

## Artículo Original

**Área foliar de *Caraipa utilis* Vásquez en un varillal de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Loreto, Perú**[Leaf area of *Caraipa utilis* Vásquez at National Reserve Allpahuayo Mishana, Loreto, Perú]Alan Christian Chumbe Ycomedes<sup>1\*</sup>, Ricardo Zárate Gómez<sup>2\*</sup>, Luisin Ruiz Diaz<sup>1</sup>, Linder Felipe Mozombite Pinto<sup>1</sup>, Hilda Paulette Dávila Doza<sup>1</sup><sup>1</sup>Servicios de Biodiversidad. Jr. Independencia 405. Punchana, Maynas, Loreto, Perú.<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Programa de Investigación en Cambio Climático, Desarrollo Territorial y Ambiente (PROTERRA); Av. Quiñones km 2.5, San Juan Bautista, Maynas, Loreto, Perú.\*E-mail de contacto: [alchumbe@gmail.com](mailto:alchumbe@gmail.com); [rzarate@iiaip.org.pe](mailto:rzarate@iiaip.org.pe)**Resumen**

Se determinó un modelo matemático para estimar el área foliar de *Caraipa utilis* Vásquez en base al largo y ancho de la lámina foliar en el Bosque sobre arena blanca de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana. Se realizó el inventario de los individuos mayores a 10 cm de DAP de *Caraipa utilis* Vásquez en 1 ha. Después se seleccionó al azar 10 árboles, colectándose 50 hojas/árbol, evaluando al largo, ancho y largo por ancho. El largo promedio fue de 74,95 mm, con un ancho promedio de 32,55 mm. El área foliar calculada fue 1474,64 mm<sup>2</sup>, lo cual corresponde al tipo macrófila. Se desarrolló dos modelos matemáticos: El modelo lineal ( $AF = 281,757 + 0,473284 LxA$ ,  $R^2 = 0,774$ ), sugerido para investigaciones que no requieran un grado de precisión elevado en la estimación de los datos. El segundo modelo es el cuadrático ( $AF = 63,205 + 0,63066 LxA - 0,0000238549 LxA^2$ ,  $R^2 = 0,783$ ), recomendado en investigaciones que requieran mayor precisión en la obtención de datos. Los modelos propuestos son válidos para esta especie, ya que tienen precisión, son prácticos y fáciles de medir, pero la elección del modelo a utilizar, dependerá del criterio del investigador y el propósito del estudio.

**Palabras clave:** Bosque sobre arena blanca, Lámina foliar, Macrófila, Modelo matemático del área foliar.**Abstract**

A mathematical model was determined to estimate the leaf area of *Caraipa utilis* Vásquez based on the length and width of the leaf blade conducted at a Varillal of the Allpahuayo Mishana National Reserve. The inventory of individuals bigger than 10 cm DBH of *Caraipa utilis* Vásquez carried out in 1 ha. Then randomly were selected 10 trees, collecting 50 sheets/tree, evaluating the long, wide and long by wide. The average length was 74.95 mm, with an average width of 32.55 mm. Leaf area was calculated 1474.64 mm<sup>2</sup> (Macrophyla type). Two mathematical models were developed: The linear model ( $AF = 281.757 + 0.473284 LxA$ ,  $R^2 = 0.774$ ), suggested for research that does not require a high degree of accuracy in the estimation of data. The second model is the quadratic ( $AF = 63.205 + 0.63066 LxA - 0.0000238549 LxA^2$ ,  $R^2 = 0.783$ ), recommended for investigations that require great accuracy collecting data. The proposed models are valid for this specie, because they have precision, are practical and easy to measure, but the choice of model to be used, depends on the judgment of the researcher and the study's purpose.

**Key words:** Leaf blade, Macrophyla, Mathematical model of leaf area, White sand forest.

## INTRODUCCIÓN

De los bosques sobre arena blanca, localmente conocidos como Varillales, son extraídas recursos para la construcción de viviendas rurales y urbanas, ya que se utiliza, por ejemplo, la madera redonda para la construcción de viviendas (De Oñate-Calvín *et al.*, 2013; Espíritu y Panduro, 2010; Vásquez, 1997), entre las especies utilizadas esta *Caraipa utilis* (Vásquez, 1991), conocidas localmente como aceite caspi; es notoriamente abundante (Zárate *et al.*, 2015). Esta especie ha estado siendo extraída notoriamente, lo cual ha conllevado ser considerada como especie Vulnerable (D2) y Vulnerable (vu) por la UICN y el D.S N° 043-2006-AG, respectivamente. Y además no se encuentra considerada en un marco legal en el Perú por la falta de normativa para los recursos forestales considerados madera redonda.

La especie *Caraipa utilis* fue descrita por Vásquez (1991); corresponde a un árbol de todos los estratos en los Varillales, inclusive es el árbol emergente que puede llegar a los 30 m de altura, con tronco recto y con secreciones aceitosas en la corteza al corte, tiene hojas simples alternas 5–10 (17) × 2,3–4,2 (5,5) cm; las flores están arregladas en panículas o racimos, sépalos de aproximadamente 2,5 mm de largo, pétalos de aproximadamente 7–10 mm de largo; los frutos son cápsulas asimétricas, de 15–20 mm de largo (Vásquez, 1991). Es una especie endémica (León, 2006) muy abundante y representativo de los Varillales (Zárate *et al.*, 2013; Fine *et al.*, 2010; Honorio *et al.*, 2008; García *et al.*, 2002; Galán de Mera, 2001; Freitas, 1996). Zárate *et al.* (2006) publicaron datos sobre su fenología; y Zárate *et al.* (2015), Vásquez (1991) y Vásquez (1997) presentan información morfológica para la identificación de la especie.

En el estudio de la ecología de las especies, uno de los aspectos más importantes es encontrar métodos fáciles y económicos para estimar el área foliar de las hojas. El área foliar corresponde a la superficie que ocupa dentro de los límites de un lado de la hoja. Está relacionado con el crecimiento, fotosíntesis, procesos transpiratorios, producción de biomasa, entre otros (Pandey y Singh, 2011; Kleiman y Aarssen, 2007; Yates *et al.* 2009). Esta área guarda una relación estrecha con

sus parámetros de largo y ancho, y dicha relación puede ser descrita mediante ecuaciones de regresión (Meza y Bautista, 1999). Los modelos matemáticos basados en las medidas de las hojas representan métodos económicos y rápidos para determinar el área foliar.

A nivel internacional existen muchos trabajos de la medición del área foliar de varias especies, pero solo se realizó en especies que se cultivan por su demanda alta en el mercado, y esos trabajos están orientados a evaluar el crecimiento y la producción de frutos o flores, así tenemos el frijol (*Phaseolus vulgaris*), café (*Coffea arabica*), girasol (*Helianthus annuus*), tomate (*Lycopersicon esculentum*); maíz (*Zea mays*), soya (*Glycine max*), caupí (*Vigna unguiculata*), entre otras (Warnock *et al.*, 2006; Favarin *et al.*, 2002; Astegiano *et al.*, 2001; González y García, 1996; Duarte *et al.*, 1995). Mientras que no existen trabajos (o son muy pocos) en especies silvestres, como el de Cabezas-Gutiérrez *et al.*, 2009. Por otra parte, existen pocos trabajos en área foliar realizados en el Perú; entre ellos tenemos a Artavia *et al.* (2004) quienes midieron el área foliar de *Duroia hirsuta* en el departamento de Loreto; Soplin *et al.* (1993) calcularon el área foliar de *Zea mays* (maíz) y *Arachis hypogaea* (maní), también en el departamento de Loreto; y Yzarra *et al.* (2009) midieron el área foliar de *Zea mays* (maíz) en el departamento de Lima. Por lo cual en el presente trabajo buscamos determinar el área foliar y cuantificar un modelo matemático para estimar el área foliar de las hojas de *Caraipa utilis* Vásquez en base a los parámetros de largo y ancho de la lámina foliar en un Varillal de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Loreto, Perú.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

La investigación se realizó cerca del Km 31,5 de la carretera Iquitos - Nauta, con coordenadas UTM 672771 N y 9559046 E (Zona UTM 18M) dentro de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, del departamento de Loreto de la República del Perú (Figura 1); el muestreo se realizó en Noviembre del 2013.

### Herborización de muestras botánicas

Las muestras de plantas fueron identificadas en el Herbario Amazonense y con las claves de Vásquez (1991), Vásquez (1997) y Zárate *et al.* (2015). Y se encuentran dentro de las colecciones de plantas del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana.

### Medición del área foliar

Se seleccionó al azar 10 árboles mayores de 10 cm de DAP en 1 ha, se colectó 50 hojas por cada árbol. Luego se procedió a medir el largo y ancho de la lámina foliar. Las hojas fueron colocadas sobre una cartulina rosada cubierta por un vidrio de 10 x 12 cm para expandirla, señalando sobre la cartulina una medida de referencia de 50 mm. Después, las hojas fueron fotografiadas a una distancia de 15 cm utilizando una cámara Sony de 12 Mp fijada a un soporte universal. Las fotografías fueron calibradas de manera individual, según lo propuesto por Rincón *et al.* (2012), en ImageJ® 1.v8, siguiendo la secuencia: *Analyze > Set scale > Know distance: 50, Unit of length: mm*. Para procesar la imagen se utilizó la siguiente secuencia: *Image > Type > 8-bit, Image > Adjust > Threshold*. Después para calcular el área foliar individual se procedió de la siguiente manera: *Analyze > Measure*.

### Análisis de datos y modelos matemáticos del área foliar

Se aplicó el análisis de correlación de Pearson entre la longitud y ancho con el área foliar calculada por ImageJ®, para seleccionar el parámetro con mayor correlación de acuerdo a Pire y Valenzuela (1995), que permitió construir modelos matemáticos mediante regresiones de tipos lineales, cuadráticas, cúbicas y logarítmicas. Para seleccionar el modelo con mejor ajuste, se realizó un análisis de correlación lineal entre los valores estimados y los valores promedios del área foliar y tomó en consideración el modelo con mayor coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

## RESULTADOS

El largo mínimo de la lámina foliar de *Caraipa utilis* fue de 26,38 mm, con una máxima de 137,10 mm, teniendo un promedio de 74,95 mm. Para el ancho, se registró como el mínimo valor a 16,30 mm, mientras que 76 mm fue el máximo, con un promedio de 32,55 mm. El

área foliar varió de 148,97 a 3920,61 mm<sup>2</sup>, con un promedio de 1474,64 mm<sup>2</sup>. El coeficiente de variación del área foliar fue 38,53% (ver más detalles en la Tabla 1).

Los modelos de regresiones lineales presentaron  $R^2$  superiores a 0,650, pero inferiores a 0,775, indicando que existe una relación de positiva alta a positiva moderadamente alta entre las variables ( $p > 0,05$ ). El largo como variable independiente, presentó un mejor ajuste respecto a ancho, así el modelo I ( $AF = -765,793 + 298,892L$ ) tuvo un  $R^2$  de 0,701, superior al  $R^2$  de 0,601 del modelo II. El modelo VI, con el  $Lx A^2$  como variable independiente, presentó el  $R^2$  más bajo (0,657) con el  $S_x$  más alto con 333.316. El modelo lineal que presenta mejor ajuste para estimar el área foliar fue el III ( $AF = 281,757 + 0,473284LxA$ ), con un coeficiente de determinación positiva moderadamente alta de 0,774, y con el  $S_x$  más bajo (270,484). Estos detalles están indicados en la Tabla 2.

El modelo III fue sometido a un análisis de regresión y varianza (Tabla 3) con carencia de ajuste, para determinar si el modelo propuesto es adecuado a un nivel de confianza de 95%. El modelo de correlación lineal presenta un coeficiente de correlación de 0,880, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables. El análisis de regresión muestra que el modelo explica el 77,4% de la variabilidad en el área foliar calculada a partir del producto del largo por ancho de la hoja. El análisis de varianza del modelo muestra que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95%, lo cual indica que la función es adecuada para describir los datos observados.

Se elaboró un gráfico de residuos estudentizados para determinar la existencia de valores *outliers* o influyentes en el modelo III. La Figura 1 muestra que la distribución de los residuos estandarizados es independiente al número de las hojas de *Caraipa utilis* Vásquez, notando la presencia de estos valores (Tabla 1). Debido a esto, se calculó el área foliar de las hojas de *Caraipa utilis* Vásquez en base al producto del largo por ancho de la lámina foliar, mediante ecuaciones de regresiones polinómicas (Tabla 4).

El menor  $R^2$  corresponde al modelo cuadrado de X con 0,657, seguidos de modelo exponencial con un  $R^2$  de 0,687. Hay dos

modelos que presentan los  $R^2$  más elevados, el cuadrático y cubico con 0,783, siendo el cuadrático el que presenta un menor error estándar de estimación de 265,539. De esta manera se determinó que el modelo cuadrático presenta un mejor ajuste para estimar el área foliar en *Caraipa utilis* Vásquez (Tabla 4).

Después se realizó un análisis de correlación lineal entre los valores estimados y los valores promedios del área foliar para validar los modelos propuestos. La comparación entre los datos medidos y los datos estimados del área

foliar mediante el modelo lineal tuvo un R igual de 0,8796, indicando una correlación positiva alta entre las variables. El  $R^2$  indica que el modelo puede ser utilizado para la estimación del área foliar de *Caraipa utilis* Vásquez (Figura 2a). El modelo cuadrático un R mayor con 0,9992, demostrando una correlación positiva muy alta entre los valores medidos y esperados. El  $R^2$  de 0,9986 entre los valores medidos y esperados, fundamenta el uso de este modelo con mayor seguridad y precisión (Figura 2b).

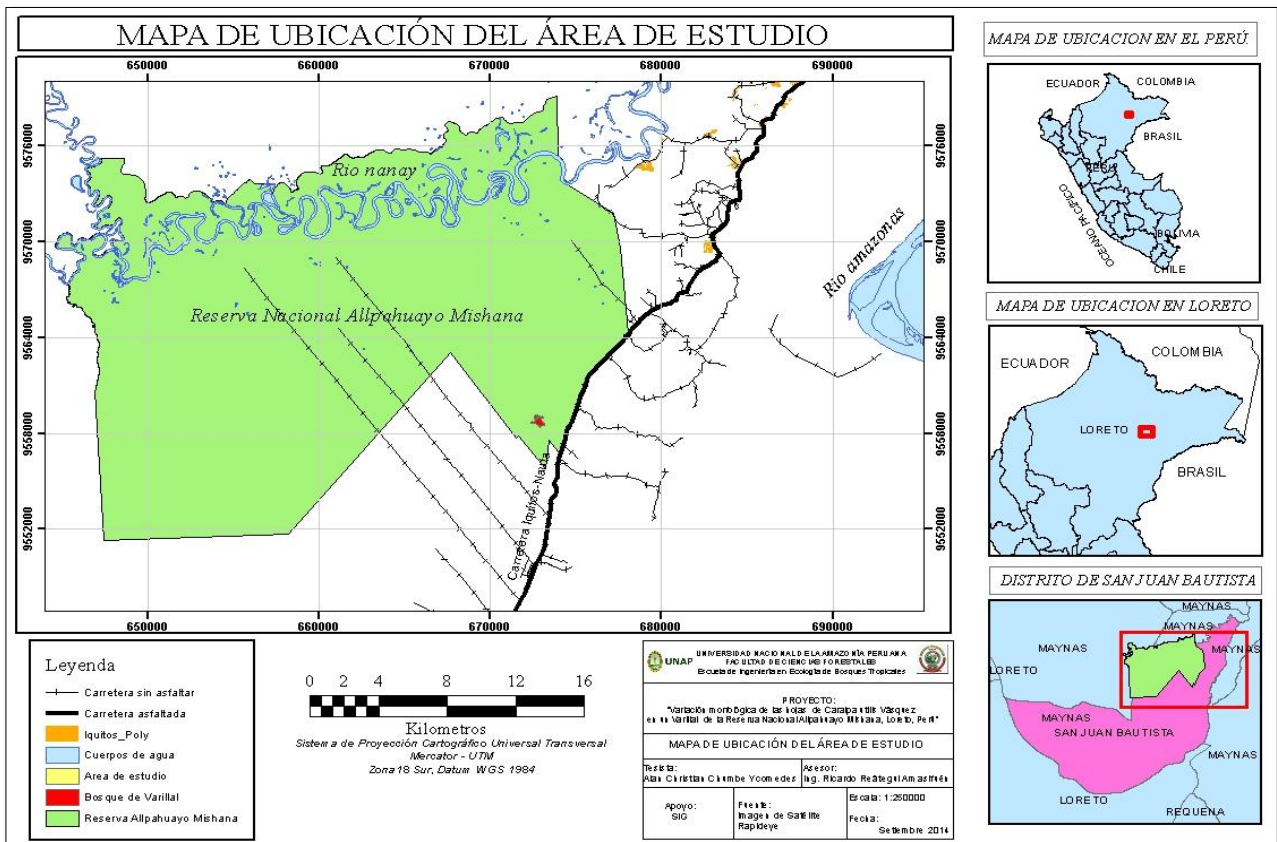


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio en la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Loreto, Perú

**Tabla 1.** Longitud y área foliar de las hojas de *Caraipa utiles* Vásquez en el Varillal.

Parámetro	Hojas	Valor mínimo (mm/ mm <sup>2</sup> )	Valor máximo (mm/ mm <sup>2</sup> )	Promedio (mm/ mm <sup>2</sup> )	S <sup>2</sup>	Coefficiente de variación
Largo	500	26,38	137,10	74,95	253,11	21,23%
Ancho	500	16,30	76,00	32,55	56,11	23,01%
Largo por Ancho	500	493,83	8445,36	2520,02	1115149,98	41,91%
Área foliar calculada	500	148,97	3920,61	1474,64	322806,19	38,53%

**Tabla 2.** Regresiones lineales en base al largo, ancho y largo por ancho de las hojas de *Caraipa utilis* Vásquez en el Varillal.

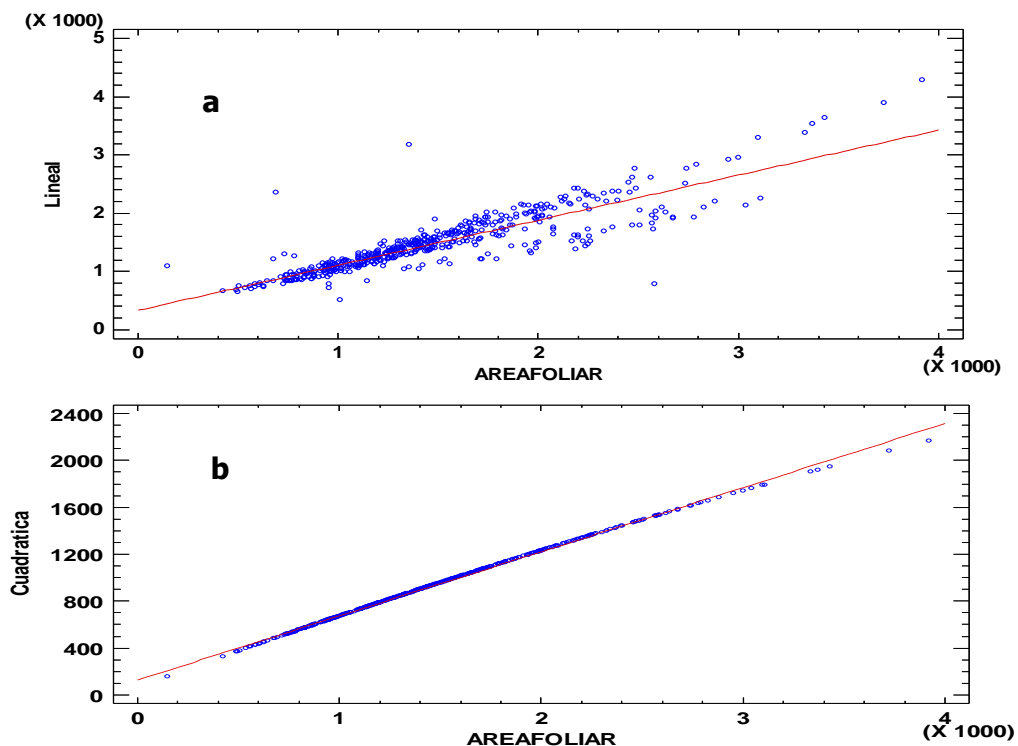
Número de modelo	Función	Coeficientes			S <sub>x</sub>
		A	B	R <sup>2</sup>	
I	AF= a + bL	-765,793	298,892	0,701	311,256
II	AF= a + bA	-439,959	588,167	0,601	359,121
III	AF = a + b(LxA)	281,757	0,473284	0,774	270,484
IV	AF= a + bL(LxA)	720,012	0,00370156	0,751	284,013
V	AF= a + bA(LxA)	819,52	0,00733647	0,668	327,744
VI	AF = a + b(LxA) <sup>2</sup>	1004,41	0,0000629788	0,657	333,316

**Tabla 3.** Análisis de regresión y varianza del modelo lineal seleccionado.

Análisis de regresión del modelo					
R = 0,880	R <sup>2</sup> = 0,774	R <sub>correg.</sub> = 0,781		S <sub>x</sub> = 270,484	
Modelo matemático			$y = 281,757 + 0,473284 x$		
Análisis de varianza con carencia de ajuste del modelo					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig,
Regresión	1,24646E8	1	1,24646E8	1703,71	0,0000
Residuo	3,64344E7	498	73161,4		
Total (Corre.)	1,6108E8	499			

**Tabla 4.** Regresiones polinómicas para calcular el área foliar de las hojas de *Caraipa utilis* Vásquez en el Varillal.

Tipo de regresión	R <sup>2</sup>	S <sub>x</sub>	Modelo matemático
Cuadrática	0,783	265,539	$Y = 63,205 + 0,63066 X - 0,0000238549 X^2$
Cubico	0,783	265,645	$Y = - 11,443 + 0,710 X - 0,00005 X^2 - 0,000000002 X^3$
Logarítmica	0,742	288,641	$Y = - 7986,493 + 1220,06 \ln X$
Exponencial	0,687	0,218	$Y = \exp(6,45317 + 0,000305594 X)$
Multiplicativo	0,760	0,191	$Y = \exp(0,668808 + 0,845517 \ln X)$
Doble cuadrado	0,747	1,0359E6	$Y = \sqrt{695073 + 0,24132 X^2}$
Cuadrado de X	0,657	333,316	$Y = 1004,41 + 0,0000629788 X^2$
Raíz cuadrada doble	0,781	333,316	$Y = (6,21431 + 0,640224\sqrt{X})^2$



**Figura 2.** Área foliar medida y área foliar estimada de *Caraipa utilis* a) Regresión simple, b) Regresión simple

## DISCUSIÓN

Las hojas de *Caraipa utilis* Vásquez presentaron un largo promedio de 74,95 mm, con variación entre 137,10 mm y 26,38 mm, mientras que el ancho de la lámina foliar presentó un promedio de 32,55 mm, entre los 16,30 mm y 76 mm (Tabla 1). Datos similares han sido registrados por Vásquez (1997), en una investigación realizada en la misma área de estudio, encontró que las hojas de esta especie tienen entre 50 mm y 100 mm de largo, y 23 mm a 42 mm de ancho. Estas son las únicas medidas registradas de las hojas de *Caraipa utilis* Vásquez, desconociéndose su área foliar hasta el presente trabajo (No hay publicados datos del área foliar de *Caraipa utilis* Vásquez, aunque podemos afirmar que los resultados están dentro de lo esperado en comparación con otras especies similares). El mismo autor registró valores superiores para las hojas de otras especies del género *Caraipa* en el Perú (Tabla 5), de los cuales, los valores más altos pertenecen a *Caraipa grandiflora* con 160 mm a 280 mm, y 55 mm a 90 mm de ancho. Otros valores similares fueron registrados para especies del género *Caraipa* fuera del Perú, tal es el caso *Caraipa andina* Aymard en los andes

venezolanos, que tiene una longitud de hoja que varía entre los 60 mm a 90 mm, y un ancho que va desde los 30 mm hasta los 50 mm (Aymard y Campbell, 2008).

La similitud en el tamaño de las hojas en las especies del género *Caraipa* indican que los factores extrínsecos no tienen mucha influencia en el tamaño de estas, porque especies con tamaño de hojas similares a *Caraipa utilis* Vásquez, como *Caraipa jaramilloi* y *Caraipa valioi* se desarrollan en otro tipo de bosques (Vásquez, 1997) bajo condiciones ambientales diferentes con dimensiones similares en sus hojas. Son los factores intrínsecos, limitaciones físicas impuestas por la altura del árbol o el peso de las hojas, los que parecen condicionar el tamaño de las hojas en esta especie (Jensen y Zwieniecki, 2013), ya que el simple hecho de la fácil captura de luz debería favorecer hojas pequeñas y de igual tamaño en especies que predominan en los estratos por encima de los 20 m en el Varillal y que se ubican a la misma altura, como lo son *Pachira brevipes* y *Caraipa utilis* Vásquez (Zarate et al., 2015), situación que no ocurre.

Siguiendo el método propuesto por Rincón et al. (2012), se calculó que el área foliar tuvo un

valor promedio de 1474,64 mm<sup>2</sup>, variando desde los 148,97 mm<sup>2</sup> hasta los 3920,61 mm<sup>2</sup> (Tabla 1). De acuerdo a la clasificación de hojas propuesto por Webb (1959), las hojas de *Caraipa utilis* Vásquez se encuentran dentro la categoría 6, tipo macrófila.

En concordancia a Sepúlveda y Kliever (1983), quienes afirman que se puede estimar el área foliar mediante ecuaciones de regresión utilizando el largo, ancho y largo por ancho de la hoja, se desarrolló modelos matemáticos en base a regresiones lineales simples. Los modelos de regresiones lineales presentaron R<sup>2</sup> superiores a 0,650, pero inferiores a 0,775, indicando que existe una relación de positiva alta a positiva moderadamente alta entre las variables ( $p > 0,05$ ). El empleo del largo como variable independiente, presento un mejor ajuste respecto a ancho, así el modelo I ( $AF = -765,793 + 298,892L$ ) tuvo un R<sup>2</sup> de 0,701, mayor a la del modelo II (R<sup>2</sup> = 0,601). Este comportamiento ha sido reportado en otros estudios (Cabezas-Gutierrez et al. 2009, con *Alnus acuminata*, *Escallonia pendula* y *Quercus humboldtii*; Cittadini y Peri, 2006, en hojas de *Prunus avium*; Singh, 2007, con *Allahabad Safeda*; Nautival et al. 1990, en hojas de *Malus domestica*, todas con hojas similares a *Caraipa utilis* Vásquez), quienes encontraron que el largo presenta un mejor ajuste frente al ancho de la hoja. Por el contrario, en otros estudios se reportó que es el ancho el parámetro que mejor estima el área foliar (Pire y Valenzuela, 1995) con valores superiores a 0.900 ( $p = > 0,001$ ).

El modelo lineal que presenta mejor ajuste para estimar el área foliar fue el III ( $AF = 281,757 + 0,473284LxA$ ), con un coeficiente de determinación positiva alta de 0,774, y con el S<sub>x</sub> más bajo (270.484). Respecto al S<sub>x</sub> del modelo III, es posible que la amplitud de los valores LxA sea mayor, y por tanto, el estimado tiene una alta dispersión y mayor grado de confiabilidad. La elección del LxA para desarrollar ecuaciones de regresión que permitan estimar de mejor manera el área foliar ha sido validada ampliamente en otras investigaciones (Meza y Bautista, 1999; Calderón et al. 2009; Pentón et al. 2006; Cittadini y Peri, 2006; Singh, 2007; Cabezas-Gutiérrez et al. 2009). Según Lima et al. 2007 en una investigación con *Mangifera indica*, la elección de la LxA puede ser justificada debido a que esta especie no presenta polimorfismo

foliar en diferentes edades de su crecimiento, teniendo sus hojas una forma lanceolada durante todo su ciclo de vida. Respecto a lo anterior, Hinnah et al. 2014, menciona que la forma de la hoja y su variación en el periodo de crecimiento es un aspecto importante en el desarrollo de modelos de estimación. Sin embargo, desarrollar modelos para cada edad o tamaño de hojas no es justificable debido a las pequeñas mejorías alcanzadas en la estimación del área foliar. Esta explicación puede ser aplicada a *Caraipa utilis* Vásquez, considerando la forma de la hoja (elíptica) de esta especie.

Utilizando el criterio propuesto por Meza y Bautista (1999) y Piere y Valenzuela (1995) se seleccionó al modelo III por presentar el mayor R<sup>2</sup> y menor S<sub>x</sub>. La concentración de los residuos estudentizados valida el modelo III (Figura 3), sin embargo, se puede notar la presencia de valores *outliers* e influyentes (Tabla 1). Esto indica que el modelo, aun presentado un R<sup>2</sup> moderadamente fuerte, no puede ser utilizado para estudios que requieran un alto nivel de precisión en los datos estimados. Debido a los posibles efectos de tener 7 puntos con más de 5 veces el valor de influencia normal, y 14 puntos con más de 3 veces el valor de influencia promedio, se desarrolló regresiones polinómicas para estimar el área foliar de las hojas con un mayor grado de precisión (Tabla 6).

De los modelos matemáticos construidos en base al LxA de la lámina, existen dos modelos que presentan los R<sup>2</sup> más elevados, el cuadrático y cubico con 0,783, siendo el cuadrático el que presenta un menor error estándar de estimación de 265,539. De esta manera se determinó que el modelo cuadrático presenta un mejor ajuste para estimar el área foliar en *Caraipa utilis* Vásquez. Un resultado distinto fue reportado por Pentón et al. (2006), quienes afirman que el modelo lineal es tiene un R<sup>2</sup> marcadamente superior al modelo cuadrático, probablemente debido a la diferencia en la forma de las hojas de *Morus alba* y *Caraipa utilis* Vásquez. Puesto que en el modelo cuadrático la significancia es menor a 0,05 (Tabla 4), el análisis de varianza del modelo muestra que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95%, lo cual indica que la función  $Y = 63,205 + 0,63066X - 0,0000238549X^2$  es adecuada para describir los datos observados

en estudios que requieren mayor precisión en la obtención de datos.

De acuerdo a la validación de los modelos, el modelo lineal  $y = 281,757 + 0,473284AxL$  y el modelo cuadrático  $Y = 63,205 + 0,63066X - 0,0000238549X^2$  produjeron coeficientes de determinación de 0,7738 y 0,9986, lo que indica que ambos modelos pueden ser utilizados para calcular el área foliar de las hojas de *Caraipa utilis* Vásquez. Para el modelo cuadrático  $R^2$  entre los valores medidos y esperado, fundamenta el uso de este modelo para con seguridad y precisión. La elección del modelo a utilizar dependerá del propósito y grado de precisión de la investigación.

Este tipo de métodos ya han sido utilizados y validados por otros autores en diferentes tipos de plantas, como cultivos semestrales (Paksen, 2007; De Swart et al. 2004), cultivos hortícolas

(Gutiérrez y Lavin, 2000; Cittadini y Peri, 2006; Mendoza-de Gyves et al. 2007) y en algunas especies leñosas (Singh, 2007; Broadhead et al. 2003; Peper y McPherson, 2003).

Las mediciones lineales realizadas a las hojas no constituyeron muestreos destructivos y a la vez fueron fácilmente realizables, por lo que estas mediciones pueden ser repetibles en el tiempo. Así mismo, la alta correlación encontrada entre el producto del largo por ancho de la lámina y el área foliar hace apropiados y confiables estos procedimientos de estimación, así los parámetros de longitud y ancho de la lámina foliar si permiten desarrollar un modelo matemático para estimar el área foliar de *Caraipa utilis* Vásquez en un Varillal de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Loreto, Perú.

**Tabla 5.** Tamaño de las hojas de varias especies de *Caraipa*.

Especie	Largo (mm)		Ancho (mm)	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
<i>Caraipa utilis</i> Vásquez	137,1	26,38	76	16,3
<i>Caraipa utilis</i> Vásquez*	100	50	42	23
<i>Caraipa densiflora</i> Mart*	140	55	45	25
<i>Caraipa jaramilloi</i> Vásquez*	120	60	40	20
<i>Caraipa tereticaulis</i> Tul,*	125	50	50	23
<i>Caraipa valioi</i> Paula*	180	130	90	50
<i>Caraipa punctulata</i> Ducke*	210	140	80	50
<i>Caraipa grandifolia</i> Mart,*	280	160	90	55
<i>Caraipa andina</i> Aymard**	90	60	50	30

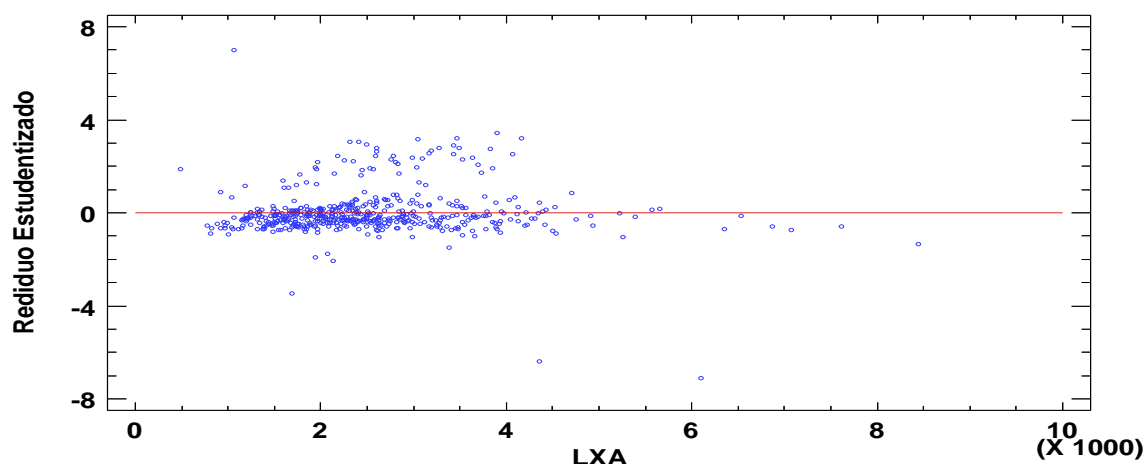
\* Especies de *Caraipa* reportadas en Allpahuayo Maishana, Perú por Vásquez (1997).

\*\* Especie de *Caraipa* registrada en Venezuela por Aymard y Cambell (2008).

**Tabla 6.** Puntos influyentes en las observaciones del modelo.

Número de hoja	X	Y	Predicciones en Y	Residuos estudentizados	Influencia de los valores
1	8445,36	3920,61	4278,81	-1,37	0,0650946
14	6354,73	3097,68	3289,35	-0,72	0,0284259
19	5656,56	3001,6	2958,92	0,16	0,0196794
23	5233,8	2743,59	2758,83	-0,06	0,0152347
153	7624,2	3725,83	3890,17	-0,62	0,0488185
156	5399,5	2790,39	2837,26	-0,17	0,0169003
169	6871,04	3370,69	3533,71	-0,61	0,036021
173	5572,76	2950,2	2919,26	0,12	0,0187473
182	4938,18	2468,17	2618,92	-0,56	0,0125083
184	5262,4	2486,24	2772,37	-1,07	0,0155151
192	7075,2	3430,78	3630,34	-0,75	0,0392886
193	6536,76	3332,96	3375,5	-0,16	0,0309943
198	4916,29	2566,61	2608,56	-0,16	0,0123189
208	6102,04	1358,11	3169,76	-7,11	0,025058





**Figura 3.** Gráfico de residuos (Largo por ancho de las hojas).

### AGRADECIMENTOS

El presente trabajo fue posible gracias a la colaboración en campo de Geancarlo Cohello Huaymacari, Danna Isabel Flores Peña, Luis Andrés Valles Pérez y Nandy Lanier Macedo Vásquez; al permiso de Carlos Rivera (Jefe de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana) para realizar esta investigación; y a la autorización de Richard Huaranca (Coordinador del Herbario Amazonense) para ingresar a identificar las muestras de plantas.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Artavia, G., Eckhardt, K., y Araujo, J. (2004) Efecto de la luz sobre la densidad y morfología de las plantas en un claro dominado por *Duroia Hirsuta*, Estación Biológica Madre Selva. Río Osora, Iquitos, Perú. *Rev. Reflexiones*, 83(1), 131-135. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4796124>

Astegiano, E., Favaro, J. y Bouzo, C. (2001) Estimación del área foliar en distintos cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) utilizando medidas foliares lineales. *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetales*, 16(2), 249-256. [http://www.inia.es/gcontrec/pub/asteg\\_1161157876500.pdf](http://www.inia.es/gcontrec/pub/asteg_1161157876500.pdf)

Aymard, G. and Campbell, L. (2008) *Caraipa andina* (Clusiaceae), a new species from the Venezuelan Andes, and its biogeographical implications. *Rodriguésia*, 59(2), 393-398. <http://www.jstor.org/stable/23499401>

Broadhead, S., Muxworthy, R., Ong, .K. and Black, R. (2003) Comparison of methods for determining leaf area in tree rows. *Agricultural and Forest Meteorology*, 115(3-4), 151-161. [http://dx.doi.org/10.1016/s0168-1923\(02\)00212-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0168-1923(02)00212-5)

Cabezas-Gutiérrez, M., Peña, F., Duarte, H., Colorado, J. y Lora, R. (2009) Un modelo para la estimación del área foliar en tres especies forestales de forma no destructiva. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 12(1), 121-130. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v12n1/v12n1a13.pdf>

Calderón, A., Soto, F., Caderon, M. y Fundora, L. (2009) Estimación de área foliar en posturas de Mango (*Manguifera indica* L.) y Aguacate (*Persea spp*) en fase de vivero a partir de las medidas lineales de las hojas. *Cultivos tropicales*, 30(1), 43-48. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217899007>

Cittadini, D. and Peri, L. (2006) Estimation of leaf area in sweet cherry using a non-destructive method. *RZA*, 35(1), 143-150. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86435110>

- De Oñate-Calvín, R., San Miguel-Ayanz, A., Orensanz-García, J., Salazar-Vega, A. y Roig-Gómez, S. (2013) Amazonian White-Sand Forest: A Black Future?. *Bois et forêts des tropiques*, 315(1), 63-72. [http://www2.montes.upm.es/Dptos/Dsrn/SanMiguel/PUBLICACIONES/2011-2015/2013\\_O%C3%B1ate\\_etal\\_2013\\_Amazonian%20White%20sand%20forests\\_BFT.pdf](http://www2.montes.upm.es/Dptos/Dsrn/SanMiguel/PUBLICACIONES/2011-2015/2013_O%C3%B1ate_etal_2013_Amazonian%20White%20sand%20forests_BFT.pdf)
- De Swart, E., Groenwold, R., Kanne, H., Stam, P., Marcelis, L. and Voorrips, R. (2004) Non-destructive estimation of leaf area for different plant ages and accessions of *Capsicum annuum* L. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 79(5), 764-770. <http://dx.doi.org/10.1080/14620316.2004.11511840>
- Duarte, J., Perez, H., Pezo, D., Arze, J., Romero, F. y Argel, P. (1995) Producción de maíz (*Zea mays* L.), soya (*Glycine max* L.) y caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) sembrados en asociación con gramíneas en el trópico húmedo. *Pasturas Tropicales*, 17(2), 12-19. [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos\\_Ciat/Vol17\\_rev2\\_a%C3%B1o95\\_art4.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Vol17_rev2_a%C3%B1o95_art4.pdf)
- Espíritu, J. y Panduro, R. (2010) La madera redonda en la construcción de viviendas rurales en las zonas de Puerto Almendra, Zungarococha y Nina Rumi, Loreto, Perú. *Conocimiento Amazónico*, 1(1), 13-21. <http://revistas.unapikitos.edu.pe/ojs/index.php/Conocimientoamazonico/article/view/3>
- Favarin, J., Neto, D., García, A., Villa, N. y Favarin, M. (2002) Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(6), 769-773. <http://www.scielo.br/pdf/%0D/pab/v37n6/10553.pdf>
- Fine, P., García-Villacorta, R., Pitman, N., Mesones, I. and Kembel, S. (2010) A floristic study of the white-sand forests of Peru. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 97(3), 283-305. <http://dx.doi.org/10.3417/2008068>
- Freitas, L. (1996) Caracterización Florística y Estructural de cuatro comunidades boscosas de terraza baja en la Zona de Jenaro herrera, Amazonía Peruana. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Documento Técnico Nº 26. 77 pp. <http://www.iiap.org.pe/Upload/Publicacion/ST026.pdf>
- Galán de Mera, A. (2001) Una aproximación fitosociológica sobre los Varillales húmedos de la Amazonía Peruana. *Stud. Bot.*, 20, 125-133. <http://revistas.usal.es/index.php/0211-9714/article/view/6096>
- González, M. y García, E. (1996) Evaluación de las pérdidas por roya en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en diferentes épocas de siembra en Cuba. *Agronomía Mesoamericana*, 7(1), 95-98. [http://www.mag.go.cr/rev\\_meso/v07n01\\_095.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_meso/v07n01_095.pdf)
- Gutiérrez, A. y Lavín, A. (2000) Mediciones lineales en la hoja para la estimación no destructiva del área foliar en vides cv. Chardonnay. *Agricultura Técnica*, 60(1), 9-17. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072000000100007>
- Hinnah, F., Heldwein, A., Maldaner, I., Loose, L., Pitol, D. and Bortoluzzi, M. (2014) Estimation of eggplant leaf area from leaf dimensions. *Bragantia* 73, 213-218. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0083>
- Honorio, E., Pennington, T., Freitas, L., Nebel, G. y Baker, T. (2008) Análisis de la composición florística de los bosques de Jenaro Herrera, Loreto, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 15(1), 53-60. <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v15i1.1670>
- Jensen, K. and Zwieneicki, M. (2013) Physical Limits to Leaf Size in Tall Trees. *Physical review letters*, 110(1), 1-5. <http://dx.doi.org/10.1103/physrevlett.110.018104>
- Kleiman, D and Aarssen, L. (2007). The leaf size/number trade-off in trees. *Journal of Ecology*, 95, 376-382. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01205.x>
- León, B. (2006) Clusiaceae endémicas del Perú. *Revista Peruana de Biología*, Número especial 13(2), 261s-264s. <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v13i2.1843>

- Lima, R., Souza, P., Rodrigues, J. y Lima, M. (2012) Modelos para estimativa da área foliar da mangueira utilizando medidas lineares. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal* 34(4), 974-980. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452012000400003>
- Mendoza-de Gyves, M., Roupheal, Y., Cristofoti, V. and Mira, R. (2007) A non-destructive, simple and accurate model for estimating the individual leaf area of kiwi (*Actinidia deliciosa*). *Fruits*, 62(3), 171-176. <http://dx.doi.org/10.1051/fruits:2007012>
- Meza, N. y Bautista, D. (1999) Estimación del área foliar en plantas jóvenes de níspero (*Manilkara achras* [Miller] Fosberg) sometidas a dos ambientes de luz. *Bioagro*, 11(1), 24-28. [http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev11\(1\)/3.%20Estimaci%C3%B3n%20del%20%C3%A1rea%20foliar.pdf](http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev11(1)/3.%20Estimaci%C3%B3n%20del%20%C3%A1rea%20foliar.pdf)
- Ministerio de Agricultura y Riego – MINAGRI. 2006. Decreto Supremo N° 043-2006-AG. Aprueban la categorización de especies amenazadas de flora silvestre. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 13 de Julio del 2006.
- Nautival, B., Singh, P., Sukla, R., Prakash, S. and Kumar, A. (1990) Correcting leaf area measurement by conventional methods: a new approach for apple (*Malus domestica* Borkh). *J. Hort. Sc.* 65(1), 15-18.
- Paksen, E. (2007) Non-destructive leaf area estimation model for faba bean (*Vicia faba* L.). *Scientia Horticulturae*, 113, 322-328. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2007.04.003>
- Pandey, S. and Singh, H. (2011) A Simple, Cost-Effective Method for Leaf Area Estimation. *Journal of Botany*, 1-6. <http://dx.doi.org/10.1155/2011/658240>
- Pentón, G., Torres de la Noval, W. y Martín, G. 2006. Nota técnica: Estimación del área foliar a partir de observaciones morfológicas convencionales en *Morus alba* var. Acorazonada. *Pastos y forrajes*, 29 (3), 247. <http://payfo.ihatuey.cu/index.php/pasto/article/view/700/1249>
- Peper, J. and McPherson, G. (2003) Evaluation of four methods for estimating leaf area of isolated trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2, 019 - 29. <http://dx.doi.org/10.1078/1618-8667-00020>
- Pire, R. y Valenzuela, I. (1995) Estimación del área foliar en *Vitis vinifera* L. 'French Colombard' a partir de mediciones lineales en las hojas. *Agronomía tropical*, 45(1), 143-154.
- Rincón, N., Olarte, M. y Pérez, J. (2012) Determinación del área foliar en fotografías tomadas con una Cámara Web, un Teléfono Celular o una Cámara Semiprofesional. *Revista de la facultad agraria de Medellín*, 65 (1), 6399 - 6405. <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/30766>
- Sepúlveda, G. and Kliever, M. (1983) Estimation of Leaf Area of Two Grapevine Cultivars (*Vitis vinifera* L.) Using Laminae Linear Measurements and Fresh Weight. *American Journal of Enology and Viticulture*, 34(4), 221-226. <http://www.ajevonline.org/content/34/4/221>
- Singh, A. (2007) Approximation of Leaf Area by Using Leaf Dimensions in Guava. *Acta Horticulturae*, 735, 321-324. <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2007.735.44>
- Soplin, J., Rengifo, A. y Chumbe, J. (1993) Análisis de crecimiento en *Zea mays* L. y *Arachis hypogaea* L. *Folia Amazónica*, 5(1-2), 171-189. <http://revistas.iiap.org.pe/index.php/foviaamazonica/article/view/240/293>
- Vasquez, R. (1991) *Caraipa* (Guttiferae) del Perú. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 78, 1002-1008. <http://dx.doi.org/10.2307/2399740>
- Vásquez, R. (1997) Flórmula de las Reservas Biológicas de Iquitos, Perú. Jardín Botánico de Missouri. *Botanical Garden Press*. St. Louis. USA.
- Warnock, R., Valenzuela, J., Trujillo, A., Madriz, P. y Gutiérrez, M. (2006) Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota. *Agronomía Tropical*, 56(1), 21-42. <http://www.scielo.org.ve/pdf/at/v56n1/art02.pdf>

- Webb, J. (1959) A physiognomic classification of Australian rain forests. *Journal of Ecology*, 47(3), 551-570.  
<http://dx.doi.org/10.2307/2257290>
- Yates, M., Verboom, A., Rebelo, A. y Cramer, M. 2009. Significancia ecofisiológica de la variación del tamaño de las hojas en Proteaceae de la región florística del Cabo. *Ecología funcional* 24, 485-492.
- Yzarra, W., Trebejo, I. y Noriega, V. (2009) Evaluación de unidades térmicas para el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays*, L.) en la costa central del Perú. *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA*, 1, 1-10.  
[http://www.senamhi.gob.pe/rpga/pdf/2009\\_vol01/art1.pdf](http://www.senamhi.gob.pe/rpga/pdf/2009_vol01/art1.pdf)
- Zárate, R., Amasifuen, C., y Flores, M. (2006) Floración y Fructificación de plantas leñosas en bosques de arena blanca y de suelo arcilloso en la Amazonía Peruana. *Revista Peruana de Biología*, 13(1), 095-102.  
<http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v13i1.1768>
- Zárate, R., Mori, T. y Maco, J. (2013) Estructura y composición florística de las comunidades vegetales del ámbito de la carretera Iquitos-Nauta, Loreto-Perú. *Folia Amazónica*, 22(1-2), 77-89.  
<http://www.iiap.org.pe/Upload/Publicacion/PUBL1366.pdf>
- Zárate, R.; Mori, T.; Ramírez, F.; Dávila, H.; Gallardo, G.; Cohello, G. (2015) Lista actualizada y clave para la identificación de 219 especies arbóreas de los bosques sobre arena blanca de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Perú. *Acta Amazonica*, 45 (2): 133 - 156.  
<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201402922>