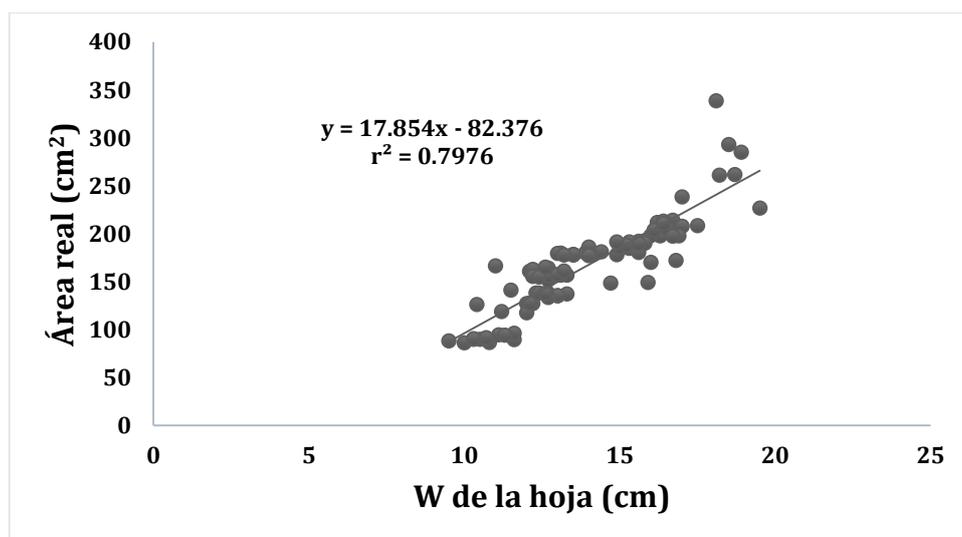


Fig. 39. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho de las hojas del morfotipo V del norte peruano.

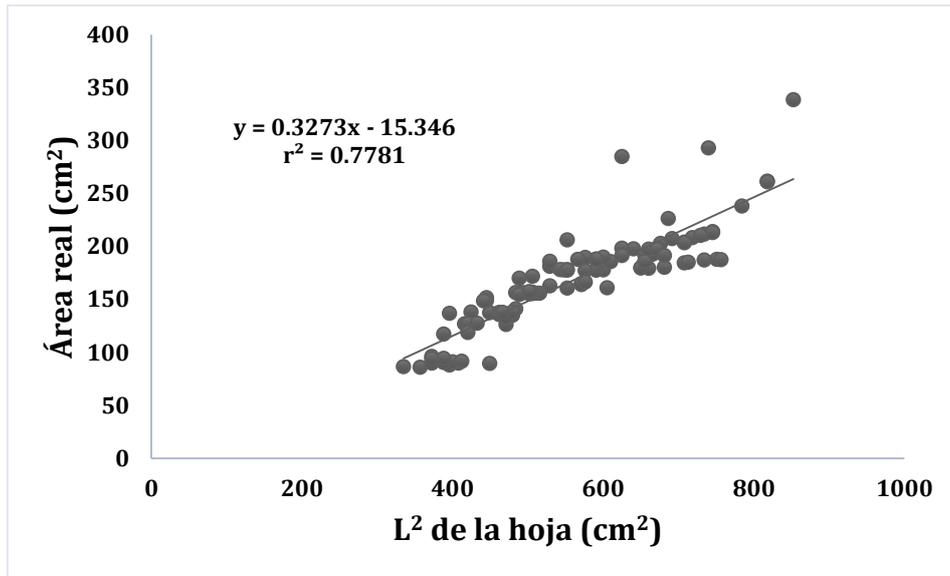


Fig. 40. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y L^2 de las hojas del morfotipo V del norte peruano.

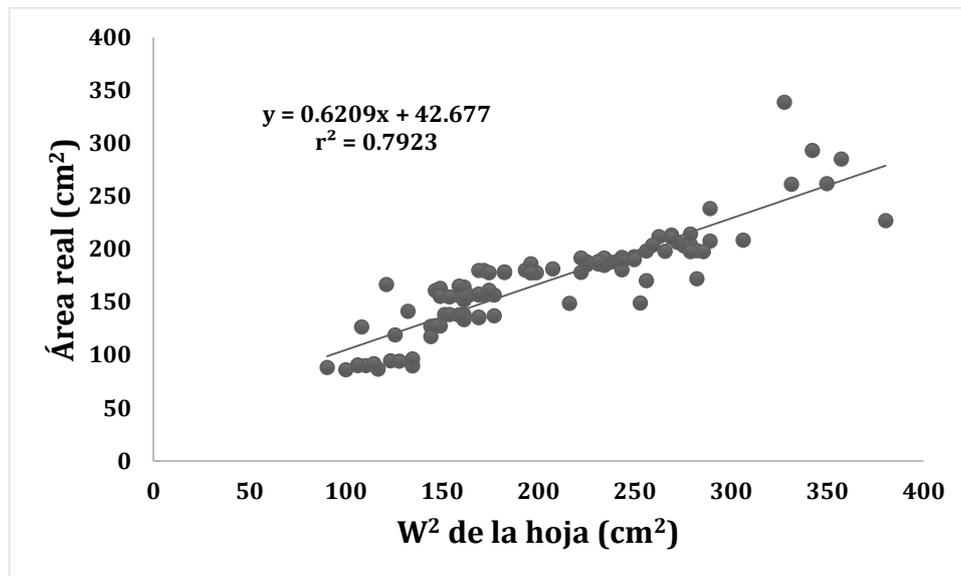


Fig. 41. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y W^2 de las hojas del morfotipo V del norte peruano.

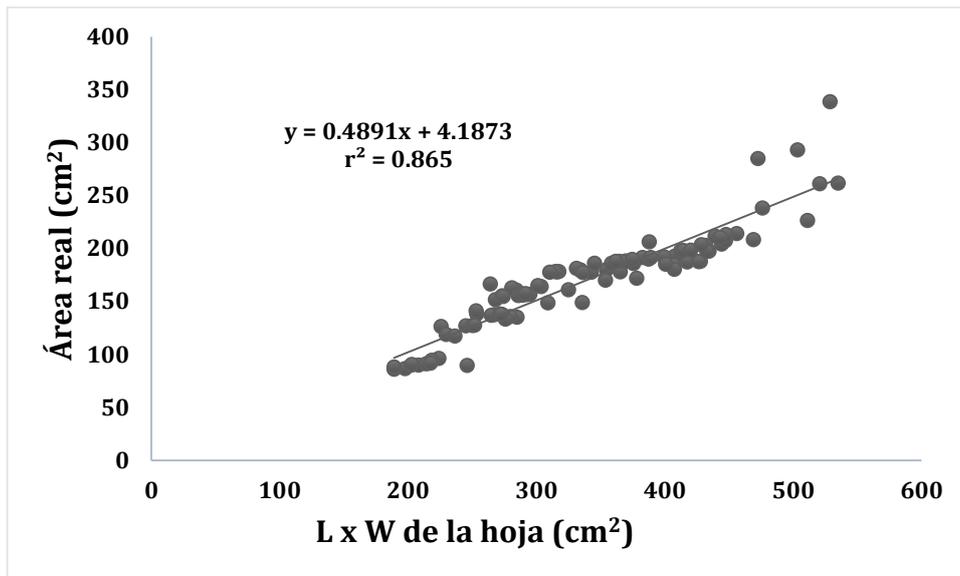


Fig. 42. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo x ancho de las hojas del morfotipo V del norte peruano.

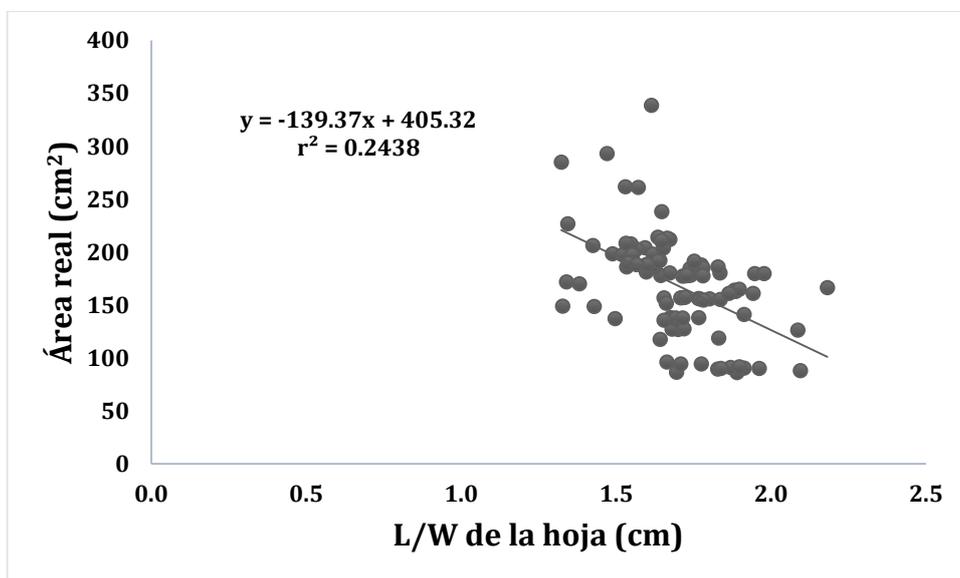


Fig. 43. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y la razón largo/ancho de las hojas del morfotipo V del norte peruano.

Tabla. 13. Ecuaciones de regresión con las diferentes variables, para estimar el área de las hojas yacón del morfotipo V del norte peruano.

Variables	Ecuación	r	r ²	Área Real	Área Estimada			
					Prom.	%	D.S.	C.V.
L	A = 15.545(L) - 197.67	0.88	0.7831	169.08	169.08	101.52	12.12	11.93
W	A = 17.854(W) - 82.376	0.89	0.7976	169.08	169.08	101.58	12.56	12.37
L ²	A = 0.3273(L ²) - 15.346	0.88	0.7781	169.08	169.06	101.68	12.70	12.49
W ²	A = 0.6209(W ²) + 42.677	0.89	0.7923	169.08	169.09	101.84	13.47	13.23
L x W	A = 0.4891(L x W) + 4.1873	0.93	0.8650	169.08	169.09	101.11	10.05	9.94
L/W	A = -139.37(L/W) + 405.32	0.49	0.2438	169.08	169.08	106.32	28.39	26.70

En la (Fig. 44), se muestra la línea de regresión y el coeficiente de determinación ($r^2 = 0.8650$), entre el área real y el área estimada mediante el producto de largo (L) por el ancho (W). La tendencia de la línea de regresión y el valor de r^2 , indica que existe alta correlación entre ambas áreas y que se puede obtener el área real a través del área estimada.

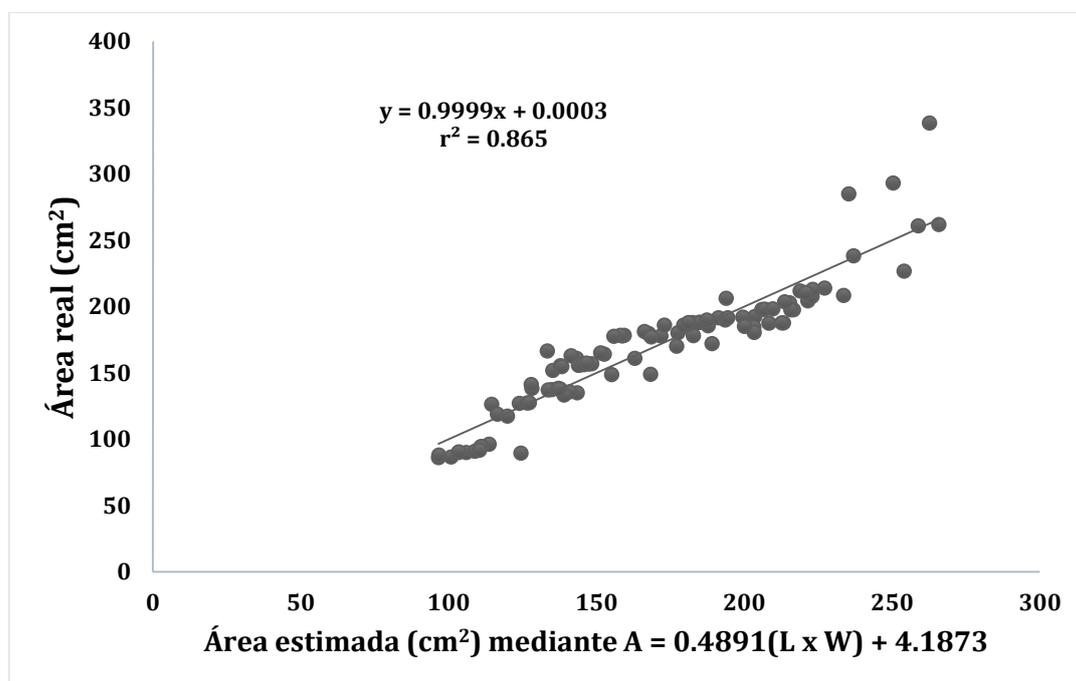


Fig. 44. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación entre área real y el área estimada mediante el producto del largo (L) por el ancho (W) de las hojas del morfotipo V del norte peruano.

4.3.6. Correlaciones y regresiones para el morfotipo VI

A continuación se presentan las diversas correlaciones entre el área real y las variables (L, W, L², W², L x W, L/W) de las dimensiones lineales de las hojas del morfotipo VI. La mejor correlación se presenta entre el área real y el producto de largo x ancho, cuyo valor de $r = 0.97$ y el coeficiente de determinación $r^2 = 0.9450$, ambos indican que existe alta correlación entre las dos variables.

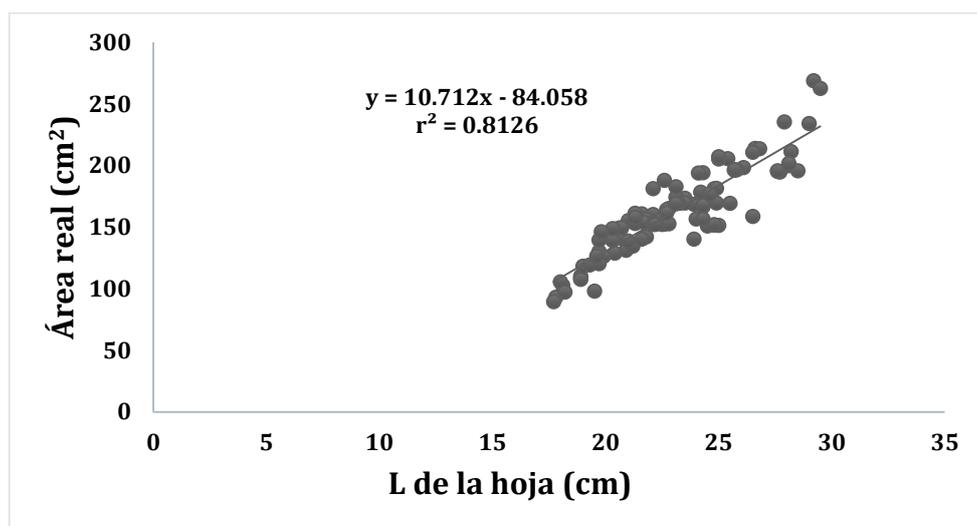


Fig. 45. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo de las hojas del morfotipo VI del norte peruano.

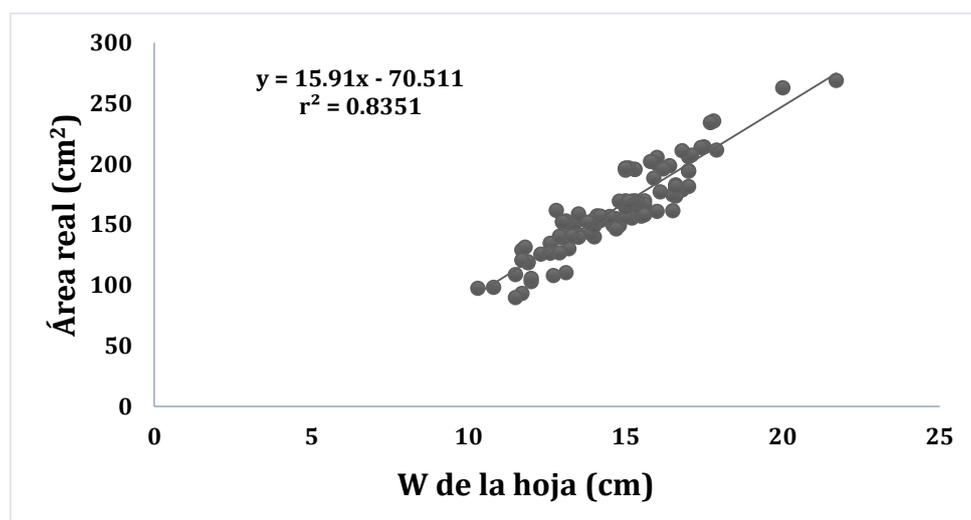


Fig. 46. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho de las hojas del morfotipo VI del norte peruano.

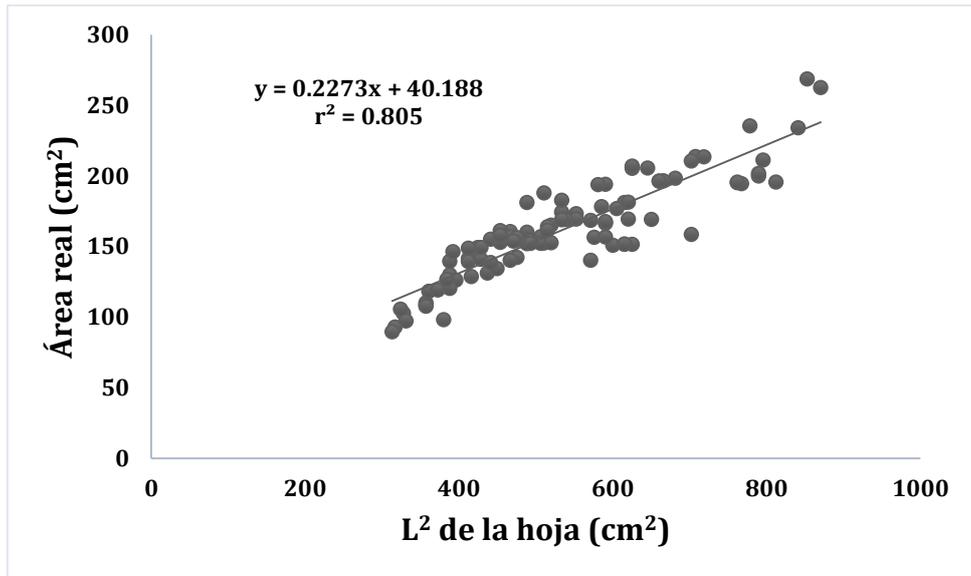


Fig. 47. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo^2 de las hojas del morfotipo VI del norte peruano.

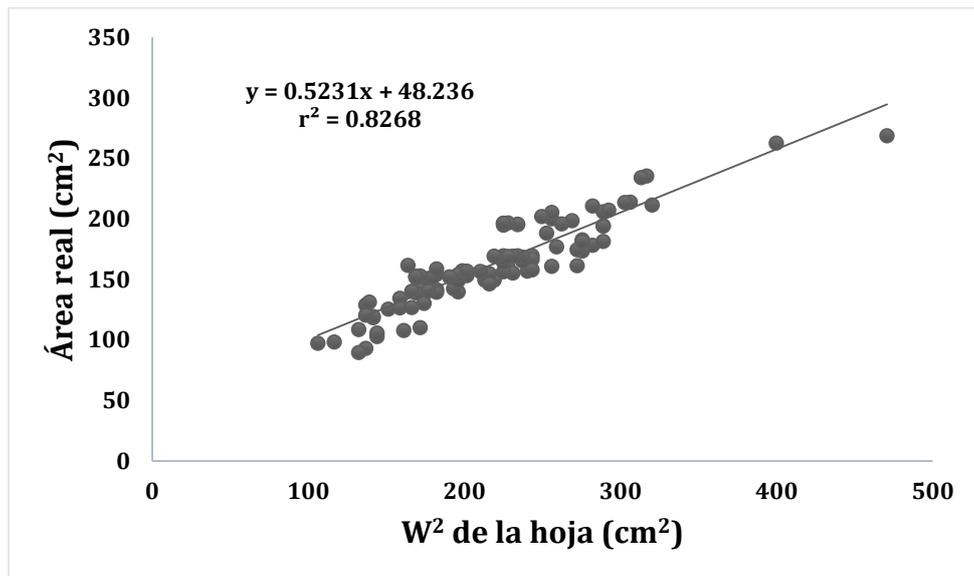


Fig. 48. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho^2 de las hojas del morfotipo VI del norte peruano.

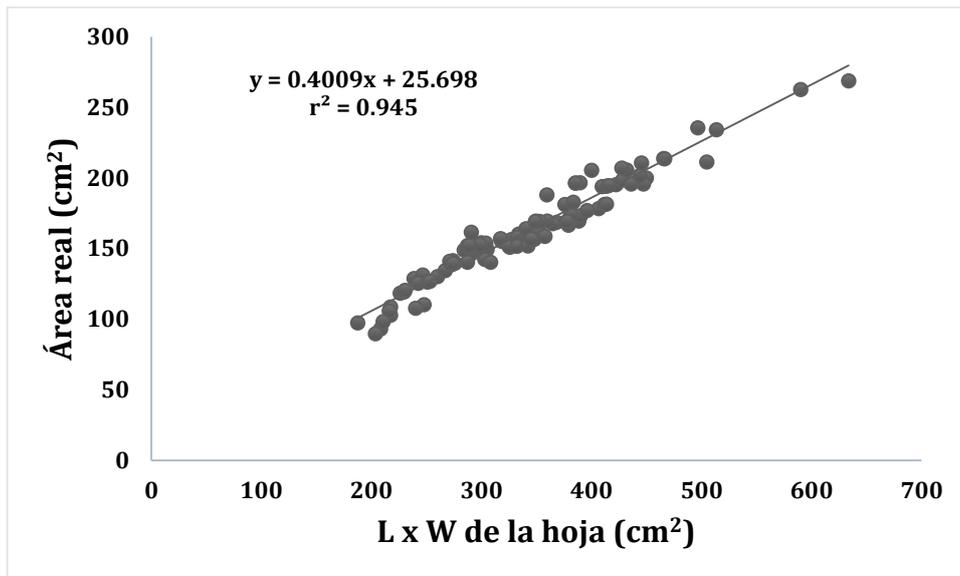


Fig. 49. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo x ancho de las hojas del morfotipo VI del norte peruano.

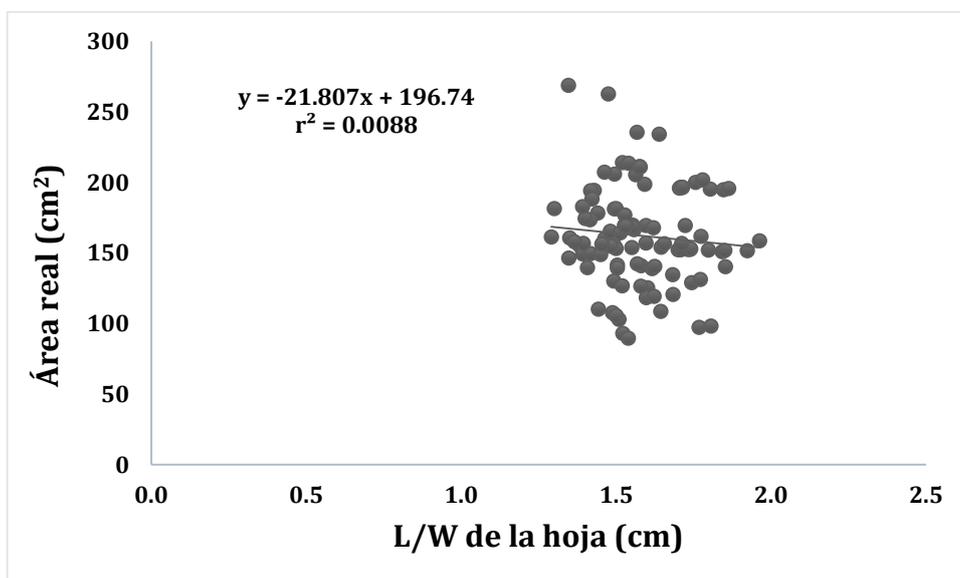


Fig. 50. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y la relación largo/ancho de las hojas del morfotipo VI del norte peruano.

Tabla. 14. Ecuaciones de regresión con las diferentes variables, para estimar el área de las hojas yacón del morfotipo VI del norte peruano.

Variables	Ecuación	r	r ²	Área Real	Área Estimada			
					Prom.	%	D.S.	C.V.
L	A = 10.712(L) - 84.058	0.90	0.8126	162.28	162.29	100.87	9.28	9.20
W	A = 15.91(W) - 70.511	0.91	0.8351	162.28	162.28	100.81	9.19	9.11
L ²	A = 0.2273(L ²) + 40.188	0.90	0.8050	162.28	162.30	100.99	9.81	9.71
W ²	A = 0.5231(W ²) + 48.236	0.91	0.8268	162.28	162.27	100.96	9.57	9.48
L x W	A = 0.4009(L x W) + 25.698	0.97	0.9450	162.28	162.30	100.38	5.56	5.54
L/W	A = -21.807(L/W) + 196.74	0.09	0.0088	162.28	162.28	104.76	23.84	22.76

En la (Fig. 51), se muestra la línea de regresión y el coeficiente de determinación ($r^2 = 0.9450$), entre el área real y el área estimada mediante el producto de largo (L) por el ancho (W). La tendencia de la línea de regresión y el valor de r^2 , indica que existe alta correlación entre ambas áreas y que se puede obtener el área real a través del área estimada.

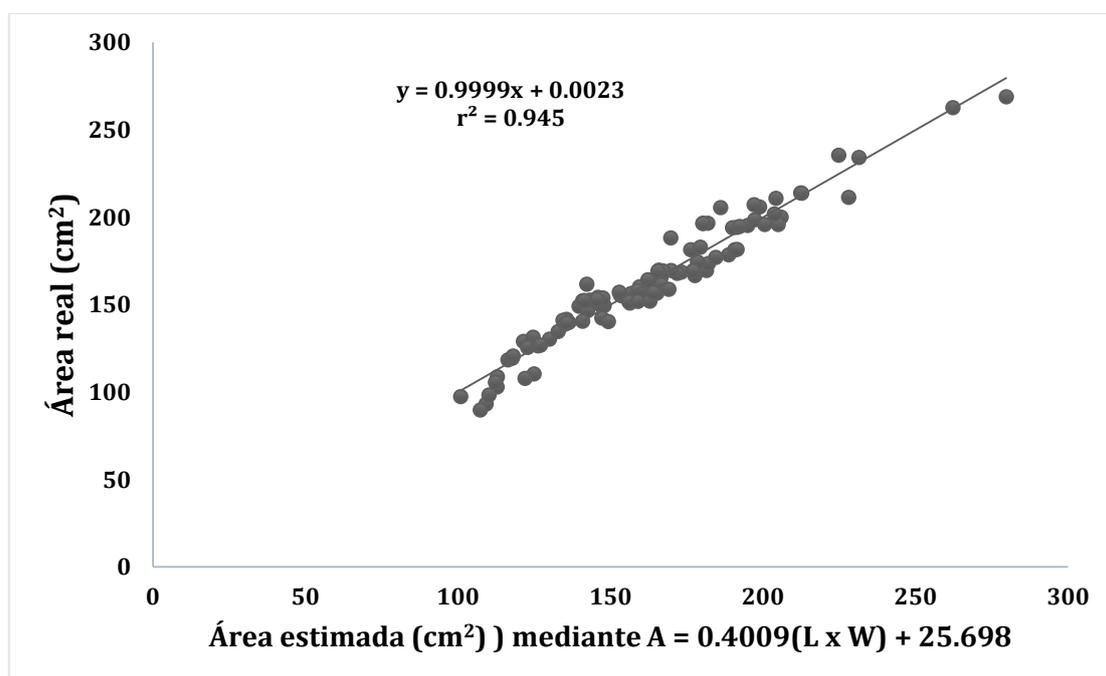


Fig. 51. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación entre área real y el área estimada mediante el producto del largo (L) por el ancho (W) de las hojas del morfotipo VI del norte peruano.

4.3.7. Correlaciones y regresiones para el morfotipo VII

A continuación se presentan las diversas correlaciones entre el área real y las variables (L, W, L², W², L x W, L/W) de las dimensiones lineales de las hojas del morfotipo VII. La mejor correlación se presenta entre el área real y el producto de largo x ancho, cuyo valor de $r = 0.97$ y el coeficiente de determinación $r^2 = 0.9381$, ambos indican que existe alta correlación entre las dos variables.

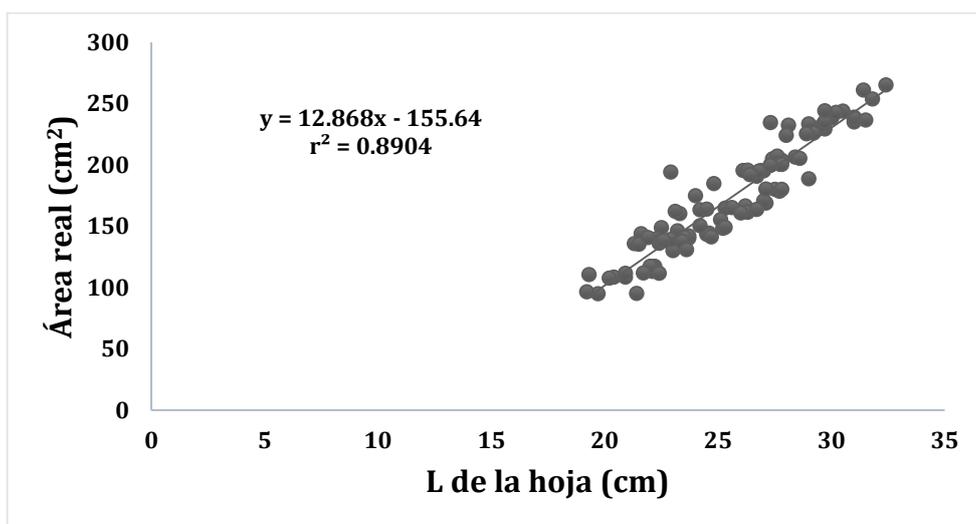


Fig. 52. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo de las hojas del morfotipo VII del norte peruano.

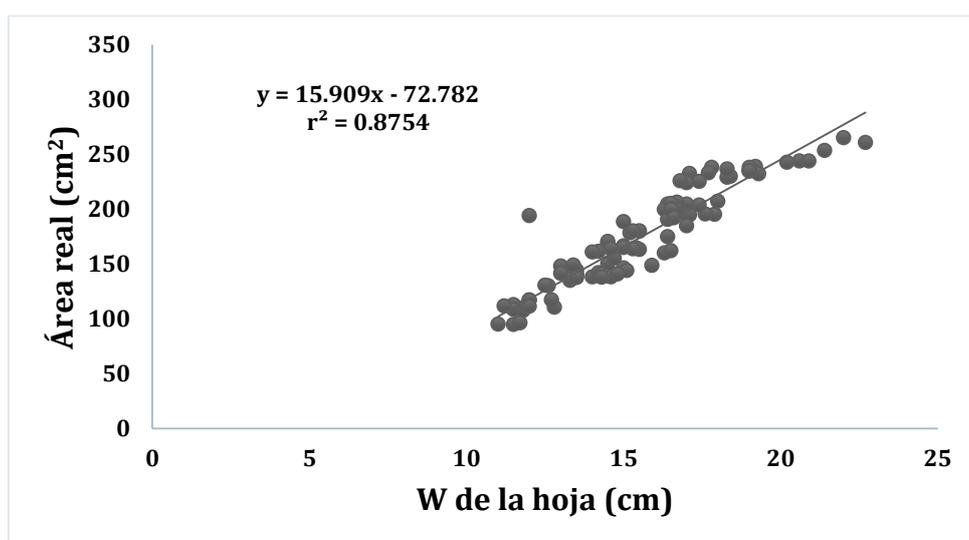


Fig. 53. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho de las hojas del morfotipo VII del norte peruano.

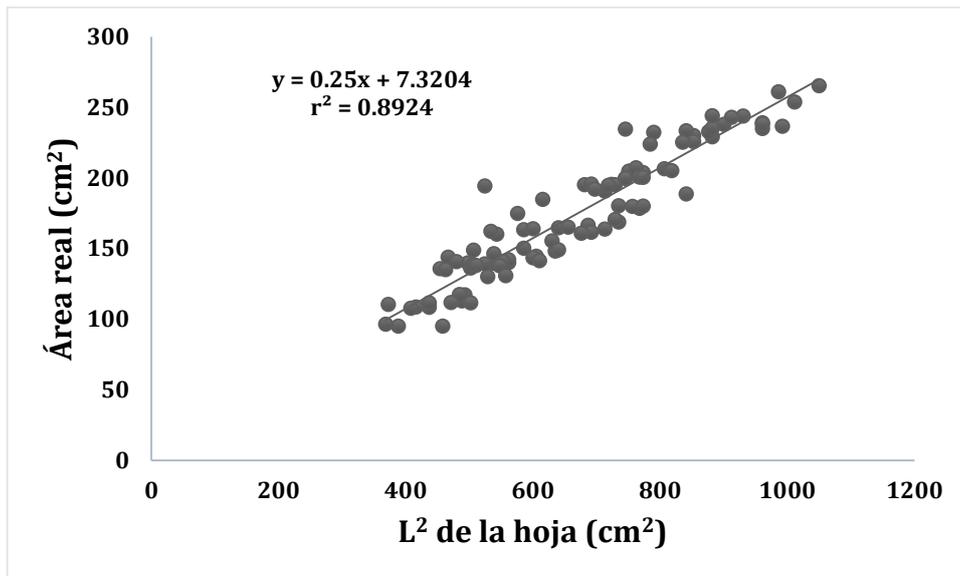


Fig. 54. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo² de las hojas del morfotipo VII del norte peruano.

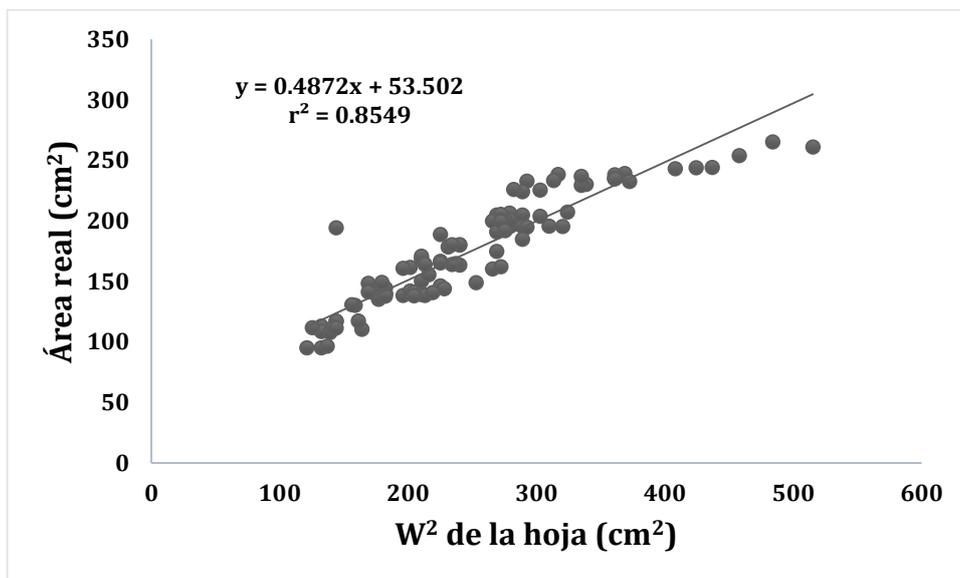


Fig. 55. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho² de las hojas del morfotipo VII del norte peruano.

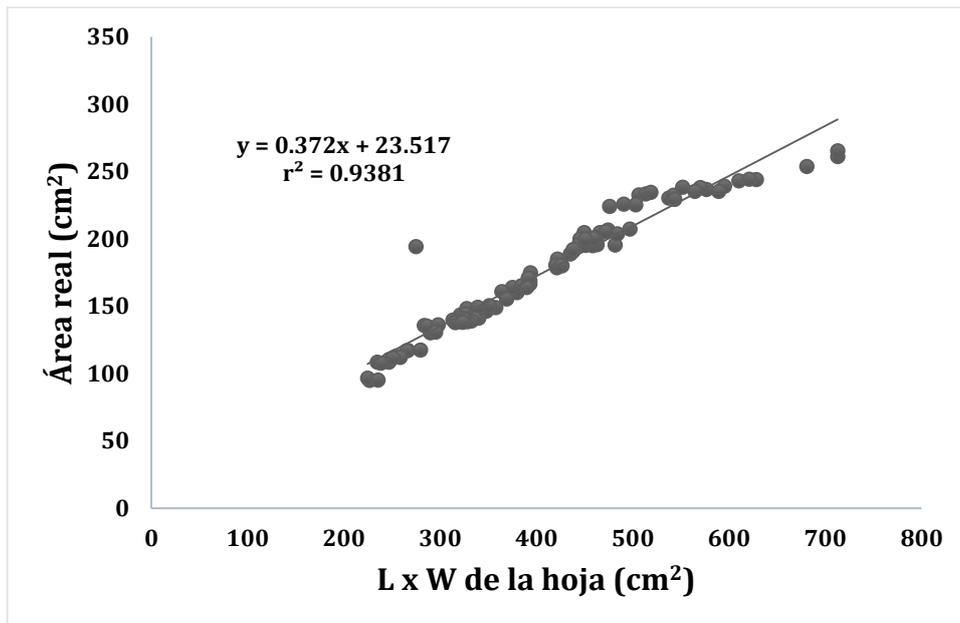


Fig. 56. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo x ancho de las hojas del morfotipo VII del norte peruano.

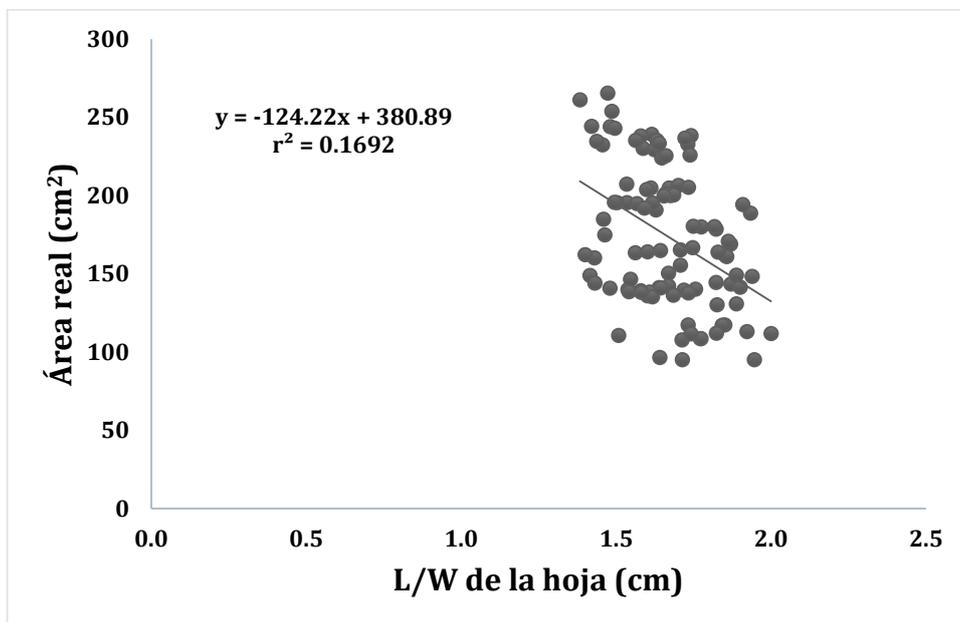


Fig. 57. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y la razón largo/ ancho de las hojas del morfotipo VII del norte peruano.

Tabla. 15. Ecuaciones de regresión con las diferentes variables, para estimar el área de las hojas yacón del morfotipo VII del norte peruano.

Variables	Ecuación	r	r ²	Área Real	Área Estimada			
					Prom.	%	D.S.	C.V.
L	A = 12.868(L) - 155.64	0.94	0.8904	173.71	173.72	100.72	8.99	8.93
W	A = 15.909(W) - 72.782	0.94	0.8754	173.71	173.71	100.93	8.97	8.88
L ²	A = 0.25(L ²) + 7.3204	0.94	0.8924	173.71	173.70	100.80	8.83	8.76
W ²	A = 0.4872(W ²) + 53.502	0.92	0.8549	173.71	173.72	101.22	9.74	9.62
L x W	A = 0.372(L x W) + 23.517	0.97	0.9381	173.71	173.70	100.57	5.92	5.89
L/W	A = -124.22(L/W) + 380.89	0.41	0.1692	173.71	173.72	105.84	26.35	24.89

En la (Fig. 58), se muestra la línea de regresión y el coeficiente de determinación ($r^2 = 0.9381$), entre el área real y el área estimada mediante el producto de largo (L) por el ancho (W). La tendencia de la línea de regresión y el valor de r^2 , indica que existe alta correlación entre ambas áreas y que se puede obtener el área real a través del área estimada.

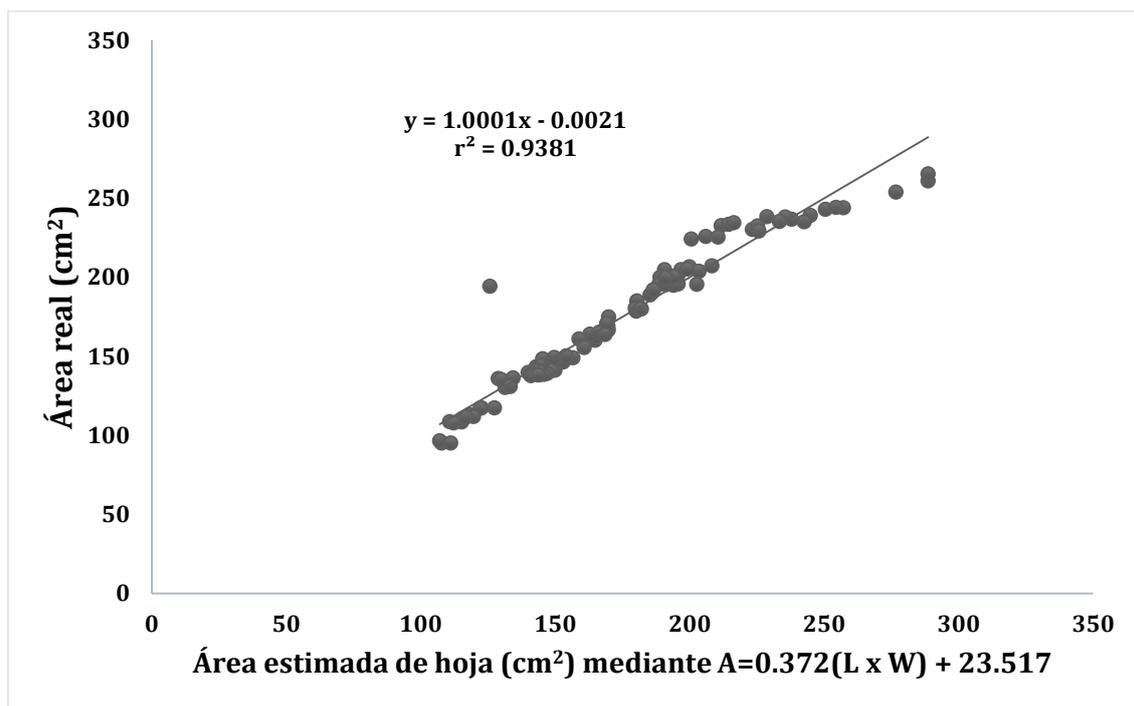


Fig. 58. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación entre área real y el área estimada mediante el producto del largo (L) por el ancho (W) de las hojas del morfotipo VII del norte peruano.

4.3.8. Correlaciones y regresiones para el morfotipo VIII

A continuación se presentan las diversas correlaciones entre el área real y las variables (L, W, L², W², L x W, L/W) de las dimensiones lineales de las hojas del morfotipo VIII. La mejor correlación se presenta entre el área real y el largo de la hoja, cuyo valor de $r=0.95$ y el coeficiente de determinación $r^2=0.9023$, ambos indican que existe alta correlación entre las dos variables.

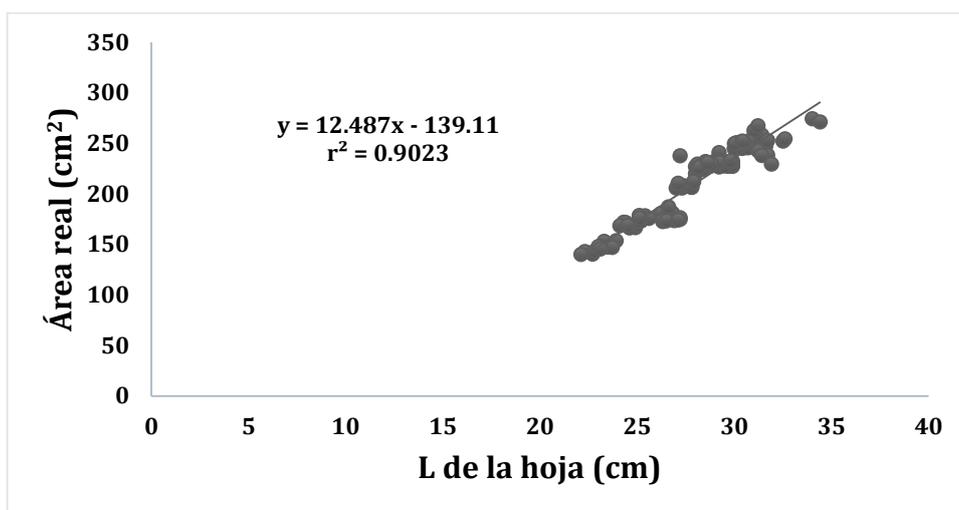


Fig.59. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo de las hojas del morfotipo VIII del norte peruano.

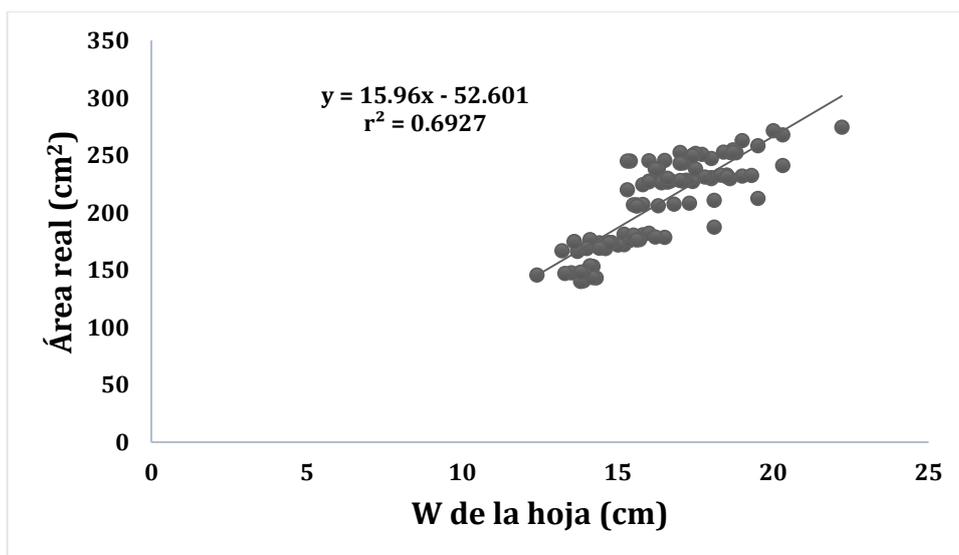


Fig. 60. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho de las hojas del morfotipo VIII del norte peruano.

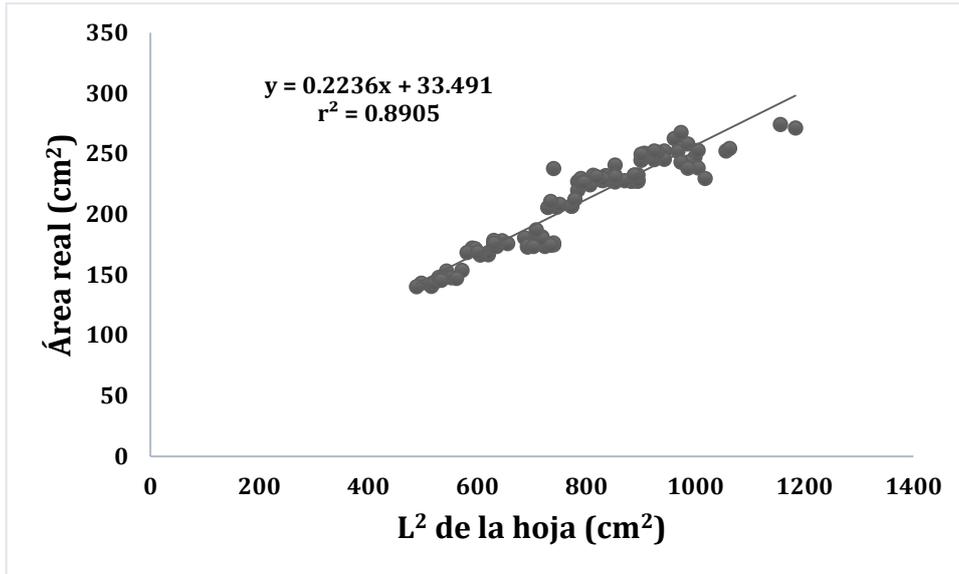


Fig. 61. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo² de las hojas del morfotipo VIII del norte peruano.

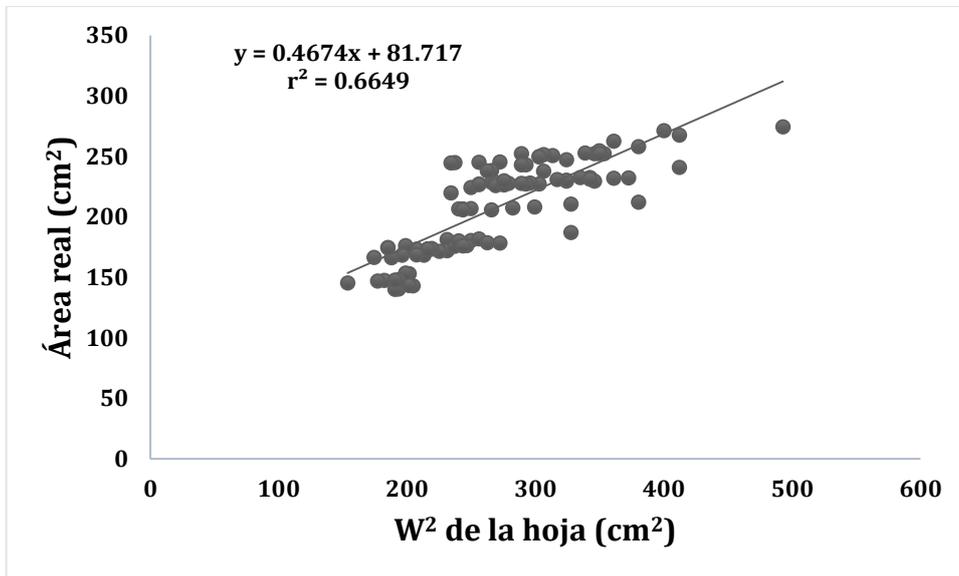


Fig. 62. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho² de las hojas del morfotipo VIII del norte peruano.

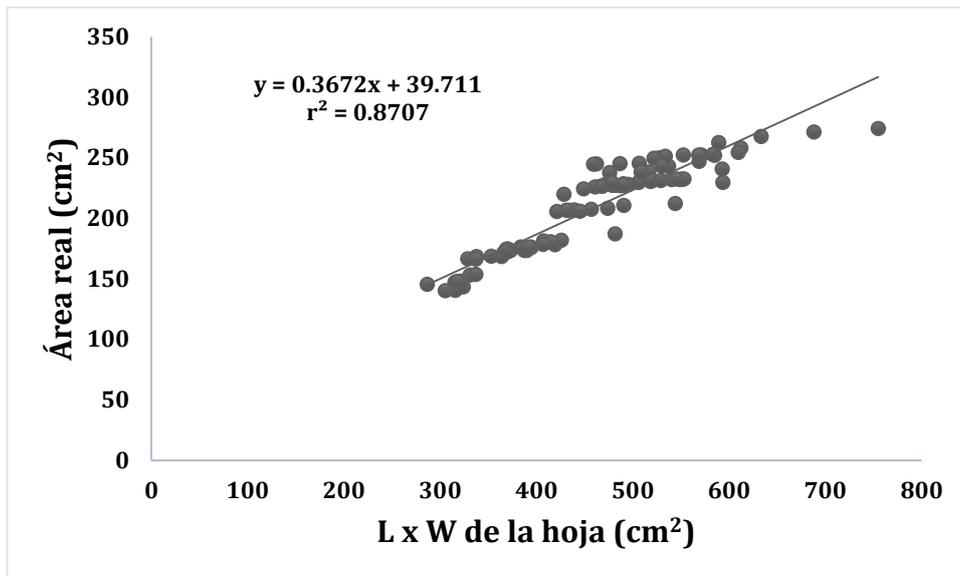


Fig. 63. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo x ancho de las hojas del morfotipo VIII del norte peruano.

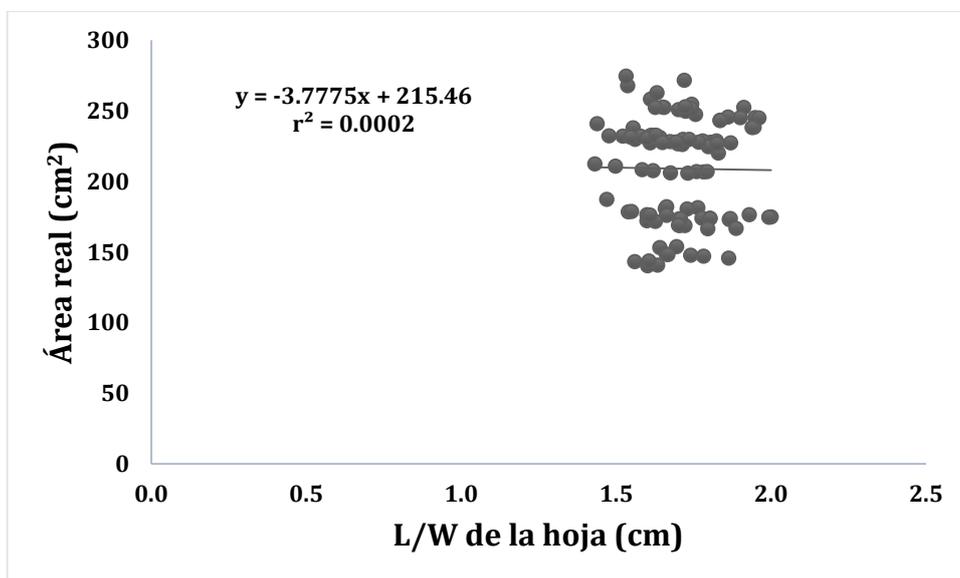


Fig. 64. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y la razón largo/ancho de las hojas del morfotipo VIII del norte peruano.

Tabla. 16. Ecuaciones de regresión con las diferentes variables, para estimar el área de las hojas yacón del morfotipo VIII del norte peruano.

Variables	Ecuación	r	r ²	Área Real	Área Estimada			
					Prom.	%	D.S.	C.V.
L	$A = 12.487(L) - 139.11$	0.95	0.9023	209.01	209.00	100.33	5.54	5.52
W	$A = 15.96(W) - 52.601$	0.83	0.6927	209.01	209.02	101.07	10.04	9.93
L ²	$A = 0.2236(L^2) + 33.491$	0.94	0.8905	209.01	209.01	100.39	5.76	5.73
W ²	$A = 0.4674(W^2) + 81.717$	0.82	0.6649	209.01	209.01	101.18	10.49	10.37
L x W	$A = 0.3672(L \times W) + 39.711$	0.93	0.8707	209.01	209.01	100.48	6.10	6.08
L/W	$A = -3.7775(L/W) + 215.46$	0.01	0.0002	209.01	209.01	103.43	19.95	19.29

En la (Fig. 65), se muestra la línea de regresión y el coeficiente de determinación ($r^2 = 0.9023$), entre el área real y el área estimada mediante el producto de largo (L) por el ancho (W). La tendencia de la línea de regresión y el valor de r^2 , indica que existe alta correlación entre ambas áreas y que se puede obtener el área real a través del área estimada.

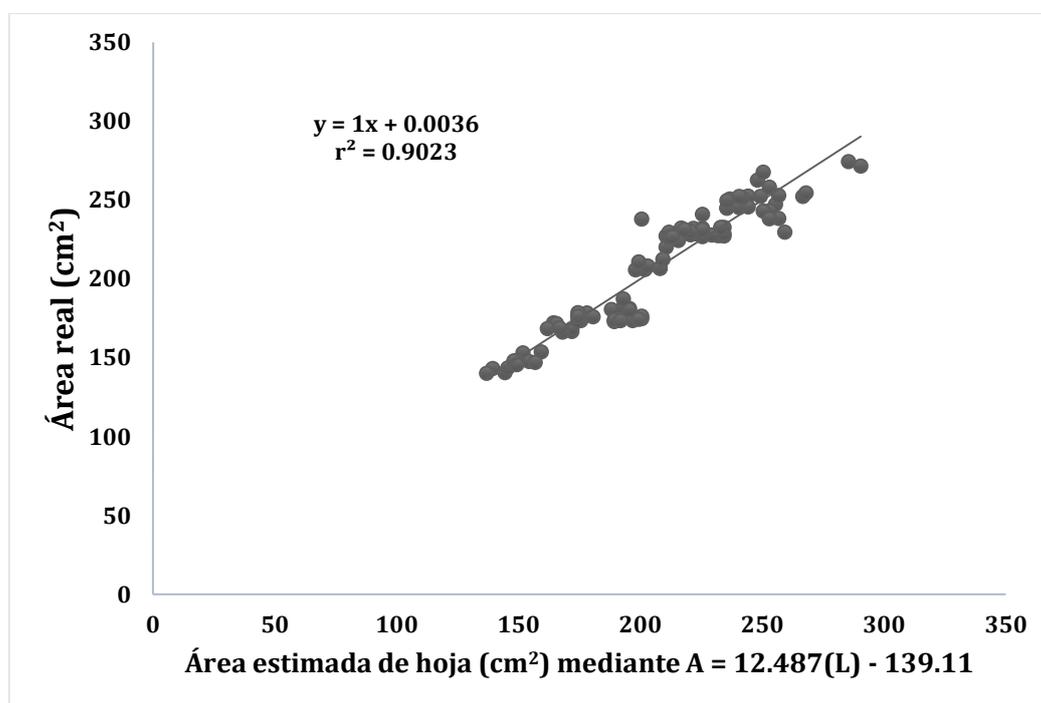


Fig. 65. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación entre área real y el largo (L) de las hojas del morfotipo VIII del norte peruano.

En resumen, sólo los morfotipos II y VIII difieren en la ecuación que estima mejor el área foliar. En el primer caso, interviene el L^2 ($A = 0.2701 L^2 + 1.4243$) y en el segundo el L ($A = 12.487L - 139.11$). Para el resto de morfotipos, las mejores ecuaciones se logran con el producto de $L \times W$. No es posible explicar esta diferencia, basados en las medidas lineales, en el área real o en la forma general o de la base de la lámina. Los valores máximos y mínimos de las medidas lineales y el área real, no difieren mucho, respecto de los otros morfotipos. La forma de la hoja en el morfotipo II es triangular, y la base es truncada; en cambio la forma de la hoja en el morfotipo VIII es triangular y la base es sub hastada, sin embargo, otros morfotipos también presentan estas características.

Por otro lado, se observa que las ecuaciones en donde intervienen las dimensiones lineales (L y W) o su producto ($L \times W$), en todos los morfotipos, no presentan diferencias significativas, sobre todo en los valores de r y r^2 . Así por ejemplo, en el morfotipo II, si bien es cierto que la mejor ecuación es aquella en la que interviene el L^2 , los valores de r y r^2 , con relación a las ecuaciones en donde intervienen L y $L \times W$, sólo difieren en centésimas. El mismo comportamiento se observa si analizamos la mejor ecuación para el morfotipo VIII. Los valores de r y r^2 , de la mejor ecuación, en la cual interviene el L , difieren en centésimas, con las ecuaciones en donde interviene L^2 y $L \times W$. Por este motivo, es pertinente pensar en un análisis conjunto de todos los morfotipos como si fueran uno solo, mediante la aplicación del L y W de las láminas y de este modo obtener una ecuación general aplicable a todos los morfotipos.

4.3.9. Correlaciones y regresiones para los ocho morfotipos de yacón del norte peruano, en conjunto

A continuación se presentan las diversas correlaciones entre el área real y las variables (L , W , L^2 , W^2 , $L \times W$, L/W) de las dimensiones lineales de las hojas de los ocho morfotipos de yacón del norte peruano, como si fueran un solo morfotipo (901 hojas). La mejor correlación se presenta entre el área real y el producto de largo x ancho, cuyo valor de $r = 0.94$ y el coeficiente de determinación $r^2 = 0.8915$, ambos indican que existe alta correlación entre las dos variables.

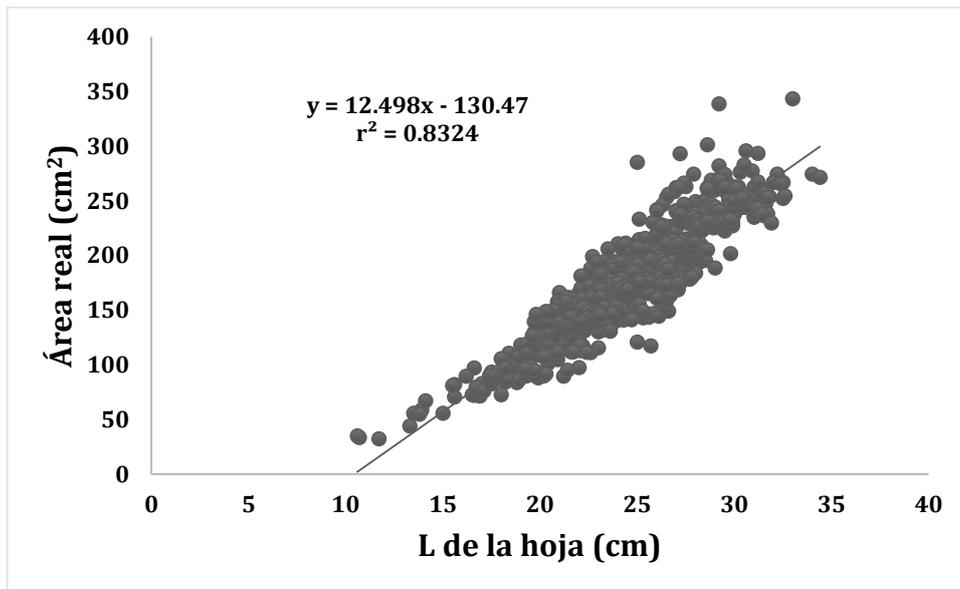


Fig. 66. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo de las hojas, de ocho morfotipos de yacón del norte peruano.

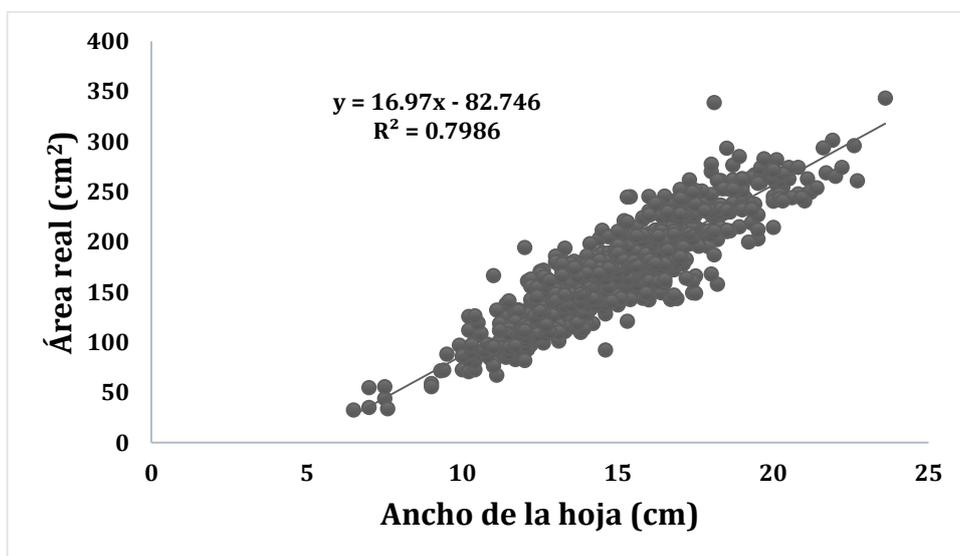


Fig. 67. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho de las hojas, de ocho morfotipos de yacón del norte peruano.

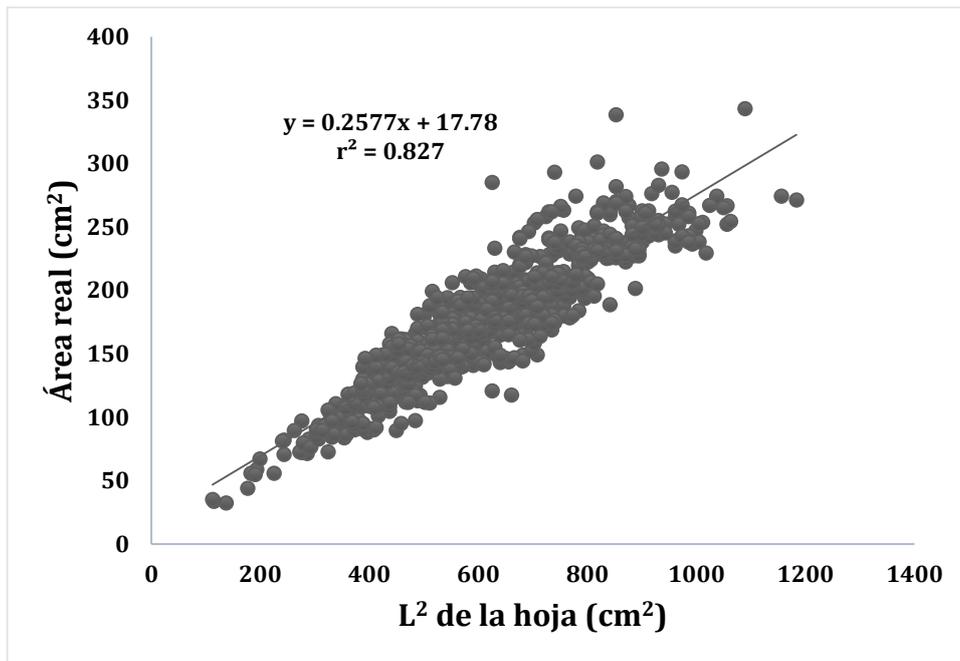


Fig. 68. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo² de las hojas, de ocho morfotipos de yacón del norte peruano.

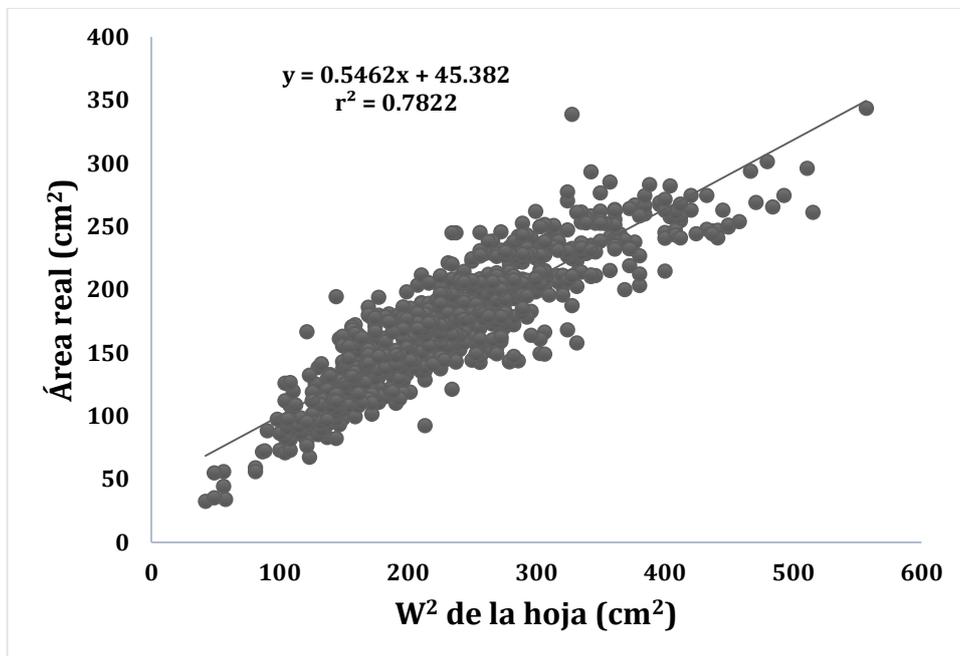


Fig. 69. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y ancho² de las hojas, de ocho morfotipos de yacón del norte peruano.

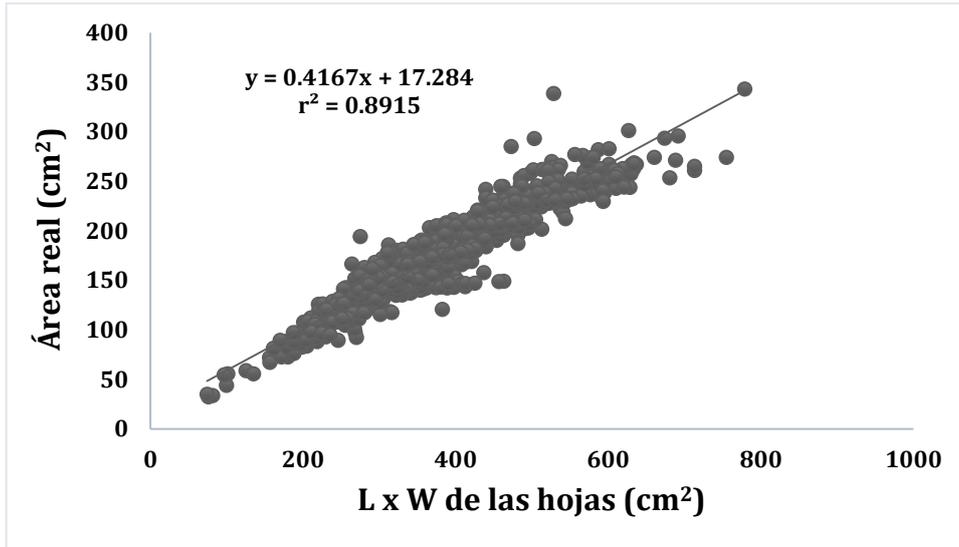


Fig. 70. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y largo (L) por ancho (W) de las hojas, de ocho morfotipos de yacón del norte peruano.

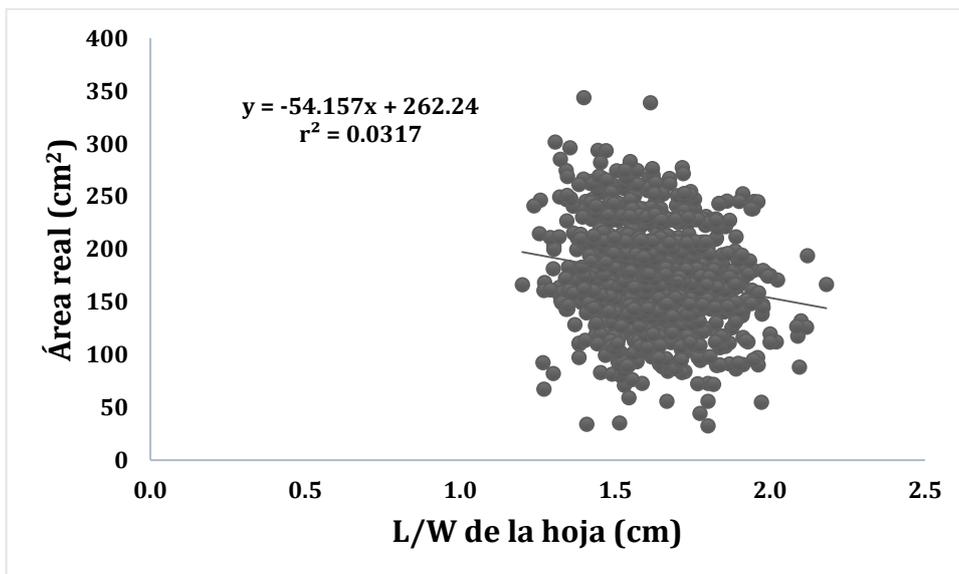


Fig. 71. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación área real y la razón de largo/ancho de las hojas, de ocho morfotipos de yacón del norte peruano.

Tabla. 17. Ecuaciones de regresión con las medidas lineales de las hojas, para estimar el área de ocho morfotipos de yacón, del norte peruano, en conjunto.

Variabes	Ecuación	r	r ²	Área Real	Prom.	Área Estimada %	D.S.	C.V.
L	A = 12.498(L) - 130.47	0.91	0.8324	174.31	174.31	101.07	12.86	12.73
W	A = 16.97(W) - 82.746	0.89	0.7986	174.31	174.31	101.78	13.71	13.48
L ²	A = 0.2577(L ²) + 17.78	0.91	0.8270	174.31	174.29	101.67	12.35	12.15
W ²	A = 0.5462(W ²) + 45.382	0.88	0.7822	174.31	174.31	102.48	15.99	15.60
L x W	A = 0.4167(L x W) + 17.284	0.94	0.8915	174.31	174.31	101.21	10.02	9.90
L/W	A = -54.157(L/W) + 262.24	0.18	0.0317	174.31	174.31	110.04	43.51	39.54

En la (Fig. 72), se muestra la línea de regresión y el coeficiente de determinación ($r^2 = 0.8915$), entre el área real y el área estimada mediante el producto de largo (L) por el ancho (W). La tendencia de la línea de regresión y el valor de r^2 , indica que existe alta correlación entre ambas áreas y que se puede obtener el área real a través del área estimada.

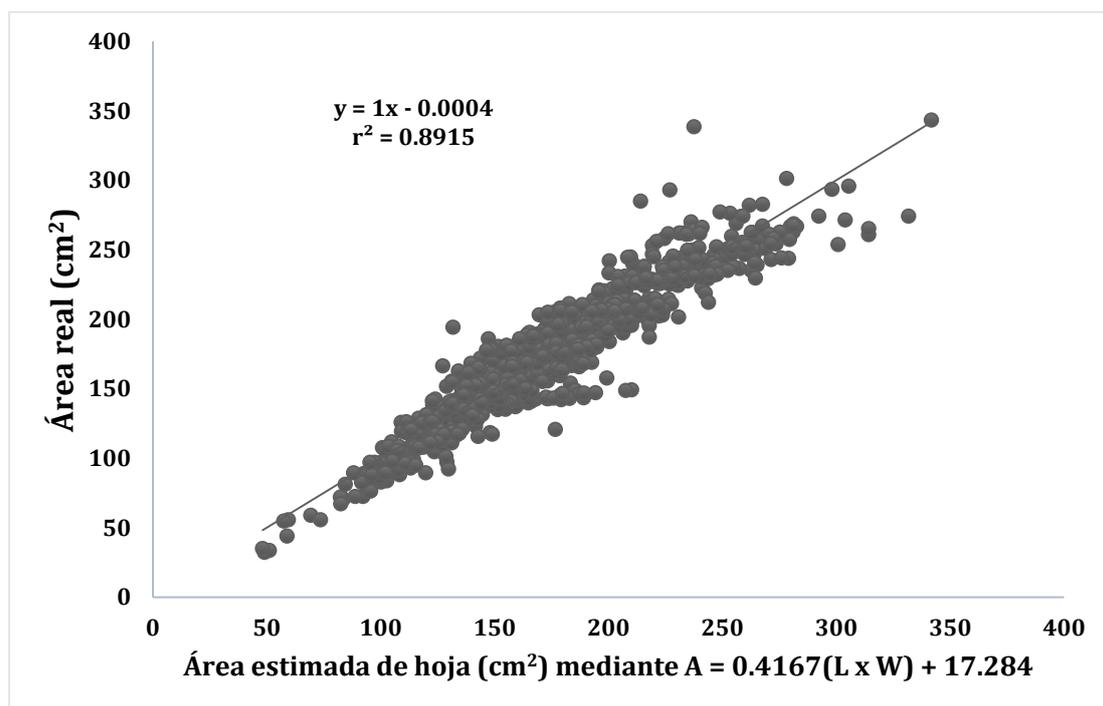


Fig. 72. Diagrama de dispersión y línea de regresión para la relación entre área real y el área estimada mediante el producto del largo (L) por el ancho (W) de ocho morfotipos de yacón del norte peruano.

La ecuación general que estima el área foliar del yacón de los ocho morfotipos (como si fueran uno solo), es aquella donde interviene el producto de largo x ancho $A=0.4167 (L \times W) + 17.284$, con un alto coeficiente de correlación ($r= 0.94$).

4.4. Área del peciolo de las hojas de yacón y su incidencia en el área fotosintética total

El área del peciolo varió de 21 cm² (morfotipo VI) a 56.2 cm² (morfotipo V). A la vez, está área significa entre 9.7% (morfotipo VI) hasta 17.7% (morfotipo IV), con respecto al área total de la hoja (sumatoria de área de lámina + área de peciolo), cuyos datos se muestran en la Tabla 18. Por lo tanto, se recomienda que para estudios en donde se necesita mayor precisión, respecto del área fotosintética de cada morfotipo, se debe adicionar estos porcentajes al área medida o estimada de la lámina.

Tabla. 18. Área del peciolo con respecto del área total de la hoja de yacón.

Área que representa el peciolo con respecto al área total de la hoja			
Morfotipo	Nombre	Área del peciolo	
		Cm²	%
I	Purpura	17.50	11.33
II	Hualqui	24.70	14.05
III	Otuzco	44.80	13.08
IV	San Ignacio	52.60	17.71
V	Cachachi	56.20	17.04
VI	Taquia	21.00	9.65
VII	Moteado	35.30	15.06
VIII	Ancash	47.00	16.82
	\bar{X}	37.39	14.34

Muestra: 10 hojas por morfotipo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Las ecuaciones derivadas del análisis de correlación y regresión que mejor estiman el área foliar en ocho morfotipos de yacón del norte peruano, son las que se presentan a continuación. De modo que para estimar el área foliar de las plantas de cada morfotipo, es necesario tomar en campo, las medidas de L y W de las láminas, aplicar la ecuación correspondiente y realizar la sumatoria.

MORFOTIPO	ECUACIÓN
I	$A = 0.448(L*W) + 2.1826$
II	$A = 0.2701(L^2) + 1.4243$
III	$A = 0.4033(L*W) + 22.197$
IV	$A = 0.4315(L*W) + 29.043$
V	$A = 0.4891(L*W) + 4.1873$
VI	$A = 0.4009(L*W) + 25.698$
VII	$A = 0.372(L*W) + 23.517$
VIII	$A = 12.487(L) - 139.11$

En todos los morfotipos, las mejores ecuaciones se obtuvieron con el producto del largo por el ancho (L x W), excepto en los morfotipos II ($A= 0.2701 L^2 +1.4243$) y morfotipo VIII ($A = 12.487L - 139.11$), donde la ecuación que mejor estima el área es aquella en donde interviene el L^2 y L, respectivamente. Sin embargo, la diferencia de los r^2 , en ambos casos, con respecto los r^2 en donde interviene el producto de L x W, es de centésimas, por lo que es pertinente establecer una ecuación general para todos los morfotipos, en conjunto, considerando el producto de la medidas lineales.

La ecuación general que permite estimar el área foliar de los ocho morfotipos en estudio (como si fueran uno solo), es $A= 0.4167 L x W + 17.284$, con una aproximación de 101.21 ± 10.02 , respecto al área real (100%), y un coeficiente de determinación $r^2 =0.8915$.

Para estudios en los cuales se necesita tomar en cuenta toda el área fotosintética, se recomienda adicionar al área estimada o medida de las láminas, el porcentaje correspondiente al área del peciolo que varía de 9.7% a 17.7%, según el morfotipo y en promedio es de 14.34 %, respecto del área total de la hoja.

5.2. Recomendaciones

Aplicar las ecuaciones aquí determinadas para estimar el área foliar de los morfotipos de yacón y evaluar su pertinencia.

Probar estas ecuaciones en investigaciones específicas, y comprobar sus resultados con los de otros métodos para tener confianza en su aplicación.

Aplicar la ecuación general en investigaciones en donde no se requiere alta precisión en la estimación del área foliar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez, G; Sánchez, S; Uchuari, Y. 2012. Manual técnico para el cultivo de jícama (*Smallanthus sonchifolius*) en Loja. Universidad Nacional de Loja. Área agropecuaria y de recursos naturales renovables.

Ascencio, J. 1985. Determinación del área foliar en plantas de carota (*Phaseolus vulgaris* L.), yuca (*Mahihot esculenta* Crantz) y batata (*Ipomoea batatas* L.) utilizando dimensiones lineales y peso seco de las hojas. Turrialba Vol. 35(1): 55-64.

Astegiano, E; Favaro, J; Bouzo, C. 2001. Estimación del área foliar en distintos cultivares de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) utilizando medidas foliares lineales. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe. Argentina. Vol. 16(2): 249-256.

Awal, M; Ishak, W; Endan, J; Haniff, M. 2004. Determination of specific leaf area and leafarea-leaf mass relationship in oil palm plantation. Asian Journal of Plant Sciences. 3: 264-268.

Azor, J. 2001. Regresión y correlación simple. Cátedra Estadística II. Universidad de Mendoza. Argentina. 33 p. Disponible en: <http://www.iuma.ulpgc.es/~nunez/mastertecnologiastelecomunicacion/Tema2InferenciaEstadistica/estadistica-y-R/5-ajuste.pdf>

Brito, E; Romero, E; Casen, S; Alonso, L; Digonzelli, P. 2007. Métodos no destructivos de estimación de área foliar por tallo en la variedad LCP 85-384 de caña de azúcar. Rev. Ind. Y Agric. de Tucumán. Tomo 84(2): 29-32.

Bula, R. 2014. Análisis de Regresión. 33 p. disponible en: <http://es.slideshare.net/regline/regresion-35089727>

Calderón, A; Calderón, M; Fundora, L; Jerez, E. 2011. Estimación de área foliar en posturas de mamey (*Pouteria sapota*) en fase de vivero, a partir de las medidas lineales de las hojas. Cultivos tropicales. Vol. 32(2): 30-34.

Cardona, C; Araméndiz, H; Barrera, C. (s.f.). Modelo para estimación de área foliar en berenjena (*Solanum melongena* L.) basado en muestreo no destructivo (en línea). Universidad de Córdoba. Departamento de Ingeniería Agronómica y Desarrollo Rural. Carrera N° 6: 76-103. Disponible en: <http://www.unicordoba.edu.co/revistas/rta/2009-2/Area%20foliar%20de%20Stevia.pdf>

Casierra, F; Peña, G; Peña, J. 2007. Estimación indirecta del área foliar en *Fragaria vesca* L., *Physalis peruviana* L., *Acca sellowiana* (Berg.) Burret, *Robus glaucus* L., *Passiflora mollissima* (Kunth) L. H. Bailey Y *Ficus carica* L. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación científica 11(1): 95-102.

Del pozo, P; Herrera, R; Chavez, D; Fernandez, L. 1998. Estimación del área foliar del pasto estrella (*Cynodon lemfuensis*) a partir de mediciones lineales de sus hojas. Cultivos Tropicales. 19(2): 23-26.

Fargo, W; Bonjur, E; Wagner, T. 1986. An estimation equation for squash leaf area using leaf measurements. Plant Sci. 66: 677-682.

Favaro, F; Vinicius, M. 2005. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. Sci.Agric. Vol. 62(4): 305-309.

Galindo, R; Clavijo, J. 2007. Modelos alométricos para estimar el área de los folíolos de arveja (*Pisum sativum* L.) Revista Corpoica – Ciencia y tecnología Agropecuaria. Bogotá Colombia. N° 8(1): 37-43.

González, J. 2009. Análisis de Regresión y Correlación. Universidad Católica de Rionegro. 38 p. Disponible en:
<http://es.slideshare.net/hepatopatias/analisis-de-regresion-y-correlacion>

Infante, G; Zárate, G. 1984. Métodos estadísticos. Edit. Trillas S.A. México. Pp: 463-467, 513-515.

Jain, T; Misra, D. 1996. Leaf área estimation by linear measurements in *Ricinus communis*. Nature Vol. 212: 741-742.

Llana, V. 1999. Medición del área foliar mediante escáner y software idrisi (en línea). Revista Fave 13(2): 27-33. Disponible en:
http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8180/publicaciones/bitstream/11185/259/1/fave-v13_n2_p27-33.pdf

Martin, G; Soto, F; Rivera, R; Rentería, M. 2006. Estimación de la superficie foliar de la *Canavalia ensiformis* a partir de las medidas lineales de sus hojas. Cultivos Tropicales. Vol. 27(4): 77-80.

Muñoz, A. 2009. Monografía del yacón (*Smallanthus sonchifolius*) Perúbiodiverso. Lima, Perú. 60 p.

Olfati, J; Peyvast, G; Shabani, H; Nosratie, Z. 2010. An estimation of individual leaf área in cabbage and broccoli using non-destructive methods. Agr. Sci. Tech. Vol. 12: 627-632.

Palacios, C; Rodríguez, A; Chang, M. 2007. Efecto de la nutrición mineral en el crecimiento y rendimiento de yacón cultivado hidropónicamente. Universidad Nacional Agraria La Molina. Red Hidroponía, Boletín N° 37.

Pire, R; Valenzuela, I. 1995. Estimación del área foliar en *Vitis vinífera* L. "French Colombard" a partir de mediciones lineales de las hojas. Agronomía Trop. 45(1): 143-154.

Polanco, M. 2011. Caracterización morfológica y molecular de materiales de yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poep. & Endl) H. Robinsón colectados en la eco región Eje Cafetero de Colombia (en línea). Universidad Nacional de Colombia. Coordinación General de Posgrados. Disponible en:

<http://www.bdigital.unal.edu.co/3715/1/7206010.2011.pdf>

Ruiz, F; Murillo, B; García, J; Diéguez, E; Palacios, A; Beltrán, A; Fenech, L; Zamora, S; Marrero, P; Nieto, A; Cruz, O. 2007. Mediciones lineales en la hoja para la estimación no destructiva de área foliar en albahaca (*Ocimum basilicum* L.). Revista Chapingo Serie Horticultura 13(1): 29-34.

Schneiter, A. 1978. Non destructive leaf área estimation in sunflower. Agronomy journal. Vol. 70: 141-142.

Seminario, J; Urteaga, M; Medina, S. 2001. Estimación del área foliar en seis morfotipos de achira comestible (*Canna edulis* Ker-Gawler), por método no destructivo. Arnaldoa 8(2): 67-80.

_____ ; Valderrama, M & Manrique, I. 2003. El yacón: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), Lima, Perú, 60 p.

_____ ; Valderrama, M; Romero, J. 2004. Variabilidad morfológica y distribución geográfica del yacón, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H.Robinson, en el norte peruano. Arnaldoa 11(1): 139-160.

_____. 2008a. Manejo técnico productivo del cultivo de yacón. Módulo I: El yacón en el contexto de la biodiversidad Andina. Perúbiodiverso.

_____. 2008b. Manejo técnico productivo del cultivo de yacón. Módulo II: la propagación del yacón. Perúbiodiverso

_____. 2008c. Manejo técnico productivo del cultivo de yacón. Módulo III: siembra y labores culturales del yacón. Perúbiodiverso

Solorzano, P. 1976. Determinación de área foliar en sorgo granero (*sorghum bicolor* L. MOENCH) a diferentes edades (en línea) Valencia, Venezuela. PROTINAL, C. A. Asesoría de Investigaciones Agronómicas, Valencia, Venezuela. *Agronomía Tropical*. 26(1): 39–45. Disponible en: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at2601/arti/solorzano_p.htm

Universidad de Salamanca. 1990. Regresión y Correlación. Parte básica. Sexta Unidad Didáctica. P: 352-367. Disponible en: <http://biplot.usal.es/problemas/libro/6%20%20Regresion.pdf>

Vila, A; Sedano, M; López, A; Juan, A. 2003. Análisis de regresión y correlación lineal. Proyecto e-Math. Financiado por la Secretaria de Estado de Educación y Universidades (MECD). 21 p. Disponible en: <http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/RegresionLineal.pdf>

Warnock, R; Valenzuela, J; Trujillo, A; Madriz, P; Gutiérrez, M. 2006. Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de carota. *Agronomía Trop*. 56(1): 21-42.

ANEXO

Tabla 1. Cálculo del porcentaje que representa el peciolo con respecto a toda la hoja del yacón.

Morfortipo	N° Hojas	Área de la lámina + peciolo cm ²				Área del Peciolo				% del Peciolo	\bar{X} (%)
		A1	A2	A3	\bar{X}	A1	A2	A3	\bar{X}		
I PÚRPURA	1	155.9	155.6	155.8	155.8	18.5	17.7	18.2	18.1	11.64	11.33
	2	128.0	127.7	127.9	127.9	15.2	14.9	15.1	15.1	11.78	
	3	203.3	202.9	203.0	203.1	22.2	22.4	22.3	22.3	10.98	
	4	148.9	149.2	149.8	149.3	18.8	18.4	19.5	18.9	12.66	
	5	151.1	151.5	150.6	151.1	16.5	16.7	16.2	16.5	10.90	
	6	113.3	113.0	113.7	113.3	12.3	12.0	11.9	12.1	10.65	
	7	180.4	180.1	179.9	180.1	26.0	25.6	25.8	25.8	14.32	
	8	107.1	106.6	106.9	106.9	8.1	8.2	8.3	8.2	7.67	
	9	142.0	142.3	142.1	142.1	16.3	15.9	16.1	16.1	11.33	
	10	196.5	196.3	197.3	196.7	22.4	22.3	22.2	22.3	11.34	
II HUALQUI	1	180.3	180.5	180.2	180.3	23.5	23.9	23.7	23.7	13.14	14.05
	2	273.8	273.2	273.5	273.5	45.3	44.9	44.8	45.0	16.45	
	3	153.8	153.6	153.9	153.8	22.7	22.5	21.9	22.4	14.55	
	4	141.1	141.3	141.6	141.3	26.6	27.2	26.9	26.9	19.03	
	5	176.2	176.3	176.5	176.3	24.6	24.8	24.4	24.6	13.95	
	6	173.4	174.1	173.8	173.8	23.1	22.5	22.9	22.8	13.14	
	7	178.9	179.2	179.6	179.2	25.9	25.8	26.2	26.0	14.49	
	8	93.2	93.8	93.4	93.5	8.5	8.8	8.6	8.6	9.24	
	9	244.9	244.7	245.1	244.9	28.5	28.3	28.4	28.4	11.60	
	10	125.2	124.9	125.1	125.1	18.4	19.0	18.5	18.6	14.90	
III OTUZCO	1	130.6	130.0	130.2	130.3	9.5	8.9	9.1	9.2	7.04	13.08
	2	148.5	148.2	147.9	148.2	14.6	14.2	14.4	14.4	9.72	
	3	254.2	253.9	254.5	254.2	32.9	32.8	33.1	32.9	12.96	
	4	342.9	343.2	343.7	343.3	49.2	49.6	48.9	49.2	14.34	
	5	387.5	387.6	387.2	387.4	55.2	54.6	54.9	54.9	14.17	
	6	438.3	438.6	438.1	438.3	65.4	65.7	66.0	65.7	14.99	
	7	338.1	337.8	337.6	337.8	49.9	48.8	49.2	49.3	14.59	
	8	313.7	313.8	313.4	313.6	40.6	39.6	40.3	40.2	12.81	
	9	373.8	372.7	372.5	373.0	52.4	51.6	51.9	52.0	13.93	
	10	494.0	493.2	493.8	493.7	80.5	79.9	80.3	80.2	16.25	

IV SAN IGNACIO	1	178.6	179.4	178.9	179.0	29.8	30.0	30.2	30.0	16.76	17.71
	2	223.4	223.7	222.9	223.3	35.9	35.0	35.4	35.4	15.87	
	3	232.0	232.5	232.3	232.3	40.5	40.8	41.2	40.8	17.58	
	4	387.8	387.2	388.3	387.8	73.8	72.9	73.3	73.3	18.91	
	5	302.6	302.9	302.2	302.6	55.1	55.3	55.5	55.3	18.28	
	6	333.1	333.7	333.4	333.4	52.6	53.1	53.4	53.0	15.91	
	7	211.0	210.2	210.6	210.6	36.8	36.4	36.6	36.6	17.38	
	8	340.9	340.8	340.2	340.6	60.1	59.6	59.8	59.8	17.57	
	9	360.6	359.5	359.8	360.0	74.2	75.6	74.9	74.9	20.81	
	10	369.0	368.5	369.8	369.1	67.3	65.8	66.5	66.5	18.03	
V CACHACHI	1	221.0	221.1	220.9	221.0	38.7	38.2	38.5	38.5	17.41	17.04
	2	260.3	260.5	260.8	260.5	47.6	47.2	47.4	47.4	18.19	
	3	189.8	189.1	189.5	189.5	29.3	29.6	28.9	29.3	15.45	
	4	360.1	359.4	359.8	359.8	64.8	65.3	65.2	65.1	18.10	
	5	473.1	473.2	472.9	473.1	84.0	83.8	83.6	83.8	17.71	
	6	409.9	409.5	409.3	409.6	65.2	65.1	65.3	65.2	15.92	
	7	358.1	358.5	358.3	358.3	63.7	64.4	63.9	64.0	17.86	
	8	336.4	337.2	336.9	336.8	54.6	54.0	54.2	54.3	16.11	
	9	367.7	368.5	368.2	368.1	64.0	63.9	64.2	64.0	17.39	
	10	311.5	311.2	311.1	311.3	50.2	50.6	50.8	50.5	16.23	
VI TAQUIA	1	303.1	302.2	301.5	302.3	27.6	26.9	27.3	27.3	9.02	9.65
	2	123.7	122.4	123.2	123.1	9.8	10.6	10.9	10.4	8.48	
	3	191.8	189.3	190.4	190.5	20.6	20.3	20.5	20.5	10.74	
	4	272.5	270.6	271.8	271.6	27.8	27.7	27.9	27.8	10.23	
	5	229.3	229.7	228.9	229.3	19.3	19.0	19.5	19.3	8.40	
	6	200.9	199.2	199.8	200.0	20.2	20.6	20.4	20.4	10.20	
	7	111.2	112.8	111.4	111.8	8.7	9.3	9.1	9.0	8.08	
	8	289.5	290.4	288.7	289.5	35.8	37.4	36.7	36.6	12.65	
	9	245.4	245.1	246.6	245.7	24.4	23.9	23.4	23.9	9.73	
	10	166.5	167.0	168.1	167.2	15.4	14.4	15.2	15.0	8.97	

VII MOTEADO	1	276.2	276.1	275.9	276.1	42.6	42.9	42.3	42.6	15.43	15.06
	2	270.9	271.5	271.3	271.2	46.9	46.7	46.4	46.7	17.21	
	3	245.7	245.2	245.5	245.5	32.4	32.1	32.0	32.2	13.10	
	4	327.9	327.6	328.2	327.9	33.0	33.4	33.2	33.2	10.13	
	5	258.7	259.2	259.5	259.1	40.5	39.6	40.3	40.1	15.49	
	6	185.6	185.9	186.1	185.9	26.4	26.9	26.7	26.7	14.35	
	7	122.1	121.9	122.3	122.1	19.0	18.9	19.2	19.0	15.59	
	8	156.1	156.3	156.4	156.3	26.2	26.4	26.6	26.4	16.89	
	9	278.4	278.0	278.2	278.2	46.3	45.8	46.1	46.1	16.56	
	10	250.9	251.6	251.2	251.2	40.2	39.2	40.1	39.8	15.86	
VIII ANCASH	1	265.5	264.2	264.9	264.9	39.7	38.9	39.3	39.3	14.84	16.82
	2	272.3	272.4	272.0	272.2	40.0	40.2	40.1	40.1	14.73	
	3	180.4	180.6	180.8	180.6	29.0	28.3	28.7	28.7	15.87	
	4	327.1	327.4	326.9	327.1	60.2	60.6	60.9	60.6	18.51	
	5	253.4	252.9	253.2	253.2	39.3	40.0	39.7	39.7	15.67	
	6	308.4	308.0	307.8	308.1	53.6	53.1	53.4	53.4	17.32	
	7	258.7	258.2	258.5	258.5	45.4	45.0	45.2	45.2	17.49	
	8	371.4	370.8	371.2	371.1	66.0	65.8	66.2	66.0	17.78	
	9	221.7	220.9	221.4	221.3	39.4	39.5	39.7	39.5	17.86	
	10	315.0	316.3	315.6	315.6	57.3	57.5	57.1	57.3	18.15	