

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ**

Escuela de Posgrado



**Estudio de la diversidad de semillas y ácidos grasos de
Plukenetia huayllabambana y *Plukenetia volubilis*
(Sacha inchi) de la amazonía peruana**

**Tesis para obtener el grado académico de Magíster en Química
que presenta:**

FREDY ENRIQUE QUISPE JACOBO

**ASESOR
ERIC GABRIEL COSIO CARAVASI**

Lima, 2023

Informe de Similitud

Yo, Eric Cosio Caravasi, docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis titulada: **“Estudio de la diversidad de semillas y ácidos grasos de *Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis* (Sacha inchi) de la amazonía peruana”**, del autor Fredy Enrique Quispe Jacobo, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 18%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 14/02/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte de la Tesis y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lima, 15 de febrero del 2023

| | |
|--|--|
| Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>Cosio Caravasi, Eric Gabriel</u> | |
| DNI: 06416780 | Firma  |
| ORCID: 0000-0001-6993-5654 | |



Yo soy la luz del mundo;
El que me sigue, no andará en tinieblas,
Sino que tendrá la luz de la vida. (Juan 8:12).
Padre nuestro que estas en los cielos santificado sea tu nombre.



A mi esposa Karim,

A mis hijos Sarita y Jehú,

Por los motivos que ponen, cada día, en mi vida.

A mis Padres, Policarpio Quispe y Dominga Jacobo.

AGRADECIMIENTOS

A la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), por la oportunidad de realizar mis estudios de Posgrado en Química.

A los docentes de Química del pregrado y posgrado de la PUCP.

A mi asesor, Eric Cosio, por su apoyo en la realización de la investigación.

A mi amiga, Arilmí Gorriti Gutiérrez, por su apoyo para la ejecución de la investigación en el laboratorio de Farmacognosia de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM).

A mis amigos, Frank Gavilano, Armando Espinoza y Miguel Palacin Custodio, por su apoyo en la ejecución de la investigación.

A la Empresa Agronegocios Peruagro S.R.L. por el apoyo y financiamiento de la investigación.

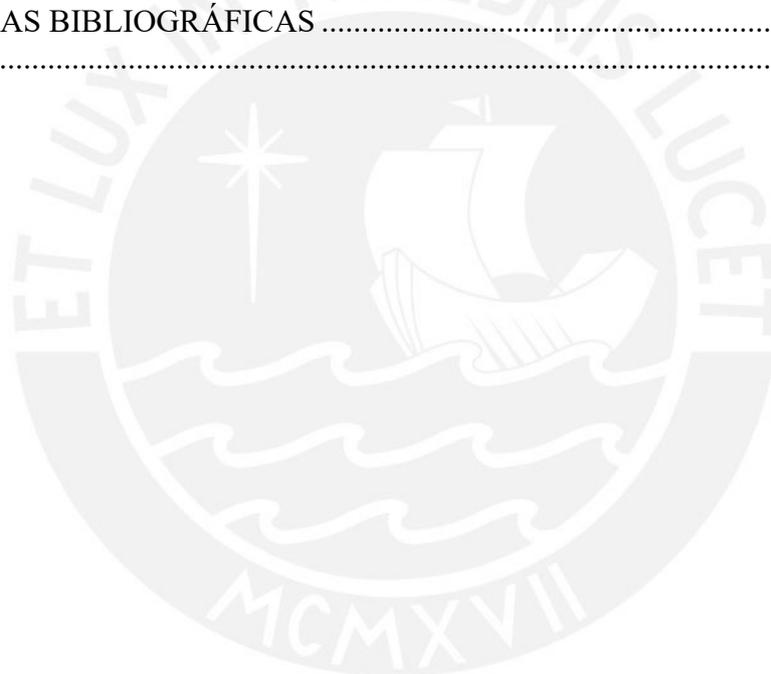
A la *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ) por el financiamiento del Proyecto de Investigación “Química, farmacología y toxicología del aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.)”.

A los sachaincheros de nuestro país, por su labor en la conservación, producción y puesta en valor de nuestra oleaginosa nativa “Sacha inchi”.

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE FIGURAS | viii |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xi |
| ÍNDICE DE ANEXOS | xii |
| RESUMEN..... | 1 |
| INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| 1. MARCO TEÓRICO | 6 |
| 1.1 Botánica..... | 7 |
| 1.2 Cultivo..... | 15 |
| 1.2.1 Características ecológicas del cultivo..... | 15 |
| 1.2.2 Cultivo..... | 15 |
| 1.2.3 Labores culturales..... | 16 |
| 1.2.4 Cosecha y postcosecha..... | 17 |
| 1.3 Química..... | 19 |
| 1.3.1 Metabolitos primarios..... | 19 |
| 1.3.2 Metabolitos secundarios..... | 23 |
| 1.4 Uso alimentario..... | 25 |
| 1.5 Farmacología, toxicología y clínica..... | 28 |
| 1.6 Tecnologías innovativas en sachá inchi..... | 30 |
| 1.7 Mercado..... | 32 |
| 2. PARTE EXPERIMENTAL..... | 33 |
| 2.1 Materiales y reactivos..... | 34 |
| 2.2 Equipos..... | 35 |
| 2.3 Métodos..... | 36 |
| 2.3.1 Características de las semillas de sachá inchi..... | 36 |
| 2.3.2 Características de 100 semillas de sachá inchi..... | 36 |
| 2.3.3 Obtención de aceite crudo..... | 36 |
| 2.3.4 Análisis de almendras..... | 38 |
| 2.3.5 Análisis del aceite crudo..... | 38 |
| 2.3.6 Análisis estadístico..... | 39 |
| 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 40 |
| 3.1 Parámetros morfológicos de las semillas de sachá inchi..... | 41 |
| 3.1.1 Diámetro de semilla de sachá inchi..... | 41 |
| 3.1.2 Longitud de semilla de sachá inchi..... | 44 |
| 3.1.3 Espesor de semilla de sachá inchi..... | 46 |
| 3.1.4 Peso de semilla de sachá inchi..... | 47 |
| 3.1.5 Peso de cáscara de semilla de sachá inchi..... | 52 |
| 3.1.6 Peso de almendra de semilla de sachá inchi..... | 56 |
| 3.1.8 Diversidad morfológica de las semillas de sachá inchi..... | 65 |
| 3.2 Parámetros fisicoquímicos de los aceites crudos de sachá inchi..... | 76 |
| 3.2.1 Humedad de almendra..... | 76 |
| 3.2.2 Aceite crudo y grasa total..... | 78 |
| 3.2.3 Densidad e índice de refracción..... | 85 |
| 3.2.4 Ácidos grasos libres..... | 88 |
| 3.2.5 Índice de saponificación..... | 90 |
| 3.2.6 Índice de Yodo..... | 92 |
| 3.2.7 Dienos conjugados y trienos conjugados..... | 95 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 3.2.8 | Índice de peróxido..... | 100 |
| 3.2.9 | Diversidad de parámetros fisicoquímicos de los aceites crudos de sachá inchi..... | 103 |
| 3.3 | Ácidos grasos de los aceites crudos de sachá inchi..... | 109 |
| 3.3.1 | Ácido palmítico, C16:0 | 110 |
| 3.3.2 | Ácido esteárico, C18:0 | 113 |
| 3.3.3 | Ácido oleico, C18:1..... | 116 |
| 3.3.4 | Ácido <i>cis</i> -vaccénico, C18:1 ω 7 | 119 |
| 3.3.5 | Ácido linoleico, C18:2..... | 121 |
| 3.3.6 | Ácido linolénico, C18:3..... | 125 |
| 3.3.7 | Ácido eicosenoico, C20:1..... | 133 |
| 3.3.8 | Ácidos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados en sachá inchi | 136 |
| 3.3.9 | Relación omega-3/omega-6 | 141 |
| 3.3.10 | Diversidad de ácidos grasos de los aceites crudos de sachá inchi | 148 |
| 3.3.11 | Diversidad de los aceites crudos de sachá inchi..... | 158 |
| 4. | CONCLUSIONES..... | 165 |
| 5. | RECOMENDACIONES | 167 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 168 |
| | ANEXOS..... | 189 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. <i>Plukenetia huayllabambana</i> sp. nov.: (a) hábito, (b) fruto maduro, (c) semilla. | 9 |
| Figura 2. Características morfológicas de seis especies del género <i>Plukenetia</i> de la Amazonía peruana. | 11 |
| Figura 3. Análisis de enriquecimiento ontológico-funcional de unigenes diferencialmente expresados en el desarrollo de la semilla..... | 13 |
| Figura 4. Dendrograma que describe las relaciones entre las especies de <i>Plukenetia</i> | 14 |
| Figura 5. Principales ácidos grasos de los aceites de <i>sacha inchi</i> | 20 |
| Figura 6. Comparación de ácidos grasos de fuentes vegetales. | 22 |
| Figura 7. Diagrama de flujo de la obtención del aceite crudo de <i>sacha inchi</i> | 37 |
| Figura 8. Distribución del diámetro de semilla, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 42 |
| Figura 9. Distribución de la longitud de semilla, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 45 |
| Figura 10. Distribución del espesor de semilla, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 46 |
| Figura 11. Distribución del peso de semilla, peso de 100 semillas y diagramas de caja según las regiones estudiadas de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 48 |
| Figura 12. Diagramas de caja del peso de semilla y peso de 100 semillas, según localización de colecta de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 51 |
| Figura 13. Distribución del peso de cáscara, peso de cáscara de 100 semillas y diagramas de caja según las regiones estudiadas de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 53 |
| Figura 14. Diagramas de caja del peso de cáscara y peso de cáscara de 100 semillas según localización de colecta de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 55 |
| Figura 15. Distribución del peso de almendra, peso de almendra de 100 semillas y diagramas de caja según las regiones estudiadas de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 57 |
| Figura 16. Distribución del peso de almendra, peso de almendra de 100 semillas, y diagramas de caja según las regiones estudiadas de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 58 |
| Figura 17. Distribución del rendimiento de almendra, rendimiento de almendra de 100 semillas, y diagramas de caja según regiones estudiadas de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 61 |
| Figura 18. Diagramas de caja del rendimiento de almendra y rendimiento de almendra de 100 semillas según localización de colecta de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 62 |
| Figura 19. Dendrograma de las 21 muestras de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> según los parámetros morfológicos de semilla. | 66 |
| Figura 20. PCA de las 21 muestras de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> según los parámetros morfológicos de semilla. | 67 |
| Figura 21. Dendrograma y PCA de 19 muestras de <i>P. volubilis</i> según los parámetros morfológicos de semilla. | 70 |
| Figura 22. Análisis de Factores de 20 muestras de <i>P. volubilis</i> según los caracteres morfológicos del <i>sacha inchi</i> de tres comunidades de Pucallpa Perú. | 74 |
| Figura 23. Distribución de la humedad de almendra en <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> , diagramas de caja según las regiones y localidades colectadas..... | 77 |

| | |
|---|-----|
| <i>Figura 24. Distribución del rendimiento de aceite crudo, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta de P. huayllabambana y P. volubilis.</i> | 79 |
| <i>Figura 25. Distribución del contenido de grasa total, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta de P. huayllabambana y P. volubilis.</i> | 82 |
| <i>Figura 26. Análisis de correlación entre rendimiento de aceite crudo, grasa total y altitud de colecta de las 21 muestras de P. huayllabambana y P. volubilis.</i> | 83 |
| <i>Figura 27. Distribución de la densidad de aceite crudo, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta de P. huayllabambana y P. volubilis.</i> | 85 |
| <i>Figura 28. Índice de refracción del aceite crudo, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta de P. huayllabambana y P. volubilis.</i> | 87 |
| <i>Figura 29. Distribución de acidez libre (%) del aceite crudo, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta de P. huayllabambana y P. volubilis.</i> | 89 |
| <i>Figura 30. Distribución del índice de saponificación del aceite crudo, y diagramas de caja según regiones estudiadas y localización de colecta de P. huayllabambana y P. volubilis.</i> | 91 |
| <i>Figura 31. Distribución del índice de yodo del aceite crudo, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta de P. huayllabambana y P. volubilis.</i> | 94 |
| <i>Figura 32. Distribución de los dienos conjugados del aceite crudo, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta P. huayllabambana y P. volubilis.</i> | 96 |
| <i>Figura 33. Distribución de los trienos conjugados del aceite crudo, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta P. huayllabambana y P. volubilis.</i> | 99 |
| <i>Figura 34. Distribución del índice de peróxido del aceite crudo, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta P. huayllabambana y P. volubilis.</i> | 100 |
| <i>Figura 35. Análisis de correlación de los dienos conjugados, trienos conjugados e índice de peróxido de los aceites crudos de sachá inchi de P. huayllabambana y P. volubilis.</i> | 102 |
| <i>Figura 36. Análisis de clúster jerárquico (HCA) y de factores, de los parámetros de calidad evaluados en 27 aceites comerciales de sachá inchi.</i> | 103 |
| <i>Figura 37. Dendrograma y PCA de los parámetros fisicoquímicos evaluados en los aceites crudos de P. huayllabambana y P. volubilis.</i> | 105 |
| <i>Figura 38. Dendrograma y PCA de las 21 muestras de P. huayllabambana y P. volubilis según los parámetros fisicoquímicos evaluados en sus aceites crudos.</i> | 107 |
| <i>Figura 39. Estructura química, distribución del ácido palmítico (%) y diagramas de caja del ácido graso según las regiones estudiadas y localización de colecta en aceites crudos de P. huayllabambana y P. volubilis.</i> | 110 |
| <i>Figura 40. Estructura química, distribución del ácido esteárico (%) y diagramas de caja del ácido graso según las regiones estudiadas y localizaciones de colecta en aceites crudos de P. huayllabambana y P. volubilis.</i> | 113 |
| <i>Figura 41. Estructura química, distribución del ácido oleico (%) y diagramas de caja del ácido graso según las regiones estudiadas y localizaciones de colecta en aceites crudos de P. huayllabambana y P. volubilis.</i> | 116 |

| | |
|--|-------|
| Figura 42. Estructura química, distribución del ácido cis-vaccénico (%) y diagramas de caja del ácido graso según las regiones estudiadas y localizaciones de colecta en aceites crudos de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 119 |
| Figura 43. Estructura química, distribución del ácido linoleico (%) y diagramas de caja del ácido graso según las regiones estudiadas y localizaciones de colecta en aceites crudos de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 122 |
| Figura 44. Estructura química, distribución del ácido α -linolénico (%) y diagramas de caja del ácido graso según las regiones estudiadas y localizaciones de colecta en aceites crudos de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 127 |
| Figura 45. Ruta bioquímica de conversión de ALA hacia EPA y DHA. | 131 |
| Figura 46. Estructura química, distribución del ácido eicosenoico (%) y diagramas de caja del ácido eicosenoico según las regiones estudiadas y localizaciones de colecta de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 134 |
| Figura 47. Distribución de omega-3 (ácido α -linolénico), omega-6 (ácido linoleico), ácidos grasos monoinsaturados (M) y ácidos grasos saturados (S), en los 21 aceites crudos de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 136 |
| Figura 48. Diagramas de caja de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados de 21 aceites crudos de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> según localización de colecta. | 139 |
| Figura 49. Evolución de la dieta y el consumo de ω 6: ω 3, durante diferentes periodos del desarrollo del ser humano. | 142 |
| Figura 50. Diagramas de caja de relaciones ω 3/ ω 6 de 21 aceites crudos de <i>sacha inchi</i> según localización de colecta. | 144 |
| Figura 51. Diagramas de dispersión de las correlaciones Pearson de los ácidos grasos de los 21 aceites crudos de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> con la altitud. | 146 |
| Figura 52. PCA de 22 variables en 45 variedades de olivo de la región Mediterránea de Valencia en España. | 150 |
| Figura 53. Matriz de correlación Pearson entre los contenidos de ácidos grasos mayoritarios de los 27 aceites comerciales de <i>sacha inchi</i> | 151 |
| Figura 54. Diagramas de dispersión de las correlaciones Pearson de los ácidos grasos de los 21 aceites crudos de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 153 |
| Figura 55. PCA de ácidos grasos (11) y parámetros (06) de 27 aceites comerciales de <i>sacha inchi</i> | 154 |
| Figura 56. Análisis de conglomerados y PCA de los parámetros evaluados en los 21 aceites crudos de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 155 |
| Figura 57. PCA con PC1, PC2 y PC3, de los ácidos grasos y sus parámetros, en los 21 aceites crudos de <i>sacha inchi</i> de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> (92,65 %). | 1557 |
| Figura 58. Dendograma de los 21 aceites crudos de los 21 aceites crudos de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> , según método de Ward y distancia Euclidea. | 15560 |
| Figura 59. PCA de los 21 aceites crudos de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> , según perfiles de ácidos grasos y sus parámetros. | 15561 |
| Figura 60. PCA de los 21 aceites crudos de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> (92,65 %). | 15562 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Ácidos grasos saturados e insaturados en los aceites de las semillas de <i>P. volubilis</i> y <i>P. huayllabambana</i> | 21 |
| Tabla 2. Requisitos mínimos y máximos para el aceite de sachá inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> y <i>Plukenetia huayllabambana</i>) según la Norma Técnica Peruana 151.400. | 27 |
| Tabla 3. Farmacología, toxicología y clínica del aceite de sachá inchi. | 28 |
| Tabla 4. Tecnologías innovativas en sachá inchi. | 30 |
| Tabla 5. Descripción de la especie, origen, código, coordenadas geográficas y altitud de las semillas de sachá inchi colectadas en la investigación. | 34 |
| Tabla 6. Lugares de colecta de semillas de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> . La altitud se separa por intervalos de 200 m. | 43 |
| Tabla 7. Rendimiento de cáscara de 100 semillas (%) según Lugares de colecta de semillas de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 56 |
| Tabla 8. Rendimiento de almendra de 100 semillas (%) según Lugares de colecta de semillas de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 64 |
| Tabla 9. Parámetros morfológicos de semillas de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 65 |
| Tabla 10. Autovalores, autovectores y correlaciones de las variables morfológicas de las semillas de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> , según PCA. | 68 |
| Tabla 11. Autovalores, autovectores y correlaciones de las variables morfológicas de las 19 muestras de semillas de <i>P. volubilis</i> , según análisis de componentes principales.. | 72 |
| Tabla 12. Medidas resumen de los parámetros fisicoquímicos evaluados en los aceites crudos de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 104 |
| Tabla 13. Autovalores, autovectores y componentes principales de los parámetros fisicoquímicos utilizados en la caracterización de aceites crudos de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> según PCA. | 106 |
| Tabla 14. Ácido α -linolénico en diferentes aceites de fuentes vegetales. | 130 |
| Tabla 15. Contenidos de ácido linoleico (18:2, ácido linolénico (18:3) y ω 3/ ω 6 de aceites comestibles de origen vegetal. | 143 |
| Tabla 16. Medidas resumen de los ácidos grasos evaluados en los 21 aceites crudos de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 148 |
| Tabla 17. Correlación según Pearson de ácidos grasos de aceites crudos de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 152 |
| Tabla 18. Autovalores, autovectores y correlaciones de los ácidos grasos de 21 aceites crudos de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> según PCA. | 156 |
| Tabla 19. Matriz de correlación/probabilidades del PCA de ácidos grasos y otros parámetros evaluados en 21 aceites crudos <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> | 157 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Anexo 1. Datos botánicos de <i>Plukenetia huayllabambana</i> | 190 |
| Anexo 2. Datos botánicos de <i>Plukenetia volubilis</i> L. | 191 |
| Anexo 3. Cromatografía de ácidos grasos..... | 192 |
| Anexo 4. Análisis de datos..... | 194 |
| Anexo 5. Análisis de normalidad de caracteres morfológicos de semillas de <i>sacha inchi</i> . . | 198 |
| Anexo 6. Análisis de normalidad de propiedades fisicoquímicas de los aceites crudos de las semillas de <i>sacha inchi</i> | 199 |
| Anexo 7. Análisis de normalidad de ácidos grasos de los aceites crudos de las semillas de <i>sacha inchi</i> | 200 |
| Anexo 8. Distancia Euclídea del análisis de conglomerados de las semillas de <i>sacha inchi</i> | 201 |
| Anexo 9. Información del análisis de componentes principales con 11 variables morfológicas del <i>sacha inchi</i> | 203 |
| Anexo 10. Información del análisis de componentes principales con 11 variables fisicoquímicas del aceite crudo de <i>sacha inchi</i> | 204 |
| Anexo 11. Información del análisis de componentes principales con los ácidos grasos del aceite crudo de <i>sacha inchi</i> | 205 |
| Anexo 12. Información del análisis discriminante morfológico en semillas de <i>sacha inchi</i> (<i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i>). | 206 |
| Anexo 13. Información del análisis discriminante de propiedades fisicoquímicas de los aceites crudos de <i>sacha inchi</i> (<i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i>). | 210 |
| Anexo 14. Información del análisis discriminante de ácidos grasos de los aceites crudos de <i>sacha inchi</i> (<i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i>). | 211 |
| Anexo 15. Información del análisis discriminante de ácidos grasos de los aceites crudos de <i>P. volubilis</i> | 213 |
| Anexo 16. Capacitación en Laboratorio del Instituto Tecnológico Pesquero del Perú. | 215 |
| Anexo 17. Informe de ensayo del análisis cromatográfico de los aceites crudos de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> del Instituto Tecnológico Pesquero del Perú. | 216 |

ABREVIATURAS

| | |
|--------------------|--|
| ACP | Análisis de componentes principales |
| ADN | ácido desoxirribonucleico |
| AFLP | Polimorfismo en la longitud de fragmentos amplificados |
| Anova | análisis de varianza |
| CIED | Centro de Investigación, Educación y Desarrollo |
| CG | cromatografía de gases |
| CP | Componente principal |
| FID | Detector de ionización de llama |
| FT-IR ATR | Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier de reflectancia atenuada |
| GC/MS-TOF | Espectrometría de masas con tiempo de vuelo |
| IIAP | Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana |
| INIA | Instituto Nacional de Innovación Agraria |
| IPA | albúmina del sachu inchi |
| ITP | Instituto Tecnológico de la Producción, antes Instituto Tecnológico Pesquero |
| ISSR | marcadores moleculares de Inter-microsatelite |
| MINCETUR | Ministerio de Comercio Exterior y Turismo Perú |
| Mr | Masa molecular de biomoléculas |
| MS | Espectrometría de masas |
| MUFA | Ácidos grasos monoinsaturados |
| NTP | Norma Técnica Peruana |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| PUFA | ácidos grasos poliinsaturados |
| PSI | pulgadas/cm ² |
| RMN ¹ H | Resonancia magnética nuclear de protón |
| SFA | Ácidos grasos saturados |
| SIICEX | Sistema Integrado de Información de Comercio Exterior |
| UV-Vis | Ultravioleta visible |
| WHO | Organización Mundial de la Salud |

RESUMEN

El estudio de la diversidad de las semillas y ácidos grasos de 21 muestras recolectadas en las regiones de Amazonas, Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali, de las dos principales especies cultivadas de sacha inchi en la Amazonía peruana, *Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis* revela que su identificación y trazabilidad se puede realizar teniendo en cuenta características morfológicas de las semillas, además de las propiedades fisicoquímicas y perfiles de ácidos grasos de los aceites crudos. Los análisis exploratorios de conglomerados y componentes principales realizados en las semillas de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* revelaron diferencias entre las dos especies. El análisis de conglomerados en *P. volubilis* identificó cinco (05) agrupaciones que representan la diversidad de las semillas en las regiones de Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali. Los análisis de las propiedades fisicoquímicas en los 21 aceites crudos cuyos rendimientos estuvieron entre 29,07 y 42,97 % mostraron según dendrograma y análisis de componentes principales (PCA) cinco (05) agrupaciones de las cuales un (01) conglomerado pertenece a *P. huayllabambana*. Correlaciones significativas se encontraron entre la altitud de la zona productora con los contenidos de aceite crudo obtenido por prensado y grasa total con solvente. Las evaluaciones de ácidos grasos en los 21 aceites crudos de sacha inchi revelaron diferencias en su contenido de ácido palmítico, ácido esteárico, ácido *cis*-vaccénico, ácido linoleico, ácido linolénico, ácido eicosenoico, ácidos grasos saturados, ácidos grasos monoinsaturados, ácidos grasos poliinsaturados y relación omega-3/omega-6. El estudio identificó, según la relación omega-3/omega-6, semillas de sacha inchi con contenidos sobresalientes de omega-3, con relaciones superiores a 1,70 en Amazonas (*P. huayllabambana*), Huánuco y San Martín (*P. volubilis*); relaciones intermedias entre 1,00 y 1,70 para San Martín, Junín, Loreto, y Ucayali, todos correspondientes a *P. volubilis*; y relaciones menores a 1 en la región San Martín (*P. volubilis*). El dendrograma y análisis de componentes principales identificó tres (03) agrupaciones para las 11 variables evaluadas de ácidos grasos y sus parámetros. Estas variables a través del análisis de conglomerados y componentes principales, permitieron identificar la diversidad en los 21 aceites crudos de sacha inchi, cinco (05) agrupaciones, identificando al conglomerado (V) como *P. huayllabambana* de los fundos de Cochamal de la región Amazonas, y los otros pertenecientes a *P. volubilis*. Correlaciones de los ácidos grasos y sus parámetros con la altitud de la zona productora revelaron correlaciones significativas con el ácido palmítico, *cis*-vaccénico, linolénico y la relación omega-3/omega-6, sugiriendo fuertemente que su expresión es afectada por su origen y factores ambientales durante el crecimiento y producción de semilla.

ABSTRACT

The study of seed and fatty acid diversity of 21 samples collected in the Peruvian Amazonian regions of Amazonas, Huanuco, Junin, Loreto, San Martin, and Ucayali, revealed that both identification and traceability can be performed taking into account morphological characteristics of the seeds, selected physicochemical properties, and fatty acid composition of the crude seed oils. The exploratory analysis of clusters and principal components using seeds of *P. huayllabambana* and *P. volubilis* revealed clear differences between the two species. Cluster analysis in *P. volubilis* identified five groups that represent the diversity of seeds from the regions of Huanuco, Junin, Loreto, San Martin, and Ucayali. Analysis of the physicochemical properties in the 21 crude oils, whose yields were between 29.07- 42.97%, showed according to dendrogram and principal component analysis, five clusters of which one of them belongs exclusively to *P. huayllabambana*. Significant correlations were found between the altitude of the production area and the yield of crude oil obtained by cold pressing and total fat extraction with solvent. Fatty acid profiles in the 21 crude sacha inchi oils revealed differences in their content of palmitic, stearic, *cis*-vaccenic, linoleic, linolenic, and eicosenoic acids, total saturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, and omega-3/omega-6 ratios. The study identified, based on omega-3/omega-6 ratios, sacha inchi seeds with outstanding omega-3 contents with ratios greater than 1.70 in Amazonas (*P. huayllabambana*), Huanuco and San Martin (*P. volubilis*). Intermediate relationships between 1.00 and 1.70 were found for San Martin, Junin, Loreto, and Ucayali, all corresponding to *P. volubilis*; and ratios of less than 1.00, in the San Martin region (*P. volubilis*). The dendrogram and principal component analysis identified three clusters for the 11 fatty acid variables evaluated. Cluster and principal component analysis, allowed the assignment of diversity in the 21 crude oils of sacha inchi into five groups, identifying cluster II exclusively as *P. huayllabambana* from the Cochamal farms of the Amazon region, and the remaining ones to *P. volubilis*. Analysis of fatty acid composition and associated parameters with the altitude of the area of origin revealed significant correlations with palmitic, *cis*-vaccenic and linolenic acids, and the omega-3/omega-6 ratios, strongly suggesting that their expression is affected by their geographical origin and the environmental factors present during development and seed production.

INTRODUCCIÓN

Los recursos biológicos de la tierra son fundamentales para la seguridad alimentaria, el desarrollo económico y social de las sociedades humanas. Así, el Perú es uno de los centros de mayor diversidad de recursos biológicos, debido a la variedad de climas y pisos ecológicos que presenta. Numerosas especies se domesticaron y muchas otras se introdujeron a los diferentes hábitats en nuestro país. De estas especies, muchas se encuentran posicionadas en el mercado nacional e internacional y otras como el sachá inchi, oleaginosa nativa de nuestra amazonia, se encuentran en franco crecimiento.

El sachá inchi es una planta trepadora que presenta inflorescencias racemosas, alargadas y monoicas, con frutos capsulares tetra-, penta-, o hexaméricos de color verde que al madurar cambian de color. Dentro de las cápsulas se encuentran las semillas (Arévalo, 1996; Dostert *et al.*, 2009). Algunos estudios de diferenciación morfológica y por marcadores moleculares ISSR de especies del género *Plukenetia* de la Amazonía peruana, reportaron una alta variabilidad genética y morfológica, describiendo a las especies *P. volubilis* L., *P. brachybotrya* Müll. Arg., *P. lorentensis* Ule, *P. polyadenia* Müll. Arg., y finalmente a *P. huayllabambana* Bussmann, C. Téllez & A. Glenn (Bussmann, Téllez, y Glenn, 2009; Rodríguez *et al.*, 2010).

El cultivo de *P. volubilis* presenta una amplia adaptación a diferentes condiciones geográficas medioambientales en la selva alta y baja de nuestro país. Su presencia se reportó en regiones y localidades de Amazonas, Huánuco, Junín, Pasco, San Martín, Pucallpa y sus diferentes cuencas, así como del Putumayo, alrededores de Iquitos, Madre de Dios y Cusco (Arévalo, 1996; Arfini y Antonioli, 2013; Dostert *et al.*, 2009; D. Flores, 2010; Solis Leyva, 2018), mientras que *P. huayllabambana* para la región Amazonas (Grandéz Muñoz y Coronado Chingo, 2015). En otros países la distribución de *P. volubilis* es desde las Antillas menores, Surinam y la cuenca amazónica en Venezuela, Colombia hasta Ecuador, incluyendo Bolivia y Brasil (Arévalo, 1996; Dostert *et al.*, 2009; Solis Leyva, 2018). Sin embargo, en la actualidad existen muchos problemas asociados a su cultivo, debido a que no se dispone de variedades y ecotipos comerciales.

En relación a la composición de las semillas de sachá inchi, en la actualidad se dispone de estudios relacionados con proteínas, lípidos, composición nutricional, metabolitos secundarios, ácidos grasos saturados e insaturados, así como otros compuestos bioactivos presentes en los aceites crudos de *P. volubilis* y *P. huayllabambana* (Chasquibol *et al.*, 2014; Chirinos *et al.*, 2013; Hamaker *et al.*, 1992; Ruiz *et al.*, 2013). Debido a la importancia de los ácidos grasos esenciales presentes en los aceites crudos, Ramos Escudero (2014) realizó un estudio con 27 aceites comerciales de *P. volubilis* procedentes del Perú; y Zuloeta Arias (2014) investigó 16 cultivares de *P. volubilis* del INIA Perú. Con respecto a *P. huayllabambana*, Chasquibol *et al.* (2014) evaluaron ácidos grasos y propiedades fisicoquímicas de aceites procedentes de la región Amazonas. Hasta el momento no se han reportado estudios de diversidad del sachá inchi basados en propiedades fisicoquímicas y perfiles de ácidos grasos.

A pesar de los esfuerzos realizados por diferentes investigadores e instituciones en el sachá inchi, estos todavía son insuficientes debido a que no se dispone de información a nivel de: i) material genético promisorio y variedades comerciales para su cultivo y conocimiento de su diversidad, incluyendo efectos ambientales, manejo del cultivo, plagas y enfermedades, y las labores poscosecha, en *P. huayllabambana* y *P. volubilis*; ii) conocimiento de la diversidad de propiedades fisicoquímicas de los aceites crudos, ácidos grasos saturados e insaturados, minerales, aminoácidos, proteínas y metabolitos secundarios de alto valor comercial; iii) productos de alto valor agregado elaborados a partir del aceite, que es el principal producto de alto valor en el mercado nacional e internacional, así como de productos de la torta y coproductos de las cáscaras, destinados a la industria alimentaria, cosmética, farmacéutica, entre otras; iv) conocimiento de estudios preclínicos y clínicos validados del aceite de sachá inchi, que si están disponibles en la literatura internacional para aceites de similares características; y v) políticas nacionales que implementen proyectos y estudios que promuevan su puesta en valor en el mercado, biocomercio, inclusión dentro de programas de seguridad alimentaria nacional, y su sostenibilidad en campos de productores y comunidades de nuestra Amazonía.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la diversidad de semillas y ácidos grasos de *Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis*, sachá inchi en la Amazonía peruana? ¿Cómo se correlacionan las características morfológicas en las semillas; las propiedades fisicoquímicas y los perfiles de ácidos grasos en los aceites crudos de las semillas de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* de las regiones de Amazonas, San Martín, Loreto, Huánuco, Junín y Ucayali?

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la diversidad morfológica y los perfiles de ácidos grasos de las semillas de *Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis* (sachá inchi) de la Amazonía peruana.

Objetivos específicos

1. Evaluar las características morfológicas de diámetro, longitud, espesor, peso de semilla y peso de cáscara, de las semillas de *Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis* recolectadas en las regiones de Amazonas, San Martín, Loreto, Huanuco, Junín y Ucayali.
2. Determinar las propiedades fisicoquímicas de los aceites crudos de las semillas de *Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis* recolectadas en las regiones de Amazonas, San Martín, Loreto, Huanuco, Junín y Ucayali.
3. Determinar los contenidos de ácidos grasos saturados e insaturados de las semillas de *Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis* recolectadas en las regiones de Amazonas, San Martín, Loreto, Huanuco, Junín y Ucayali.

1. MARCO TEÓRICO



1.1 Botánica

La familia Euphorbiaceae, comprende árboles, arbustos y hierbas, raramente leñosas o lianas herbáceas, monoicas o dioicas de importancia ornamental, medicinal, alimentaría e industrial, que a menudo presentan látex claros, blancos o coloreados y frutos capsulares. Abarca alrededor de 322 géneros con unas 8910 especies que se distribuyen principalmente en zonas tropicales y subtropicales de todo el mundo (Arévalo, 1996; Mwine y Van Damme, 2011). En el Perú la familia Euphorbiaceae presenta 61 géneros y 323 especies como árboles y arbustos, que ocupan varias regiones entre las que se encuentran los Bosques Húmedos Amazónicos, Mesoandinos y Bosques muy Húmedos montañosos entre los 110 y 3200 m de altitud (Brako y Zarucchi, 1993; Ulloa, Zarucchi, y León, 2004).

La tribu plukenetieae (Benth.) Hutch. (Euphorbiaceae, Acalyphoideae) es un linaje pantropical diverso con aproximadamente 17 géneros y 350 especies que se caracterizan por ser plantas trepadoras, lianas o raramente hierbas perennes o rastreras (Arévalo, 1996; Cardinal-McTeague y Gillespie, 2016; Dostert *et al.*, 2009; Gillespie, 2007). El género tiene una distribución pantropical de los cuales 12 se encuentran en Sudamérica y Centroamérica y los restantes en el Viejo Mundo (Dostert *et al.*, 2009).

Plukenetia volubilis, es una planta trepadora y monoica, sus hojas son opuestas o simples, la lámina foliar es ovoido-triangular entre 6—13(—20) cm de largo y 4—10(—12) cm de ancho, con base truncada o cordada; el margen de las hojas es crenada o finamente aserrada; en la cara adaxial se presenta una protuberancia glandular en el ápice del pecíolo (Arévalo, 1996; Gillespie, 2007; Macbride, 1951). Las inflorescencias son racemosas, alargadas y monoicas (bisexual) de 5—18 cm de largo; las flores pistiladas se encuentran solitarias en los nudos basales, la columna estilar es parcial o totalmente connada de 15—30 mm de largo, las flores masculinas subglobosas, numerosas y agrupadas en los nudos distales; estambres de 16—30 con filamentos conspicuos, cónicos de 0,5 mm de largo (Arévalo, 1996; Dostert *et al.*, 2009). Los frutos son cápsulas tetra-

penta- o hexámeros, glabras de 2,5—6(—7) cm de diámetro de color verde que cuando maduran se ponen de un color marrón oscuro; dentro de las cápsulas se encuentran las semillas que son lenticulares, comprimidas lateralmente y de color marrón con manchas irregulares más oscuras de 1,5—2 x 0,7—0,8 cm (Arévalo, 1996; Dostert *et al.*, 2009).

La taxonomía de las especies según Brack Egg (1999); Bussmann *et al.* (2009) es la siguiente:

| | |
|---------------|--|
| Reino: | Vegetal |
| División: | Spermatophyta |
| Sub división: | Angiospermae |
| Clase: | Dicotiledónea |
| Orden: | Euphorbiales |
| Familia: | Euphorbiaceae |
| Género: | <i>Plukenetia</i> |
| Especie: | <i>Plukenetia volubilis</i> Linneo <i>Plukenetia huayllabambana</i> R. W. Bussmann, C. Téllez & A. Glenn. |
| Nombre común: | Sacha inchi, sacha maní, maní del inca, inca peanut, sacha inchic, maní del monte, duce, amauebe, amui-o (Huitoto), sacha yachi, sacha yuchi, sacha yuchiqui, yuchi (Cashibo), sampannakii, suwaa. |

La distribución de la especie *P. volubilis*, es desde las Antillas menores, Surinam y el noroeste de la cuenca amazónica en Venezuela y Colombia hasta Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil (Dostert *et al.*, 2009). Para el caso del Perú se reportó su presencia en Madre de Dios, Huánuco, Oxapampa, San Martín, Rodríguez de Mendoza, la Cuenca del Ucayali (Pucallpa, Contamana y Requena) y en el Putumayo y alrededores de Iquitos y Caballococha (Arévalo, 1996; Dostert *et al.*, 2009). Con respecto a *P. huayllabambana* según Bussmann *et al.* (2009) la

especie es posiblemente endémica para la región Amazonas entre los 1300 – 2200 m.s.n.m., su presencia se reporta en los distritos de Chirimoto, San Nicolas, Longar, Cochamal, Milpuc, Huambo, Mariscal Benavidez, Yambrasbamba y Leymebamba (Los Chilchos).

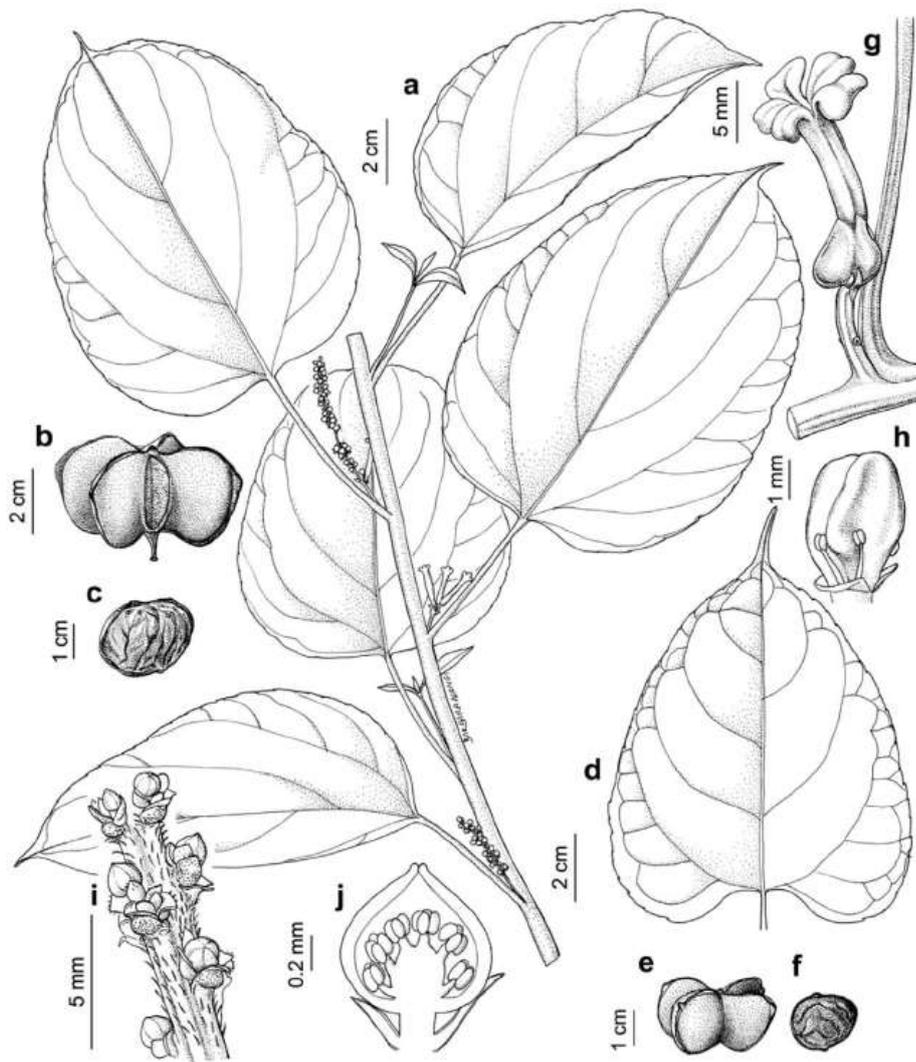


Figura 1. *Plukenetia huayllabambana* sp. nov.: (a) hábito, (b) fruto maduro, (c) semilla.

Plukenetia volubilis para comparación: (d) hoja, (e) fruto, (f) semilla. *Plukenetia Huayllabambana*: (g) flores del pistilo, (h) flor estaminada, (i) parte de la inflorescencia, (j) corte sección de flor estaminada.

Fuente: Bussmann, Téllez, y Glenn (2009).

Rodríguez *et al.* (2010) en el estudio “Diferenciación morfológica y por ISSR (por sus siglas en inglés, Inter simple sequence repeats) de especies del género *Plukenetia* (Euphorbiaceae) de la Amazonía peruana: propuesta de una nueva especie” indican una alta variabilidad genética, morfológica y fitoquímica que generó la expansión del cultivo. Según los autores hasta el 2008 se describieron cuatro especies en base a caracteres morfológicos: *P. volubilis* L., *P. brachybotrya* Müll. Arg., *P. lorentensis* Ule, y *P. polyadenia* Müll. Arg. A estas especies se añade otra especie de la región Amazonas, *P. huayllabambana* Bussmann, C. Téllez y A. Glenn, que se muestra en la Figura 1 (Bussmann *et al.*, 2009).

El estudio plantea la presencia de un morfotipo (*P. volubilis*) para la zona del Cuzco. La evaluación de los caracteres morfológicos de las hojas, tallos, semilla y posición de glándulas basilaminares, permitieron identificar las especies *P. brachybotrya*, *P. lorentensis*, *P. polyadenia*, *P. volubilis* y *P. huayllabambana* descritos por la literatura, y al morfotipo de *P. volubilis* del Cuzco. El análisis del ADN con marcadores moleculares ISSR, el dendrograma y sus distancias genéticas, corroboraron la identificación taxonómica, ver Figura 2 (Rodríguez *et al.*, 2010).

Los estudios moleculares de la diversidad genética de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) se realizaron con marcadores moleculares de polimorfismo en la longitud de los fragmentos amplificados, AFLP (por sus siglas en inglés, *Amplified Fragment Length Polymorphism*) en 37 accesiones de la colección del banco de germoplasma de Embrapa en Brasil. Los marcadores fueron identificados por cuatro combinaciones de iniciadores (primers), estos primers revelaron 191 loci polimórficos, el dendrograma mostró alta diversidad genética y relaciones entre la estructura geográfica de las accesiones con su origen (Rodrigues *et al.*, 2013).

| Caracteres observados | Agrupaciones <i>Plukenetia</i> estudiadas | | | | | |
|---|--|---|------------------------------------|--|--|--|
| | <i>P. loretensis</i> | <i>P. brachybotrya</i> | <i>P. polyadenia</i> | <i>P. volubilis</i> (San Martín) | <i>P. volubilis</i> (Cuzco) | <i>P. huayllabambana</i> |
| Glándulas foliares basilaminares | Glándulas basilaminares en uno o más pares próximas al peciolo | Glándulas basilaminares numerosas próximas al peciolo | Un único promontorio glandular | Par de glándulas basilaminares próximas al peciolo | Par de glándulas basilaminares relativamente distantes del peciolo | Par de glándulas basilaminares relativamente distantes del peciolo |
| Borde y base de la hoja | Borde crenado y base caudada | Borde liso y base caudada | Borde liso y base acuminada | Borde crenado y base caudada | Borde aserrado y base caudada | Borde crenado y base caudada |
| Base del tallo | Redondeado | Redondeado | Aplanado | Redondeado | Redondeado | Hexagonal |
| Fruto (cápsulas) | Cada carpelo con | Cada carpelo con un tubérculo redondeado | Cuadrangular con ángulos quillados | Cuadrangular con ángulos quillados | Cuadrangular con ángulos quillados | Cuadrangular con ángulos quillados |
| Tamaño cápsula | Diámetro aprox. 1,15 cm | Diámetro aprox. 1,15 cm | Diámetro aprox. de 6 a 11 cm | Diámetro aprox. de 5 a 6 cm | Diámetro aprox. de 5 a 6 cm | Diámetro aprox. de 6 a 8 cm |
| Superficie de la semilla | Lisa | Lisa | Lisa | Lisa | Rugosa | Rugosa |
| Forma de la semilla | Redondeada | Redondeada | Redondeada | Aplanada | Ligeramente aplanada | Ligeramente aplanada |
| Tamaño semilla | Media= 0,51 x 0,42 cm | Media= 0,41 x 0,39 cm | Media= 2,88 x 2,6 cm | Media= 2,01 x 0,85 cm | Media= 2,01 x 1,38 cm | Media= 2,38 x 1,66 cm |



Figura 2. Características morfológicas de seis especies del género *Plukenetia* de la Amazonía peruana.

A = *P. brachybotrya*; B = *P. loretensis*; C = *P. volubilis* (San Martín); D = *P. volubilis* (Cuzco); E = *P. huayllabambana*; F = *P. polyadenia*.

Fuente: Rodríguez et al. (2010).

El estudio morfológico y molecular realizado por Krivankova *et al.* (2012) en plantas de *P. volubilis* de Pucallpa y sus alrededores (Antonio Raymondi 1, Antonio Raymondi 2, Antonio Raymondi 3, Tres de diciembre y Pimental 1), mostró diferencias en sus características fenotípicas y genotípicas. El análisis de variabilidad genética con 12 iniciadores (18 primers) de Inter-Secuencias Simples Repetitivas, ISSR, muestra un dendrograma de 6 clústers con posibles aplicaciones en el estudio de poblaciones de *P. volubilis*, los que se observaron en el estudio de Rodríguez *et al.* (2010).

El análisis citogenético de *P. volubilis* presentó 11 diferentes números de cromosomas, que van desde $2n= 50$ a $2n= 86$. En el estudio se encontraron diferentes números en los extremos de las raíces y diferentes células de la raíz. Entre las células, 2,78 % de células tuvieron el valor más bajo de cromosomas de $2n= 50$, y el 1,39 % de células tuvieron el valor más alto de $2n= 86$. El número de cromosomas más común fue $2n= 58$ y cerca del 27,79 % de las células tuvieron esta cantidad de cromosomas pequeños y menores que $2 \mu\text{m}$; estos resultados muestran los niveles de poliploidia en la especie (Cai, Zhang, y Jian, 2013).

Para conocer el desarrollo de las semillas en *P. volubilis* y la expresión de sus componentes, Wang, Xu, Wang, y Liu (2012) hicieron un estudio transcricional *de novo*. La información obtenida del estudio puede ser útil para conocer los mecanismos moleculares de acumulación de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) biosintetizados en las semillas de sachá inchi. Los unigenes identificados fueron asignados a tres categorías: a) procesos biológicos, b) funciones moleculares, y c) componentes celulares, ver Figura 3.

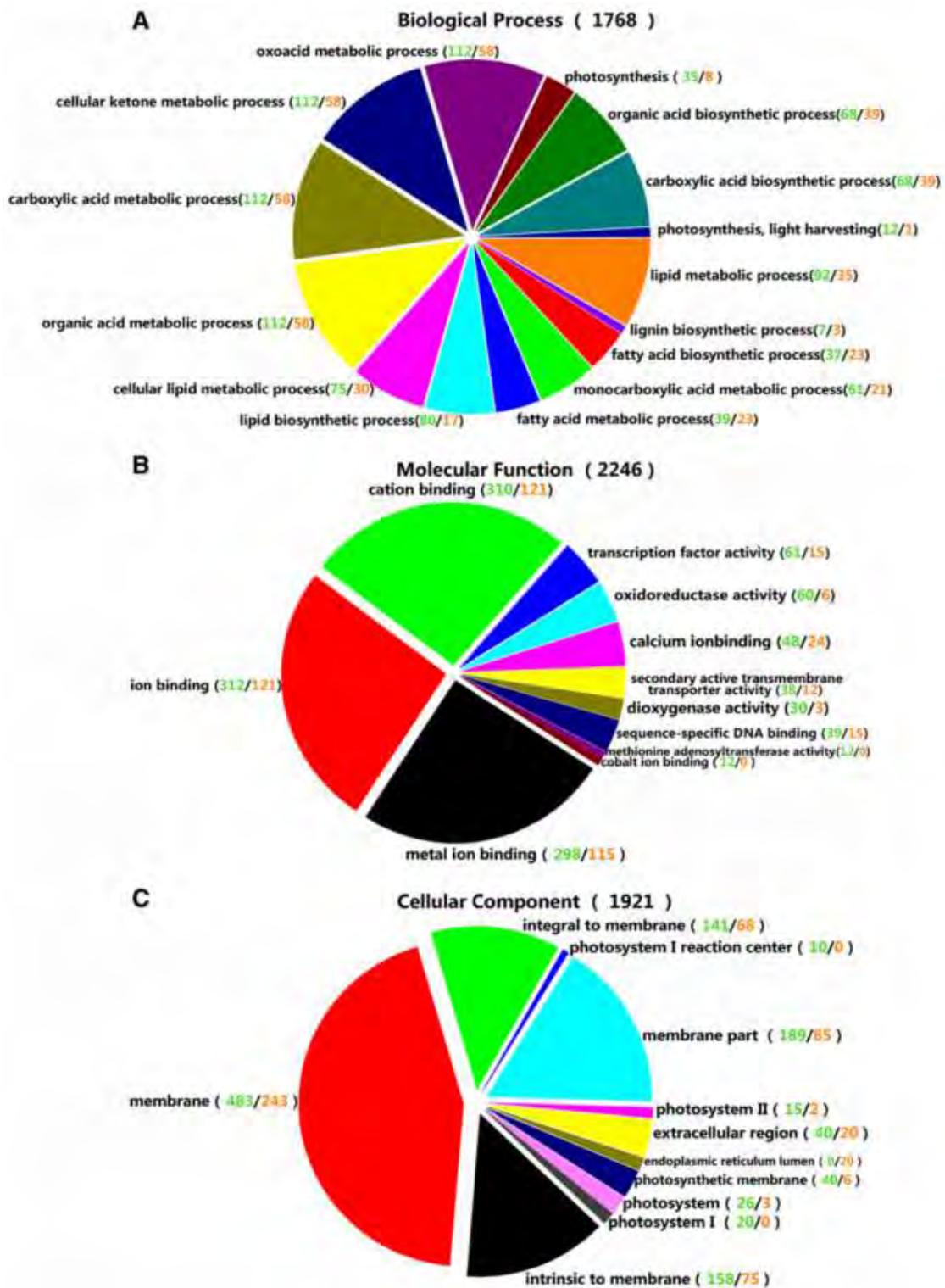


Figura 3. Análisis de enriquecimiento ontológico-funcional de unigenes diferencialmente expresados en el desarrollo de la semilla.

Los unigenes pertenecen a 3 categorías: procesos biológicos (A), funciones moleculares (B) y componentes celulares (C). Los números indican el número de unigenes que mostraron significantes cambios transcriptocionales en el estado inicial (S1) del desarrollo de la semilla (verde) y la acumulación de aceite (S2) en la semilla (rojo).

Fuente: Wang et al. (2012).

Cardinal-McTeague y Gillespie (2016) en el estudio filogenético molecular y evolutivo de la tribu Plukenetieae, Euphorbiaceae, muestran las relaciones que existen entre las diferentes especies de Plukenetia. Los objetivos del estudio se asociaron con dilucidar las relaciones de las subtribus y del género, aclarar circunscripciones genéricas y recomendar cambios taxonómicos de la clasificación filogenética basada en evidencia molecular y morfológica. El dendrograma obtenido de las relaciones entre las especies de *Plukenetia* se describe en la Figura 4. En el estudio no se consideró *P. huayllabambana*.

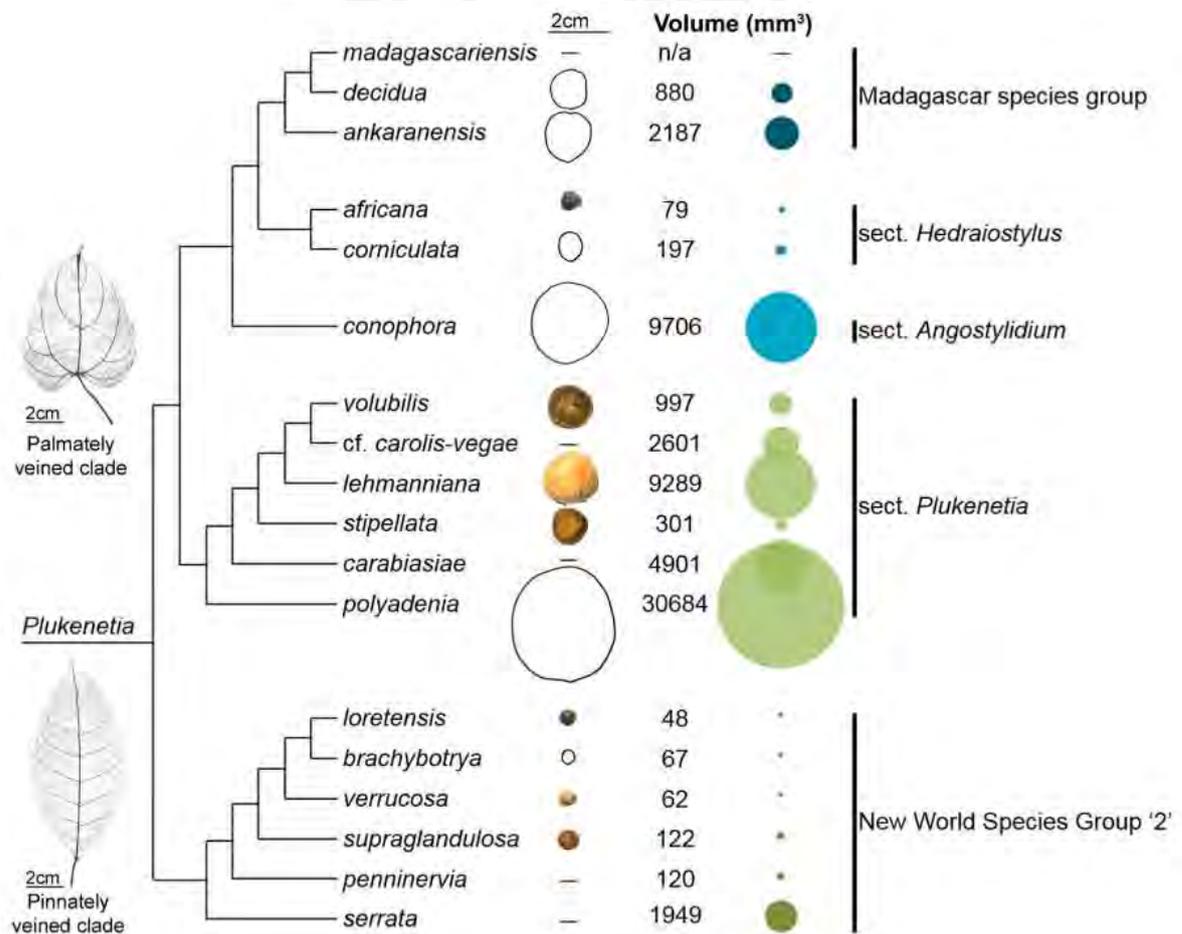


Figura 4. Dendrograma que describe las relaciones entre las especies de *Plukenetia*.
Fuente: Cardinal-McTeague y Gillespie (2016), Kodahl (2020).

1.2 Cultivo

P. volubilis presenta una amplia adaptación a diferentes condiciones medioambientales de la selva alta y baja de nuestro país (Arévalo, 1996; Arfini y Antonioli, 2013; Dostert *et al.*, 2009; Peña Guerra *et al.*, 2008; Solis Leyva, 2018). En el caso de *P. huayllabambana* la información del cultivo es escasa (Iparraguirre Chipana, 2019).

1.2.1 Características ecológicas del cultivo

Temperatura: *P. volubilis* crece entre los 10 °C y los 36 °C, las temperaturas altas ocasionan una mayor caída de flores y producción de frutos pequeños (Arévalo, 1996).

Altitud: *P. volubilis* se desarrolla entre los 100 y los 2000 m.s.n.m. (Arévalo, 1996; Peña Guerra *et al.*, 2008). *P. huayllabambana* entre los 1300 y 2200 m.s.n.m. (Bussmann *et al.*, 2009)

Luz: Requiere abundante luz para su desarrollo vegetativo.

Agua: El riego es indispensable en los meses secos, los periodos prolongados de sequías causan un crecimiento lento y dificultoso; el exceso de agua ocasiona daños y enfermedades en el cultivo de *P. volubilis* (Arévalo, 1996).

Suelo: El crecimiento óptimo de *P. volubilis* se realiza sobre suelos francos arenosos y suelos arcillosos con características ácidas hasta pH 5,5 y elevada concentración de aluminio (Arévalo, 1996; Pérez Meza, 2011).

Drenaje: Requiere terrenos con buen drenaje, pendiente para el cultivo de *P. volubilis* (Arévalo, 1996).

Siembra: Condicionado al régimen pluviométrico. En San Martín *P. volubilis* se inicia con las lluvias, meses de diciembre y marzo, mientras que en almácigo se realiza entre noviembre y febrero (Arévalo, 1996).

1.2.2 Cultivo

Preparación del terreno: Según la ubicación geográfica, topografía y características de vegetación, la preparación del terreno para *P. volubilis* se puede establecer en bosques secundarios “purmas” después de cultivos de

subsistencia (maíz, algodón, yuca); y puede ser tradicional (rozo, tumba, picacheo y junta) o mecanizado (arado, rastra y surcado), (Arévalo, 1996).

Diseño y densidad del cultivo: Se inicia con el trazado del terreno. En suelos que presentan pendientes se recomienda el uso de curvas de nivel. El sistema de tutoraje en espaldera emplea distanciamientos de 3 x 3 m entre plantas que puede reducirse hasta 2 m entre hileras, alcanzando densidades entre 1111 y 1333 plantas/ha en *P. volubilis* (Arévalo, 1996; Peña Guerra *et al.*, 2008).

Tutoraje: *P. volubilis* es un arbusto trepador, se recomienda el uso de tutores muertos o en espalderas para suelos planos, estos son postes de 3 a 3,5 m de altura y 0,15 m de espesor que se entierran a profundidades de 60 a 70 cm. El sistema emplea 3 hileras de alambre galvanizado, en caso de no disponer de tutores muertos se pueden usar tutores vivos como amasisa (*Eritrina sp.*) (Arévalo, 1996). En el caso de *P. huayllabambana* se utilizan tutores de huayruro (*Eritrina sp.*) como tutores vivos (Iparraguirre Chipana, 2019).

Propagación: La propagación puede ser sexual (Luo *et al.*, 2020) o asexual en *P. volubilis* (Díaz Tangoa, 2011). Las modalidades pueden ser de siembra directa en hoyos o indirecta en vivero donde se almacigan las semillas en camas almacigueras o bolsas, realizándose el posterior trasplante a campo definitivo a los 60 días de iniciado el almacigado, en hoyos excavados. Las aplicaciones adicionales con fitohormonas se realizan para promover el enraizamiento en los almácigos (Arévalo, 1996; Cachique *et al.*, 2011; Cachique Huansi *et al.*, 2010; La Rosa y Quijada, 2013; Peña Guerra *et al.*, 2008; Ruiz-Solsol y Mesén, 2010).

1.2.3 Labores culturales

Malezas: El control de malezas en *P. volubilis* es importante y se realiza con herbicidas o prácticas de control manual (Arévalo, 1996).

Abonamiento y fertilización: Se recomiendan aplicaciones de fertilizantes (superfosfato triple de calcio, urea y KCl) en *P. volubilis* como prácticas de mantenimiento, abonamientos con humus de lombriz y aplicaciones foliares de abonos, hormonas y microorganismos, para el incremento de rendimiento (Arévalo, 1996; Balta Crisologo, 2013; Pezo, Márquez-Dávila, y Solis, 2019; Wiriya *et al.*, 2020)

Plagas y enfermedades: Son estacionales y dependen de su fenología; en *P. volubilis* se encuentran larvas de *Grillotalpa sp.* atacando plántulas, nematodos del nudo (*Melodogyne spp.*) y del género *Apelenchus*. El nematodo del nudo es el que presenta mayor importancia económica, y su control se realiza al momento de la siembra con químicos, estiércol o humus de lombriz (Arévalo, 1996; Campos Leandro, 2012; Castro Sánchez, 2013). El control de plagas artesanal con compost, bioles, caldo sulfocálcico, caldo de cenizas con jabón, azufre y cal se utilizan para *P. huayllabambana* en Amazonas (Iparraguirre Chipana, 2019).

Riego: Durante el cultivo de *P. volubilis* en épocas de verano cada 15 o 20 días (Arévalo, 1996).

Podas: Se realizan para incrementar la producción y facilitar la cosecha del cultivo de *P. volubilis* con la formación de la arquitectura deseable para la planta (Arévalo, 1996). En *P. huayllabambana* existen problemas de implementación de podas de formación y la cosecha en parcelas de productores en Amazonas (Iparraguirre Chipana, 2019).

Cultivos de cobertura: En el cultivo de *P. volubilis* es una práctica útil de conservación del suelo y se realizan para controlar la erosión, malezas, plagas y enfermedades, así como para proporcionar nutrientes (Arévalo, 1996).

Cultivos asociados: *P. volubilis* se asocia preferentemente con cultivos de ciclo corto y porte pequeño como el maní, algodón, frijol, maíz y yuca (Arévalo, 1996).

1.2.4 Cosecha y postcosecha

La cosecha se realiza cuando los frutos o cápsulas se tornan de colores marrón oscuro o negro cenizo, se recolectan las cápsulas de *P. volubilis* manualmente cada 15 a 30 días, en caso contrario se producen pérdidas por dehiscencia y posterior ataque de plagas. Las cosechas se estabilizan a partir del segundo año. El rendimiento promedio en grano seco del 1er al 3er año se encuentra entre los 0,7 y 2,2 t/ha (Arévalo, 1996). Por su parte Solis Leyva (2018), en el IAP encontró rendimientos entre 1574,5 y 2578,7 kg/ha para líneas autofecundadas y para los híbridos T1, T10, T12, T17, T22 y T27 rendimientos entre 2399,1 y 3034,9 kg/ha de sacha inchi. En el caso de la población mejorada Shica encontró

rendimientos de 1500, 2500 y 2650 kg/ha respectivamente para la población original, el primer y segundo ciclo de producción. Para la población Mishquiyacu reportó rendimientos de 1911, 2866 y 2886 kg/ha respectivamente para la población original, el primer y segundo ciclo. Los frutos cosechados se proceden a secar naturalmente bajo sombra y después se trillan para liberar las semillas de las capsulas, los rendimientos promedio de semilla seca se encuentra entre los 52 y 55 %, y entre los 48 y 45 % para la cáscara. Posteriormente, las semillas se almacenan en ambientes secos y las almendras se obtienen en planta industrial con maquinas descascaradoras o de manera mecánica con prensas mecánicas (Arévalo, 1996; Saboya Chávez, 2015; Solis Leyva, 2018).



1.3 Química

1.3.1 Metabolitos primarios

Proteínas: Hamaker *et al.* (1992), en el estudio de aminoácidos y ácidos grasos de *P. volubilis*, encontraron valores de proteína total cercanos a la soya (28 %), inferiores al algodón (32 %), y superiores al maní y girasol; el perfil de aminoácidos identificados en su investigación muestra contenidos de aminoácidos esenciales superiores al recomendado por FAO/WHO, concluyendo que las semillas de sachá inchi son una fuente importante de proteínas balanceadas que pueden ser incluidas dentro de la dieta andina. Hurtado Ordoñez (2013), en un estudio de la torta de sachá inchi encontró 45,3 % de aminoácidos esenciales en la fracción proteica. Ruiz *et al.* (2013), en *P. volubilis* y *P. huayllabambana* encontraron respectivamente valores de 29,6 y 24,5 % de proteínas, los aminoácidos en ambas especies mostraron según los investigadores valores adecuados de acuerdo con FAO/OMS a excepción de lisina y leucina. Westmoreland (2001), en su estudio sobre aplicación de ELISA en la determinación de proteínas de la almendra de sachá inchi, identificó albúmina y la denominó Inca Peanut Albumin (IPA), proteína de almacenamiento constituida por 2 polipéptidos glicosidados de masa molecular de 32000 y 34000 Mr, representando alrededor del 25 % del total de la harina desengrasada de las almendras. IPA es una proteína básica con pI cercanos a 8,3 con concentraciones limitadas en fenilalanina, recomendable en pacientes incapaces de metabolizar este aminoácido (fenilcetonuria, PKU por sus siglas en inglés). López, Santa Cruz, y Gutiérrez (2016), en el estudio del perfil de proteínas en *P. volubilis* y *P. huayllabambana* encontraron más globulinas en *P. volubilis* mientras que las albuminas fueron superiores en *P. huayllabambana*. Hanssen y Schmitz-Hübsch (2011), por su parte mencionan contenidos superiores de proteína con respecto al olivo, soya, maíz, maní, girasol y palma (33 % aproximadamente). La torta presenta solubilidades del 7,96 %, alta voluminosidad y baja capacidad de absorción de agua (Alcívar *et al.*, 2020), con valores significativos de proteínas de 57,8 % en base húmeda y 62 % en base seca (Vásquez-Osorio *et al.*, 2017).

Lípidos: La materia grasa de las semillas y almendras de sachá inchi se obtiene por prensado en frío, extracción con solvente, extracción con fluido supercrítico y extracción asistida con enzimas (Gutiérrez Suquillo *et al.*, 2017). La evaluación de los ácidos grasos de los aceites de sachá inchi, se realiza principalmente según técnicas de cromatografía gaseosa con detector de ionización de llama (GC-FID), otros detectores utilizados en su cuantificación son el detector de espectrometría de masas (GC-MS), detector de espectrometría de masas con tiempo de vuelo (GC-MS-TOF), espectroscopia de resonancia magnética nuclear de protón (^1H NMR), espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FT-IR). Los ácidos grasos palmítico, esteárico, oleico, linoleico y linolénico son los componentes mayoritarios de las semillas de sachá inchi (*P. volubilis* y *P. huayllabambana*), ver Figura 5 y Tabla 1.

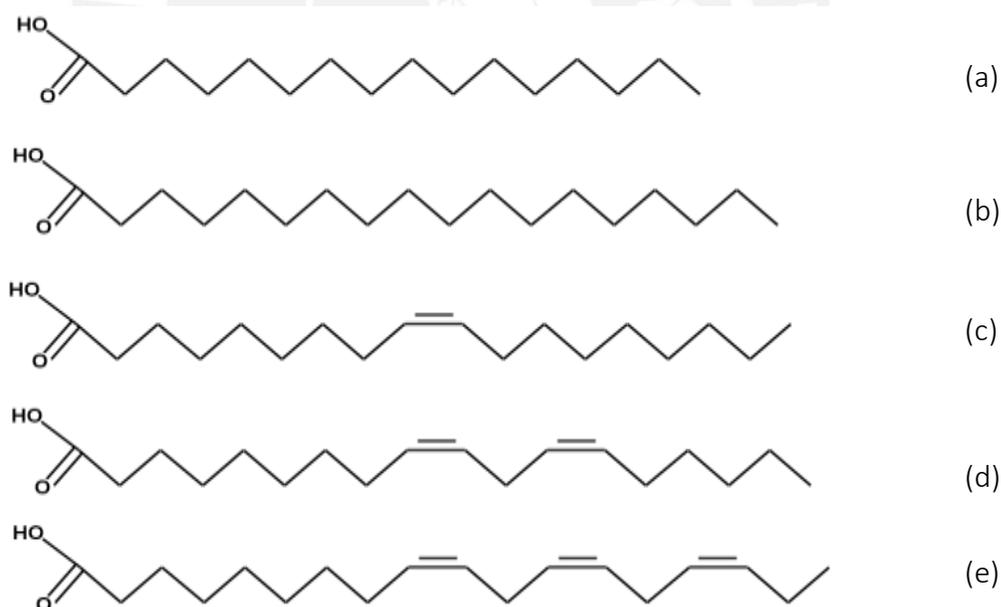


Figura 5. Principales ácidos grasos de los aceites de sachá inchi.

(a) Ácido hexanoico, palmítico; (b) ácido octadecanoico, esteárico; (c) ácido 9-octadecenoico, oleico; (d) ácido 9, 12-octadecadienoico, linoleico; (e) ácido 9, 12, 15- octadecatrienoico, linolénico.

Tabla 1. Ácidos grasos saturados e insaturados en los aceites de las semillas de *P. volubilis* y *P. huayllabambana*.

| Ácidos grasos | 16:0 | 18:0 | 18:1 | 18:2 | 18:3 |
|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Hamaker <i>et al.</i> , 1992 | 4,5 | 3,2 | 9,6 | 36,8 | 45,2 |
| Guillén <i>et al.</i> , 2003 | 7,2-7,5 ^b | | 6,1-7,1 ^b | 38,5-39,3 ^b | 46,8-47,6 ^b |
| Bondioli, Della Bella y Rettke, 2006 | 3,79 | 2,65 | 8,77 | 33,67 | 50,73 |
| Merino-Zegarra <i>et al.</i> , 2008 | 4,74-5,69 | 3,05-3,8 | 9,66-12,40 | 34,41-41,09 | 39,82-47,91 |
| Follegatti-Romero, Piantino, Grimaldi, y Cabral, 2009 | 4,24 | 2,50 | 8,41 | 34,08 | 50,41 |
| Gorriti <i>et al.</i> , 2010 | 3,95 | 2,97 | 9,01 | 36,19 | 47,06 |
| Castaño, Valencia G., Murillo P., Mendez, y Joli, 2012 | 3,6 | 2,9 | 8,5 | 33,90 | 50,20 |
| Maurer, Hatta-Sakoda, Pascual-Chagman, y Rodriguez-Saona, 2012 | 4,67; 4,8 ^c | 3,5; 3,4 ^c | 10,7; 10,1 ^c | 33,5; 37,7 ^c | 44; 42,4 ^c |
| Chirinos <i>et al.</i> , 2013 ^e | 1,6-2,1 | 1,1-1,3 | 3,5-4,7 | 12,4-14,1 | 12,8-16,0 |
| Hurtado Ordoñez, 2013 | 4,20 | 2,89 | 8,45 | 35,3 | 47,7 |
| Muñoz Jáuregui <i>et al.</i> , 2013 | 5,16-5,36 ^a | 2,17-2,41 ^a | 9,33-9,8 ^a | 28,09-28,47 ^a | 52,67-54,00 ^a |
| Ruiz <i>et al.</i> , 2013 | 3,8; 5,3 ^a | 2,3; 1,9 ^a | 8,7; 9,6 ^a | 34,6; 29,3 ^a | 50,6; 53,9 ^a |
| Chasquibol <i>et al.</i> , 2014 | 4,3-5,7 ^a | 1,3-2,1 ^a | 6,8-10,4 ^a | 24,5-27,3 ^a | 55,5-60,4 ^a |
| Ramos Escudero, 2014 | 3,74-11,02 | 2,63-4,26 | 10,01-23,98 | 21,26-53,59 | 10,06-55,10 |
| Zuloeta Arias, 2014 ^e | 1,6-2,1 | 1,1-1,3 | 3,5-4,7 | 12,4-14,1 | 12,8-16,0 |
| Cisneros, Paredes, Arana, y Cisneros-Zevallos, 2014 | 4,7 | 3,3 | 8,9 | 34,1 | 48,2 |
| Chirinos, Pedreschi, Domínguez, y Campos, 2015 | 6,30; 6,61 ^a | 3,81; 3,75 ^a | 9,47; 9,38 ^a | 32,66; 26,67 ^a | 45,62; 51,34 ^a |
| Zorrilla Salmón, 2015 | 2,5-3,8 ^a | 1,9-3,0 ^a | 4,8-6,7 ^a | 12,0-17,3 ^a | 23,19-34,2 ^a |
| Zanqui <i>et al.</i> , 2016 | 3,97-4,03 | 2,78-2,88 | 8,06-8,14 | 33,42-33,64 | 44,0-44,34 |
| Ayala Martínez, 2016 | 4,26-5,5 | 3,0-3,84 | 9,81-11,74 | 33,56-36,72 | 41,68-47,13 |
| Gutiérrez <i>et al.</i> , 2017 ^d | 4,41; 4,57 ^d | 2,68; 2,70 ^d | 9,66; 9,51 ^d | 35,94; 35,75 ^d | 47,33; 47,47 ^d |
| Nguyen <i>et al.</i> , 2020 | 3,20 | 2,21 | 6,93 | 36,04 | 51,62 |

Ácidos grasos mayoritarios en los aceites de sachá inchi. Letra ^a *P. huayllabambana*, ^b ¹H NMR, ^c FT-IR ATR, ^d 8 kGy, ^e g/100g semilla sachá inchi.

Otros componentes minoritarios de ácidos grasos reportados en niveles de trazas en las semillas de sacha inchi fueron ácido palmitoleico C16:1 (Ayala Martínez, 2016; Bondioli *et al.*, 2006; Chasquibol *et al.*, 2014; Muñoz Jauregui *et al.*, 2013), ácido margárico C17:0 (Hurtado Ordoñez, 2013), ácido vaccénico C18:1 n-11 (Gorriti *et al.*, 2010; Chirinos *et al.*, 2013; Chasquibol *et al.*, 2014; Zanqui *et al.*, 2016), ácido eicosanoico C20:0 (Bondioli *et al.*, 2006; Chasquibol *et al.*, 2014; Gorriti *et al.*, 2010; Hurtado Ordoñez, 2013; Muñoz Jauregui *et al.*, 2013), ácido eicosenoico C20:1 (Bondioli *et al.*, 2006; Castaño *et al.*, 2012; Follegatti-Romero *et al.*, 2009; Hurtado Ordoñez, 2013; Muñoz Jáuregui *et al.*, 2013), ácido behénico C22:0 (Castaño *et al.*, 2012).

Con respecto a otras especies que presentan ácidos grasos saturados e insaturados, el aceite de sacha inchi presenta cantidades significativas de ácidos grasos esenciales, ver Figura 6.

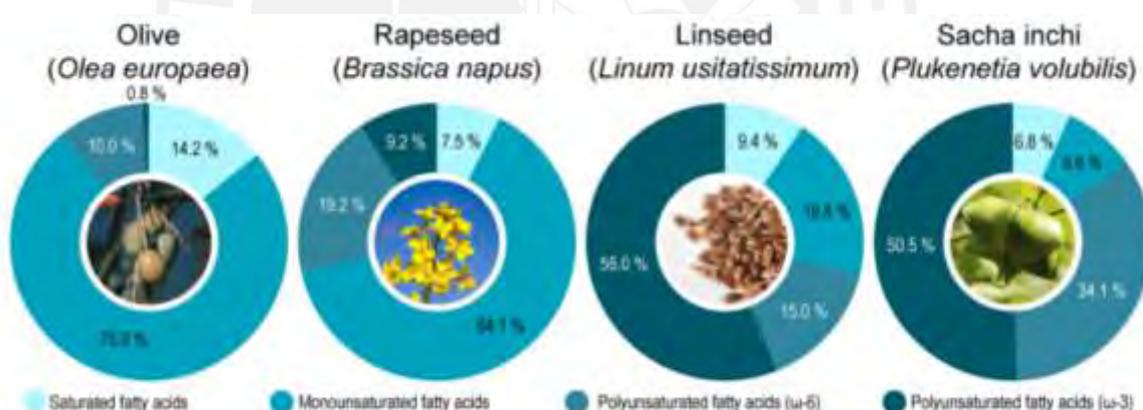


Figura 6. Comparación de ácidos grasos de fuentes vegetales.

Saturados, monoinsaturados y poliinsaturados de *Olea europaea*, *Brassica napus*, *Linum usitatissimum* y *P. volubilis*. **Fuente:** Kodahl (2020).

Fibra: Biopolímeros que componen los tejidos estructurales y de reserva en los vegetales, estos se encuentran en todos sus órganos comestibles. En las almendras de sacha inchi la fibra alcanzó en *P. huayllabambana* y *P. volubilis* contenidos de 7,4 y 6,6 % respectivamente, el análisis de las tortas presentaron contenidos de 3,3 y 4,5 %, respectivamente (Ruiz *et al.*, 2013). El uso de la torta

residual de *P. volubilis* en la elaboración de alimentos con propiedades funcionales como colada de sachá inchi reportó contenidos de 3,80 % de fibra en base húmeda y 4,10 % en base seca (Vásquez-Osorio *et al.*, 2017). Aquino Méndez (2015), en otra investigación sobre optimización de extracción de proteínas reportó contenidos de fibra en la torta de *P. volubilis* de 3,77 y 4,09 % para la base húmeda y seca, respectivamente.

Cenizas: Los minerales y sales presentes en las semillas de sachá inchi se encuentran en las cenizas. El estudio de Ruiz *et al.* (2013) en *P. huayllabambana* y *P. volubiis*, muestra contenidos de 3,8 y 2,7 %, respectivamente; en las tortas las cenizas alcanzaron valores de 6,0 y 4,8 %, para *P. huayllabambana* y *P. volubiis*, respectivamente. Otros investigadores encontraron contenidos similares para la torta, 6 y 6,4 % en base húmeda y base seca, respectivamente en *P. volubilis* (Vásquez-Osorio *et al.*, 2017). Similares contenidos de cenizas se encontraron en la investigación con la torta de *P. volubilis* en base húmeda (5,26 %) y seca (5,72 %) (Aquino Méndez, 2015).

1.3.2 Metabolitos secundarios

El estudio fitoquímico preliminar de las hojas y tallos de *P. volubilis*, mostró la presencia de taninos, flavonoides y leucoantocianidinas en los extractos etanólico, clorofórmico, clorofórmico-etanolico y acuoso; mientras que en la fracción insoluble identificaron la presencia de esteroides, así como alcaloides y saponinas (Castillo Saavedra *et al.*, 2010). La evaluación de fitotoxicidad del material vegetal y productos del sachá inchi dieron como resultado en semillas frescas alcaloides (485 mg/kg), saponinas (27 mg/kg) y lectinas (0,22 ng/g) en valores relativamente altos, mientras que en semillas tostadas los alcaloides (20 mg/kg), saponinas (5 mg/kg) y lectinas (0,15 ng/g) presentaron valores significativamente menores. La misma tendencia se observó, para el caso de hojas frescas, en las que se determinaron alcaloides (146 mg/kg), saponinas (301 mg/kg) y lectinas (0,20 ng/g), y en hojas tostadas alcaloides (20 mg/kg), saponinas (2 mg/kg) y lectinas (0,15 ng/g) con valores disminuidos, concluyendo

los investigadores que el tostado disminuye las fitotoxinas en las semillas y hojas de *P. volubilis* (Srichamnong *et al.*, 2018).

Las semillas de *P. volubilis* presentan compuestos fenólicos. La evaluación según un método espectrofotométrico mostró contenidos significativos entre 64,6 y 80 mg GAE/100 g semilla. Las actividades antioxidantes según ORAC para la fracción hidrolífilica se encontraron entre 4,3 y 7,3 $\mu\text{mol TE/g}$ semilla y para la fracción lipofílica entre 1,0 y 2,8 $\mu\text{mol TE/g}$ semilla de 16 accesiones procedentes del INIA Perú (Chirinos *et al.*, 2013). Numerosos beneficios presentan los tocoferoles y estos se encuentra en las semillas de sachá inchi. Follegatti-Romero *et al.* (2009) reportaron valores de γ -tocoferol de 1,14 g/kg de aceite y 1,25 g/kg de aceite para δ -tocoferol en *P. volubilis*. Chirinos *et al.* (2013), en los 16 cultivares de *P. volubilis* del INIA, encontraron contenidos de α -tocoferol entre 1,13 y 1,27 mg/100 g semilla, β -tocoferol entre 0,67 y 0,95 mg/100 g semilla, γ -tocoferol entre 56,8 y 81,4 mg/100 g semilla y δ -tocoferol con valores entre 28,7 y 54,6 mg/100 g semilla. Cisneros *et al.* (2014), en la investigación del efecto del tostado sobre almendras del ecotipo Pinto recodo, reportaron valores de γ -tocoferol de 70,6 mg/100 g de aceite y 12,6 mg/100 g de aceite de δ -tocoferol. En el caso de los carotenoides los valores hallados estuvieron entre 0,07 y 0,09 mg $\beta\text{CE}/100$ g semilla de *P. volubilis* (Chirinos *et al.*, 2013).

En relación a los fitosteroles, Chirinos *et al.* (2013) determinaron los contenidos de campesterol, estigmasterol y β -sistosterol en las semillas de los cultivares de sachá inchi, encontrando diferencias significativas entre todos los cultivares. Se encontró campesterol entre los 7,1 y 8,8 mg/100 g semilla; estigmasterol entre los 21,2 y 26,9 mg/100 g semilla; y β -sistosterol presentó los contenidos más altos de fitosteroles, entre los 45,2 y los 53,2 mg/100 g semilla para los 16 cultivares de *P. volubilis*. Otra investigación muestra contenidos de campesterol (16,31 mg/100 g), estigmasterol (60,45 mg/100 g), β -sistosterol (130,27 mg/100 g) y otros esteroides (27,20 mg/100 g) (Aranda-Ventura *et al.*, 2019). Por su parte Chasquibol *et al.* (2014), en *P. huayllabambana* encontraron colesterol, campesterol, estigmasterol, Δ^7 -campesterol, clerosterol, β -sistosterol, sitostanol,

$\Delta 5$ -avenasterol, $\Delta 5, \Delta 24$ -estigmastadienol, $\Delta 7$ -estigmaterol y $\Delta 7$ -avenasterol, siendo el más importante β -sistosterol.

1.4 Uso alimentario

Existen diferentes usos del sachá inchi reportados por el Centro de Investigación para el Desarrollo Rural de la Amazonía (CIDRAP) que mencionan Flores y Lock (2013). Entre ellos se encuentra “Los indígenas secoyas, canoshis, amueshas, cashibos, dapanahuas y boras, consumen las semillas tostadas para recuperar fuerzas y como reconstituyente para el trabajo, y con el aceite frotan sus cuerpos para curar dolores musculares y reumáticos. Las sociedades indígenas sharanahua, aguaruna, yagua, shipibo, huitoto, mashiguenga, ashaninka, mayoruna utilizan el aceite para uso alimentario y como combustible. Los yaguas, cocamas, shipibos y chayahuitas consumen las hojas tiernas en ensalada como parte de su dieta, la torta (harina de la semilla) es usada como alimento humano y animal”. El IIAP (2009), en su estudio de viabilidad económica del cultivo de *Plukenetia volubilis* Linneo, sachá inchi en el departamento de San Martín, reporta de acuerdo al CIDRAP que el mapa ecológico del sachá inchi se encuentra constituido por pequeñas parcelas en territorios de diferentes grupos indígenas donde la responsabilidad recae sobre la mujer indígena. El estudio referencia la importancia y potencial de la semilla, reportando que los mestizos e indígenas de áreas rurales, preparan diferentes platos típicos regionales como el inchicapi, lechón api, pururuca, cutacho, inchicucho, mazamoras (upe), mantequilla, tamal, chicha, saladitos, turrón, y otros alimentos.

Existen diferentes productos que se desarrollan a partir del sachá inchi. Entre estos se encuentran: i) bebidas a partir de la torta desengrasada de *P. volubilis*, cuyos componentes se licuan, cuecen, filtran, envasan y pasteurizan, siendo la mejor formulación la relación agua/torta desengrasada 7/1 con 0,2 % de CMC y 8 % de azúcar, que alcanzó tiempos de vida útil de 20 días (Cárdenas Proaño, 2015); ii) colada de la torta de *P. volubilis* según tecnología de extrusión con buena calidad microbiológica, sensorial y nutricional que se destaca por su

aporte de proteínas y fibra dietaria (Vásquez Osorio *et al.*, 2017); iii) suplementos para ingredientes funcionales de la torta de *P. volubilis*, que son una fuente importante de lisina, leucina, histidina y fenilalanina, así como cantidades significativas de omega-9, omega-6 y omega-3 (Rawdkuen *et al.*, 2016); iv) leche de sachá inchi para la elaboración de yogurt, con niveles de sustitución de la leche de vaca con 10, 20, 30, 40 y 50 % y cultivo lácteo de 1, 2 y 3 % durante la fermentación, el yogurt de *P. volubilis* tiene 3,82 % de proteína, 14,89 % de sólidos solubles, viscosidad aparente de 2200,12 mPa, pH de 4,37 y 0,84 % de acidez, con una aceptabilidad del 80,24 % con respecto al 90,12 % del yogurt convencional de leche de vaca (Torres Cubas, 2017); v) panes de molde enriquecidos con torta extruida de *P. volubilis*, la evaluación sensorial reveló que no existen diferencias significativas entre el control y la incorporación de los 6,3 % de torta (Rodríguez *et al.*, 2018); vi) palitos integrales de semillas de *P. volubilis* y linaza, las formulaciones presentaron aportes nutricionales superiores a los comerciales y su consumo en escolares con bajo peso sugieren un efecto positivo (Yovera Mendez y Ruddy Gianni, 2018); vii) yogurts con semillas de *P. volubilis* y β -glucanos de *Ganoderma lucidum*, la adición de los componentes incrementó significativamente los contenidos de proteínas, grasa, cenizas, ácido aspártico, serina, arginina, glicina, treonina, tirosina, omega-3 y omega-6, todas las formulaciones mostraron aceptaciones sensoriales superiores a los 70 % (Vanegas-Azuero y Gutiérrez, 2018); viii) alimento precursor de ácidos grasos poliinsaturados en truchas arco iris, con niveles de sustitución del 0, 40, 60 y 100 % en la dieta de juveniles por 90 días, los resultados mostraron que las sustituciones de 40, 60 y 100 % presentaron similares % de ARA y DHA en el hígado a los 45 días, representado así una alternativa promisorias para la alimentación de especies en acuicultura (Marotta Lima *et al.*, 2019).

INDECOPI (2010), a través de la R.035-2009/INDECOPI-CNB publicó la Norma Técnica Peruana NTP 11.400:2009 ACEITE DE SACHA INCHI. Requisitos, 1ª Edición, el 20 de febrero de 2010. Esta Norma Técnica Peruana establece los requisitos mínimos y máximos de calidad e inocuidad que debe cumplir el aceite

extraído de la semilla de sachá inchi del género *Plukenetia* (*P. volubilis* y *P. huayllabambana*) para consumo directo y/o uso industrial, ver Tabla 2.

Tabla 2. Requisitos mínimos y máximos para el aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* y *Plukenetia huayllabambana*) según la Norma Técnica Peruana 151.400.

| Requisitos | Mínimo | Máximo |
|---|---|--------|
| Densidad a 20 °C | 0,926 | 0,931 |
| Índice de yodo (Solución Hanus) | 183 | 199 |
| Índice de saponificación | 192 | 196 |
| Índice de refracción a 20 °C | 1,478 | 1,481 |
| Material insaponificable (%) | --- | 0,36 |
| Acidez libre (%), ácido oleico | | |
| Aceite virgen extra | --- | 1,00 |
| Aceite virgen | --- | 2,00 |
| Índice de peróxido (mEq O ₂ /kg) | --- | 10,00 |
| Tocoferoles (mg/kg) | 1900 | --- |
| Humedad y materiales volátiles (%) | --- | 0,14 |
| Impurezas insolubles (%) | --- | 0,02 |
| Ácido oleico (%) | 8,90 ^a ; 7,90 ^b | --- |
| Ácido linoleico (%) | 32,10 ^a ; 24,00 ^b | --- |
| Ácido linolênico (%) | 44,70 ^a ; 55,00 ^b | --- |

^a*Plukenetia volubilis*, ^b*Plukenetia huayllabambana*.

Fuente: INDECOPI (2010).

El aceite de sachá inchi según la NTP, es un aceite extraído de las semillas de sachá inchi (*P. volubilis* y *P. huayllabambana*), caracterizado por su alto contenido de ácidos grasos insaturados (omega 3, 6 y 9). En relación a los aceites vírgenes, estos son productos sin modificar su naturaleza, donde la extracción se realiza por procedimientos mecánicos, por ejemplo, extrusión, prensado y otros. Podrán ser purificados por sedimentación, filtración y centrifugación. Se excluye a los aceites obtenidos por solventes, coadyuvantes de acción química o bioquímica o por procedimientos de reesterificación y de cualquier mezcla con aceites de otra naturaleza, INDECOPI (2010).

1.5 Farmacología, toxicología y clínica

Las semillas de sacha inchi dentro de su composición contienen ácidos grasos esenciales, omega-3, omega-6 y omega-9. Estos ácidos grasos esenciales son responsables de numerosas actividades nutricionales, funcionales, farmacológicas y terapéuticas, ver Tabla 3.

Tabla 3. Farmacología, toxicología y clínica del aceite de sacha inchi.

| Efecto nutracéutico, farmacológico, toxicológico y clínica | Referencias |
|--|-------------------------------------|
| Efecto del aceite de <i>P. volubilis</i> en la trigliceridemia posprandial, factor de riesgo coronario asociado a la alimentación de triglicéridos. El estudio sobre 12 individuos disminuyó significativamente la trigliceridemia posprandial en adultos jóvenes. | Huamán <i>et al.</i> (2008) |
| Toxicidad oral a dosis repetida en 60 días del aceite de <i>P. volubilis</i> y linaza y determinación de DL50 en roedores. Los parámetros séricos en ratas indican que no existe toxicidad a los 60 días y su administración disminuyó los niveles de colesterol total, triglicéridos e incremento significativo de HDL. La DL50 muestra que los aceites crudos presentan dosis por encima de los 37 g/kg de masa corporal. | Gorriti <i>et al.</i> (2010) |
| Efecto del aceite de <i>P. volubilis</i> sobre el perfil lipídico en 24 pacientes de 35 a 75 años con hiperlipoproteinemia. La evaluación de colesterol total, HDL, triglicéridos, glucosa, ácidos grasos no esterificados e insulina después de la administración de 5 o 10 mL de suspensiones durante 4 meses, muestran disminuciones de colesterol total y ácidos grasos no esterificados con incremento de c-HDL en ambos grupos, concluyendo que el consumo del aceite mejora el perfil lipídico en pacientes con dislipidemia. | Garmendia, Pando, y Ronceros (2011) |
| Uso terapéutico y nutricional del aceite de la almendra de <i>P. volubilis</i> inchi. Presenta alta proporción de ácidos grasos insaturados, tocoferoles, estable a la oxidación con potencial aplicación en enfermedades del corazón, artritis, diabetes, hiperactividad y enfermedades inflamatorias de la piel. | Hanssen y Schmitz-Hübsch (2011) |
| Estudio de aceptabilidad, seguridad y eficacia del aceite de <i>P. volubilis</i> , aleatorizado, doble ciego controlado por placebo sobre la aceptabilidad, seguridad y eficacia de la administración de 10 o 15 mL en 30 sujetos adultos durante 4 meses. Los marcadores hepáticos y renales no cambiaron, mientras que el colesterol total y LDL disminuyeron significativamente con el sacha inchi. | Gonzales y Gonzales (2014) |

Continuación Tabla 3...

| | |
|--|---|
| <p>Estudio de adherencia de <i>Staphylococcus aureus</i> en explantes de piel humana y queratinocitos <i>in vitro</i>. <i>S. aureus</i> es causante de muchas patologías en la piel como impétigo, foliculitis, furúnculos y abscesos subcutáneos. El aceite de <i>P. volubilis</i> fue más activo como antiadherente que el aceite de coco, siendo cinco veces más activo en el desprendimiento de <i>S. aureus</i> de explantes de la piel humana.</p> | <p>Gonzalez-Aspajo <i>et al.</i> (2015)</p> |
| <p>Estudio comparativo de la toxicidad aguda y efecto antiinflamatorio de <i>P. volubilis</i> y <i>P. huayllabambana</i> en ratones. La DL50 fue de 63603 mg/kg para <i>P. volubilis</i> y 74638 mg/kg para <i>P. huayllabambana</i>, clasificándose como relativamente inócuos, <i>P. huayllabambana</i> presentó 62 % de inhibición de inflamación.</p> | <p>Dávila Paico, (2015)</p> |
| <p>Aceites ricos en ácido alfa linoléico (rosa mosqueta, sacha inchi y chia) incrementan a nivel hepático los ácidos grasos n-3 poliinsaturados, modulando el metabolismo de ácidos grasos y respuesta antioxidante en ratas. El estudio evaluó la biosíntesis hepática de PUFAs y expresión de enzimas Δ-5 y Δ-6 desaturasas y expresión de la actividad de unión al ADN y parámetros de stress y actividad de enzimas antioxidantes en animales. El ácido linoléico es precursor de EPA y DHA. Los resultados mostraron que los aceites de <i>P. volubilis</i> y chia pueden desencadenar respuestas metabólicas en ratas con PUFA</p> | <p>Rincón-Cervera <i>et al.</i> (2016)</p> |
| <p>Emulsión del aceite de sacha inchi para uso cosmético y farmacéutico, determinación del balance hidrofílico-lipofílico (HLB) y propiedades emulsionantes del aceite de <i>P. volubilis</i>. La emulsión se evaluó en 15 voluntarios, clasificándose como no irritante después del ensayo, la hidratación de la piel se incremento significativamente después de 1 mes de aplicación.</p> | <p>Saengsorn y Jimtaisong (2017)</p> |
| <p>Composición química, características físico-químicas, metales y evaluación genotóxica del aceite de <i>P. volubilis</i>. La genotoxicidad del aceite a través del ensayo de morfología de cabeza de espermatozoide en ratas albinos machos, muestra que el aceite no induce malformaciones por lo que se concluye que su consumo es seguro.</p> | <p>Aranda-Ventura <i>et al.</i> (2019)</p> |
| <p>Efecto de la emulsión del aceite de <i>P. huayabambana</i> sobre el estrés oxidativo e inflamación en ratas obesas. Se evaluaron grupos de sacha inchi con 0,25 y 0,50 de omega-3, grupo con atorvastatina y la mezcla. Los marcadores lipídicos y bioquímicos evaluados muestran que el aceite de sacha inchi normaliza el perfil lipídico y disminuye el estrés oxidativo e inflamación en animales obesos.</p> | <p>Ambulay <i>et al.</i> (2020)</p> |

1.6 Tecnologías innovativas en sachá inchi

Las semillas de sachá inchi se caracterizan por presentar cáscara y almendras, con diferentes características y tamaños. Al respecto se desarrollaron diferentes tecnologías innovativas para la obtención del aceite, desarrollo de nuevos productos en la industria alimentaria, utilización en catalizadores, utilización de la cáscara para adsorbentes, combustible, extracción de compuestos con valor en el mercado y preparación de resinas alquídicas, ver Tabla 4.

Tabla 4. *Tecnologías innovativas en sachá inchi.*

| Tecnologías innovativas | Referencias |
|---|---------------------------------|
| Estabilidad oxidativa y comportamiento de flujo en frío de mezclas de biodiesel de aceites de palma, sachá inchi, jatropa y ricino. El biodiesel se produjo a través de la metanolisis catalizada por KOH de los aceites, las mezclas del biodiesel de jatropa y ricino en las proporciones de 75 y 25 % presentaron los mejores rendimientos. | Zuleta, Rios, y Benjumea (2012) |
| Aceite de sachá inchi como matriz para la síntesis de nanocatalizador de plata: un enfoque ecoamigable. Las nanopartículas de plata se sintetizaron y estabilizaron por uso del aceite de <i>P. volubilis</i> , se caracterizaron por uso de espectroscopia al UV-Vis, microscopia de transmisión de electrones, infrarrojo con Transformada de Fourier y analizador de tamaño de partícula. Las nanopartículas cristalinas y estables mostraron una actividad fotocatalítica en la decomposición de azul de metileno sin emplear agente reductor. | Kumar <i>et al.</i> (2014) |
| Influencia del tostado de la semilla de <i>Plukenetia huayllabambana</i> en el perfil de ácidos grasos y compuestos bioactivos". Las semillas se sometieron al tostado a las temperaturas de 100, 120, 140, 160 y 180 °C por 10, 20 y 30 min. El tostado incremento la oxidación de las almendras, los ácidos grasos, tocoferoles, fitoesteroles y fenólicos. El tostado incrementó la extracción de aceite de la semilla. | Zorrilla Salmón (2015) |
| Cáscaras de la biomasa de <i>Plukenetia volubilis</i> como biosorbente de iones plomo y cobre. En la investigación se estudio la remoción de iones Plomo y cobre (II) de soluciones acuosas. El análisis SEM reveló incrementos de sorciones de Pb (II) de 15,72 % y cobre (II) de 6,33 % sobre la superficie de la biomasa. El pH óptimo para la máxima adsorción fue 3 y 6 para Pb y Cu (II) respectivamente. Los equilibrios de adsorción se midieron con isothermas de Langmuir y Freundlich. La capacidad máxima de adsorción fueron 17,066 y 9,699 mg/g a 373 K para Pb ²⁺ y Cu ²⁺ respectivamente. | Kumar <i>et al.</i> (2016) |

Continuación Tabla 4..

| | |
|---|--|
| Diseño y construcción de un prototipo para la extracción continua de aceite de la semilla de <i>P. volubilis</i> con un proceso de prensado en frío. El prototipo trabaja entre 20 y 80 rpm, alcanzando rendimientos del 34 % a temperaturas por debajo de los 45 °C, mayores rendimientos se alcanzaron a 80 rpm. La humedad es un factor importante que se debe controlar en el proceso para garantizar uniformidad. | Gutiérrez Suquillo <i>et al.</i> (2017) |
| Generación de gas combustible de la gasificación de semilla de sachá inchi usando un reactor de tubo. Las cáscaras, se analizaron según composición de CHNS/O, análisis termogravimétrico y bomba calorimétrica. Los tamaños de partícula se encontraron entre 0,50 y 0,85 mm en un reactor que varió desde 700 a 900 °C. El catalizador reduce la proporción de líquidos e incrementa la producción de CO e H ₂ . | Lakkhana, Atong, y Sricharoenchaikul (2017) |
| Irradiación gamma con 0,1, 5, 8 kGy de semillas de <i>P. volubilis</i> . Los resultados sugieren que dosis de irradiación entre 1 y 5 kGy pueden preservar las semillas de sachá inchi destinadas a la producción de aceite. | Gutiérrez <i>et al.</i> (2017) |
| Extracción de compuestos fenólicos asistida con microondas de las semillas de <i>P. volubilis</i> . Las condiciones óptimas de extracción son 1500 W, 63 % y 110 s donde los fenólicos alcanzaron los 41,97 mg de ácido gálico/g cáscara de sachá inchi, FRAP y TEAC fueron 374,39 y 384,50 μmol Trolox/g cáscara de semilla de sachá inchi. | Sanchez-Reinoso <i>et al.</i> (2020) |
| Obtención de microencapsulados de aceite de sachá inchi utilizando diferentes biopolímeros por tecnología de secado por aspersión. Los aceites de sachá inchi utilizados correspondieron a <i>P. volubilis</i> y <i>P. huayllabambana</i> , y los agentes encapsulantes fueron maltodextrina, goma arábica, concentrado proteico de lactosuero y almidón modificado. Las microcápsulas elaboradas con almidón modificado presentaron la mayor estabilidad oxidativa y eficiencia de encapsulación. | Landoni <i>et al.</i> (2020) |
| Síntesis de nanopartículas de Cu ₂ O producidas con extractos de hojas de <i>P. volubilis</i> . Los resultados muestran nanopartículas entre 6 – 10 nm según microscopía de transmisión de electrón y análisis de dispersión de la luz. Las nanopartículas exhibieron un buen efecto catalítico para la degradación de azul de metileno (>78 %, 150 min), sugiriendo que el catalizador es de bajo costo, ecoamigable y altamente selectivo que puede ser utilizado para tratamiento de contaminantes orgánicos en agua. | Kumar <i>et al.</i> (2020) |
| Síntesis y caracterización de resina alquídica con aceite de sachá inchi. Resinas alquídicas se sintetizaron con el aceite de sachá inchi a través de procesos de alcoholisis y esterificación con glicerol, ácido ftálico y anhídrido maleico en diferentes proporciones. El estudio reveló que el aceite de <i>P. volubilis</i> puede ser usado como materia prima alternativa al aceite de linaza en la síntesis de resinas alquídicas para aplicaciones industriales | S. Flores, Flores, Calderón y Obregón (2019) |

1.7 Mercado

Hasta el año 2017, PROMPERÚ a través del Sistema Integrado de Información de Comercio Exterior (SIICEX) presenta la evolución de las exportaciones del Producto sachá inchi en las presentaciones de aceite (\$ 1 997 494,2), tostado (\$ 1 190 687,1), polvo (\$ 566 436,87), semilla (\$ 121 685), natural (\$ 60 469,02), snacks (\$ 16 790), cápsulas (\$ 648) y otros productos (bebidas, salsa, grano, pasta, cosmético, entre otras presentaciones; alcanzando \$ 5 040 732,6). Las tendencias de exportación fueron crecientes, incrementándose significativamente el aceite, tostado, polvo y otras presentaciones, desde el año 2007 (SIICEX, 2018). Arfini y Antonioli (2013), en la investigación “Sachá Inchi, investigación sobre las condiciones para el reconocimiento de la Indicación Geográfica en el Perú” ejecutada con Cooperación Internacional y el Centro de Investigación, Educación y Desarrollo (CIED) reportan la importancia nutricional del sachá inchi sobre poblaciones locales y la participación de actores en la cadena de valor. Sin embargo, el estudio evidencia problemas de definición del origen del territorio, debido a la ausencia de estudios comparativos entre productores procedentes de diferentes lugares y especies. Estas condiciones no permiten, a la fecha, definir de manera coherente si existen variabilidades internas y de calidad entre especies, haciendo difícil establecer una indicación geográfica específica. Por su parte el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo del Perú (MINCETUR), el año 2016 promovió el perfil del producto aceite y grano tostado de sachá inchi en Canadá. PROMPERU (2016) publicó el documento “Guía de elaboración de un Dossier Novel Food Aceite de Sachá Inchi”, que contiene información sobre requisitos que deben cumplir las empresas peruanas que deseen exportar aceite de sachá inchi al mercado de la Unión Europea donde se reconoce como Novel Food. Con respecto al agronegocio del sachá inchi, producción y rentabilidad del cultivo en la región Piura, Santillán García (2018) concluye desde su estudio descriptivo-explorativo que el cultivo es rentable en Piura con respecto al maíz.

2. PARTE EXPERIMENTAL



2.1 Materiales y reactivos

En esta investigación se evaluaron semillas de sacha inchi de las principales zonas productivas de las regiones de Amazonas, Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali del Perú, recolectadas entre los meses de enero y agosto del año 2009. La especie, origen, código, coordenadas georreferenciadas y altitud de los lugares de colecta se presentan en la Tabla 5. En los anexos 1 y 2 la identificación taxonómica de las muestras. Los reactivos y solventes utilizados en la investigación fueron de las marcas Sigma Aldrich Chemical Co. y Merck.

Tabla 5. Descripción de la especie, origen, código, coordenadas geográficas y altitud de las semillas de sacha inchi colectadas en la investigación.

| Especie | Origen | Código | Latitud S | Longitud O | m.s.n.m. |
|--------------------------|-------------------------------------|--------|----------------|----------------|----------|
| <i>P. Huayllabambana</i> | Cochamal, Amazonas | CochA1 | 06° 24' 33.5" | 77° 34' 48.7" | 1619 |
| <i>P. Huayllabambana</i> | Cochamal, Amazonas | CochA2 | 06° 24' 27.7" | 77° 34' 44.7" | 1609 |
| <i>P. volubilis</i> | Luyando, Huánuco | LuyHu | 09° 13' 58.88" | 75° 59' 21.85" | 626 |
| <i>P. volubilis</i> | Perené, Junín | PereJ | 10° 52' 47.6" | 75° 04' 31.7" | 875 |
| <i>P. volubilis</i> | Pichanaqui, Junín | PichaJ | 11° 00' 35.3" | 74° 53' 47.3" | 1049 |
| <i>P. volubilis</i> | Maynas, Loreto | MayLo | 03° 42' 05.6" | 73° 16' 50.3" | 116 |
| <i>P. volubilis</i> | Tocache, San Martín | ToSM1 | 08° 14' 27.7" | 76° 33' 09.7" | 494 |
| <i>P. volubilis</i> | Tocache, San Martín | ToSM2 | 08° 14' 23.5" | 76° 33' 23.1" | 519 |
| <i>P. volubilis</i> | Tocache, San Martín | ToSM3 | 08° 14' 16.6" | 76° 37' 36.5" | 682 |
| <i>P. volubilis</i> | Pinto Recodo, San Martín | PinSM | 06° 22' 27.7" | 76° 36' 12.6" | 379 |
| <i>P. volubilis</i> | San Miguel del Río Mayo, San Martín | SMSM | 06° 26' 17.5" | 76° 35' 03.5" | 310 |
| <i>P. volubilis</i> | Tabalosos, San Martín | TabSM1 | 06° 29' 36.7" | 76° 34' 51.6" | 588 |
| <i>P. volubilis</i> | Tabalosos, San Martín | TabSM2 | 06° 29' 25.6" | 76° 34' 55.7" | 559 |
| <i>P. volubilis</i> | Lamas, San Martín | LamSM | 06° 24' 51.29" | 76° 31' 36.78" | 809 |
| <i>P. volubilis</i> | Shanao, San Martín | ShaSM | 06° 24' 36.6" | 76° 35' 37.4" | 209 |
| <i>P. volubilis</i> | Bellavista, San Martín | BellSM | 07° 03' 59.7" | 76° 35' 23.0" | 313 |
| <i>P. volubilis</i> | Juanjui, San Martín | JuajSM | 07° 16' 00.9" | 76° 44' 13.4" | 288 |
| <i>P. volubilis</i> | Chazuta, San Martín | ChazSM | 06° 34' 10.20" | 76° 08' 13.97" | 246 |
| <i>P. volubilis</i> | Shapaja, San Martín | ShapSM | 06° 34' 13.95" | 76° 08' 34.68" | 221 |
| <i>P. volubilis</i> | Campoverde, Ucayali | CaVeU1 | 08° 29' 06.7" | 74° 49' 20.4" | 203 |
| <i>P. volubilis</i> | Campoverde, Ucayali | CaVeU2 | 08° 30' 43.0" | 74° 53' 27.6" | 196 |

2.2 Equipos

La caracterización de las semillas, obtención de aceite crudo y evaluación fisicoquímica se realizaron en el Laboratorio de Farmacognosia de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UNMSM y planta piloto de la Empresa Agronegocios Peruagro S.R.L. Los ácidos grasos se analizaron en el laboratorio de Análisis fisicoquímico del Instituto Tecnológico de la Producción (ITP, antes Instituto Tecnológico Pesquero). Los equipos utilizados fueron:

- Extractor Soxhlet de 250 mL (Corning®, EE.UU.).
- Equipo de baño maría, (Mettler, Alemania).
- Refrigeradora (MABE, EE.UU.).
- Potenciometro Orion Star (Thermo Scientific, EE.UU.).
- Cocina con agitación (VELP Scientifica, Italia)
- Cromatógrafo de gases con FID (Perkin Elmer Autosystem XL, EE.UU.).
- Prensa hidráulica (Marca Nacional, Perú).
- Rotaevaporador R300 (Buchi, Suiza).
- Balanza analítica (OHAUS, Alemania).
- Balanza de precisión 0,01 g (Sartorius, Alemania).
- Espectrofotómetro UV-VIS Pharo 300 Spectroquant (Merck, Alemania).
- Estufa UFE 500 (Mettler, Alemania).
- Refractómetro Abbe (KERN, Alemania).
- Bomba de vacío (Buchi, Suiza).
- Agitador magnético (Thermo Fisher Scientific, EE.UU.).

2.3 Métodos

2.3.1 Características de las semillas de sachá inchi

Las semillas colectadas para cada muestra se seleccionaron al azar por procedimientos de cuarteo hasta obtener muestras representativas. En las semillas individuales se evaluaron las características de diámetro, longitud y espesor de semilla con la ayuda de un vernier (mm), mientras que el peso de semilla, peso de cáscara y peso de almendra, se determinaron en balanza (g). El número de semillas evaluadas por muestra/lote fue de 20. Arévalo (1996) reportó mediciones de diámetro en 5 semillas de *P. volubilis*, mientras que Zuloeta Arias (2014) reportó mediciones individuales de peso, diámetro ecuatorial, diámetro polar y espesor de semilla de *P. volubilis*.

2.3.2 Características de 100 semillas de sachá inchi

De los lotes colectados de las semillas se agruparon al azar 100 semillas, para la evaluación del peso de semillas (Arévalo, 1996), peso de cáscara y peso de almendra de las 100 semillas. El número de repeticiones fue 10 por muestra colectada.

2.3.3 Obtención de aceite crudo

Entre 120 y 250 g de almendras previamente seleccionadas y sin cáscara se colocaron dentro del cilindro de acero inoxidable de la prensa hidráulica y se prensaron hasta alcanzar presiones entre 2500- 3000 psi.

Los aceites crudos se decantaron y luego se filtraron a través de papel filtro (Whatman No. 1) con la ayuda de una bomba de vacío. Los volúmenes filtrados se midieron en una probeta graduada y se almacenaron a temperaturas de refrigeración (entre 6 y 7 °C), en frascos de color ámbar. La Figura 7, presenta el diagrama de flujo de obtención del aceite crudo.

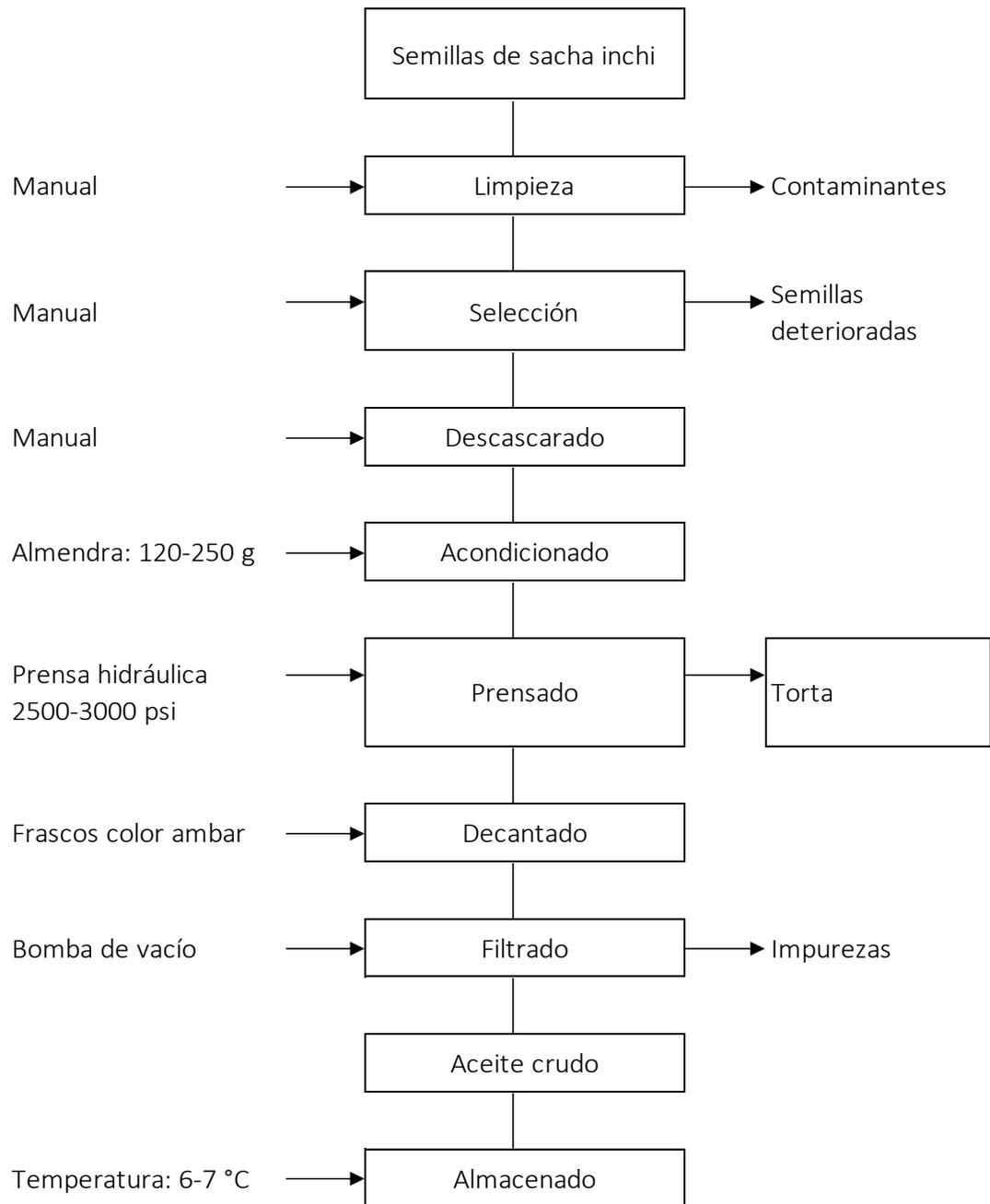


Figura 7. Diagrama de flujo de la obtención del aceite crudo de sachá inchi.

2.3.4 Análisis de almendras

En las almendras se evaluaron la humedad, grasa total y rendimiento de aceite crudo, de acuerdo a los siguientes metodos:

Humedad de almendra, según método AOAC (1990) con ligeras modificaciones.

Grasa total, de acuerdo al método AOAC (1990), Paquot (1979), solvente éter de petróleo.

Rendimiento de aceite crudo, los volúmenes de aceite crudo, obtenidos en 2.3.3, se convirtieron a sus correspondientes pesos con los valores de densidad, y se determinó su rendimiento con respecto al peso inicial de almendra. La determinación se realizó por triplicado.

2.3.5 Análisis del aceite crudo

En los aceites crudos se evaluaron, ácidos grasos libres, índice de saponificación, dienos conjugados, trienos conjugados, índice de peróxido, valor de yodo, peso específico, índice de refracción y ácidos grasos:

Índice de acidez, según método AOAC (1990).

Índice de saponificación, según Cuppett (2001) y AOAC (1990)

Dienos conjugados, de acuerdo a Pegg (2001).

Trienos conjugados, según Pegg (2001) expresados como $K_{268} (E_{1cm}^{1\%})$.

Índice de peróxido, método AOAC (1990).

Índice de yodo, según AOAC (1990).

Densidad, según método del picnómetro (AOAC, 1990)

Índice de refracción, según método descrito en Dieffenbacher y Pocklington (1992) y AOAC (1990).

Ácidos grasos, método LABS ITP-FQ-002-98 (Salas, Ayala, y Albrecht-Ruiz, 2003).

Las evaluaciones se realizaron en un GC-FID (Perkin Elmer). Las condiciones cromatográficas de los análisis fueron: i) *Temperatura del horno*, de 160 a 230 °C (1 °C/min); ii) *temperatura del inyector*, 250 °C; iii) *temperatura del detector*, 270 °C; iv) *presión de hidrógeno*, 5 psi; v) *split*, 100:1; vi) *volumen de inyección*, 2 µL. La columna fue del tipo Supelcowax – 10, marca Supelco de 30 m de longitud,

0,25 mm de diámetro interno y 0,25 μm de espesor de película. El tiempo de análisis fue de 65 minutos, ver Anexo 3, Anexo 16-17.

2.3.6 Análisis estadístico

La información de las evaluaciones morfológicas de las semillas individuales (longitud, diámetro, espesor, peso de semilla, peso de cáscara, peso de almendra y rendimiento de almendra), evaluaciones morfológicas de 100 semillas (peso de semilla, peso de cáscara, peso de almendra y rendimiento), humedad de almendra, rendimiento de aceite crudo, grasa total. Las evaluaciones de propiedades fisicoquímicas de los aceites crudos (peso específico, índice de refracción, acidez libre, índice de saponificación, dienos y trienos conjugados, índice de peróxido y valor de yodo). Los perfiles de ácidos grasos presentes de los aceites crudos (ácido palmítico, ácido esteárico, ácido *cis*-vaccénico, ácido oleico, ácido linoleico, ácido linolénico, ácido eicosenoico, ácidos grasos saturados, ácidos grasos monoinsaturados y ácidos grasos poliinsaturados) y la relación ω_3/ω_6 . Todos, se analizaron en el software estadístico InfoStat V2018, y OriginPro V2021 en versión prueba. Los análisis de varianza (Anova) de las diferentes muestras se realizaron según diseño completo al azar, con pruebas múltiples de Tukey ($p \leq 0,05$). El análisis multivariado de los datos morfológicos de las semillas, información de propiedades fisicoquímicas de los aceites crudos, así como los perfiles de ácidos grasos se realizó a través de análisis exploratorio de conglomerados y análisis de componentes principales (PCA). El análisis de conglomerados se hizo según método de *Ward*, utilizando la distancia *Euclídea* como medida de similitud, y el PCA considera los componentes principales (PC) que proporcionan la máxima variabilidad de los datos PC1 y PC2 (adicionalmente se describen los autovectores generados por las variables y sus valores de correlación con los componentes principales). Dentro del análisis, además se realizaron correlaciones *Pearson* para conocer las relaciones entre las diferentes variables. Información complementaria se presenta en los anexos 4, 5, 6 y 7. (Di Rienzo *et al.*, 2008).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



3.1 Parámetros morfológicos de las semillas de sachá inchi

Las características y relaciones de los parámetros de diámetro, longitud, espesor de semilla, peso de semilla, peso de 100 semillas, peso de cáscara, peso de cáscara de 100 semillas, peso de almendra, peso de almendra de 100 semillas, rendimiento de almendra y rendimiento de almedras de 100 semillas se presentan a continuación.

3.1.1 Diámetro de semilla de sachá inchi

Los diámetros de semilla de las muestras estudiadas de las diferentes regiones de nuestra amazonía se encontraron entre 14,02 y 22,66 mm. Las semillas de *P. huayllabambana* de Amazonas presentaron los mayores diámetros. En relación a *P. volubilis* las semillas de San Martín y Junín presentaron los mayores diámetros promedio de semilla. La variabilidad del diámetro de semilla en los histogramas revela diferentes distribuciones para ambas especies (ver Figura 8). El anova para el diámetro de semilla en *P. huayllabambana* reveló diferencias significativas en $p \leq 0,01$, donde las semillas de Cochamal del fundo 1 (21,57 mm, valor promedio) presentaron el valor más alto, según prueba de Tukey en $p \geq 0,05$ para la región Amazonas. En el caso de las semillas de *P. volubilis* el anova reveló diferencias altamente significativas en $p \leq 0,0001$. La comparación de los diámetros de semilla según Tukey con $p \geq 0,05$ de las regiones Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali mostró que las semillas de Lamas (18,46 mm), Tocache (18,30 mm) y Pinto Recodo (17,72 mm) de la región San Martín fueron superiores, mientras que las semillas de Campoverde del fundo 2 de Ucayali (15,66 mm) presentaron los valores más bajos (ver Figura 8).

Rodríguez *et al.* (2010), en el estudio de diferenciación morfológica y por ISSR de especies del género *Plukenetia*, encontraron diámetros de semilla de 0,85 cm para *P. volubilis* de la región San Martín y 1,36 cm para la región Cuzco. Niu *et al.* (2014), en semillas de *P. volubilis* cosechadas en la provincia de Yunan en China reportaron diámetros cercanos a los 20 mm para los 45 y 125 días después de floración. Los resultados de la presente investigación fueron superiores a los encontrados por Rodríguez *et al.* (2010), sin embargo, fueron inferiores a Niu *et al.* (2014). Arévalo

(1996), en la caracterización de los ecotipos promisorios Pinto recodo (2,08 cm), Tambo Yaguas (1,74 cm), Muyuy (1,78 cm) y Rio Putumayo (1,78 cm) en la EEA El Porvenir del INIA Perú, reportó valores similares a los encontrados en la investigación. Por su parte Coronado Rangel (2018) encontró valores similares en su investigación (18,22 mm).

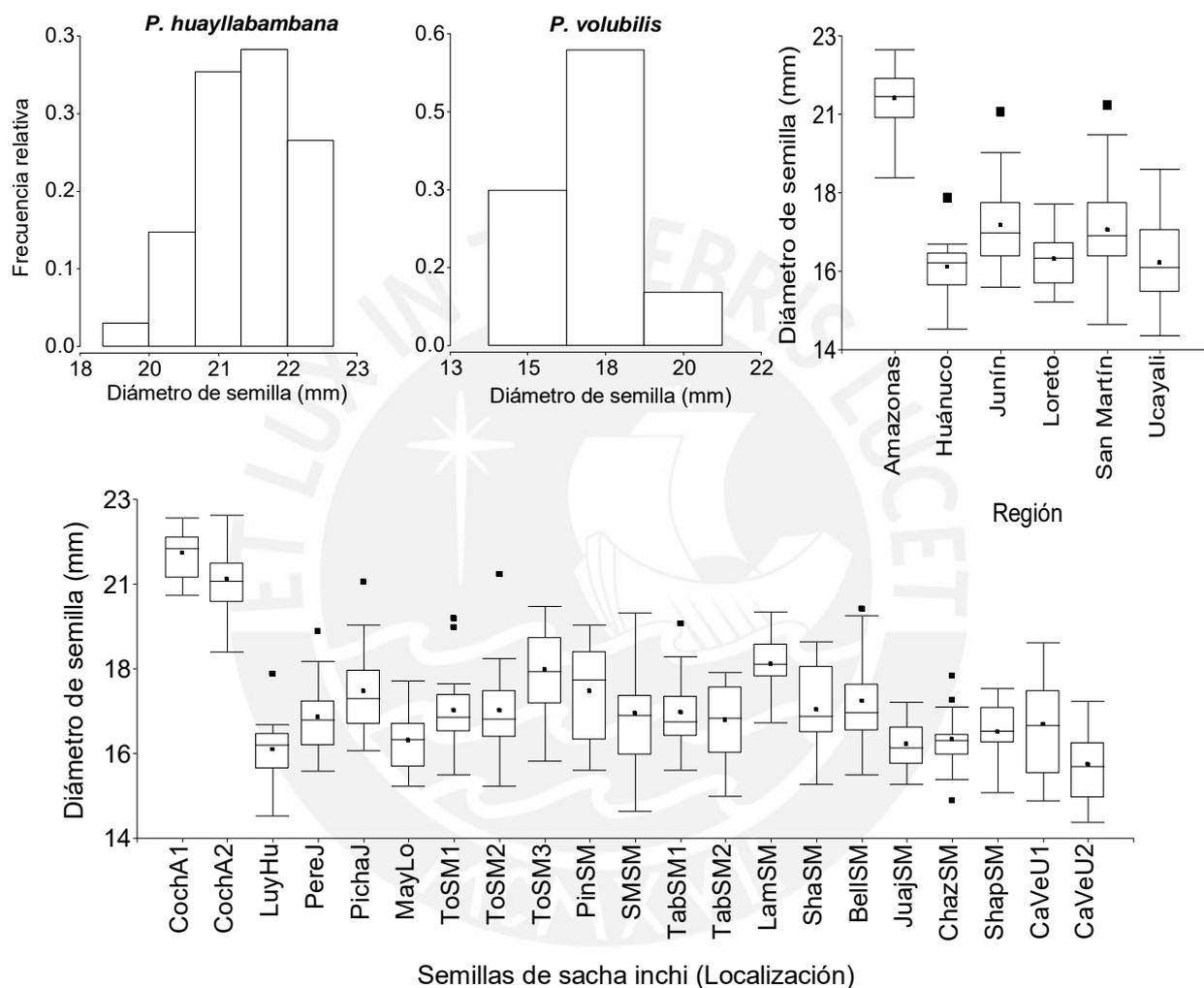


Figura 8. Distribución del diámetro de semilla, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

P. huayllabambana en la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). El número de semillas evaluadas fue 20 según localización.

Las diferencias encontradas en el diámetro de semilla para *P. volubilis* y *P. huayllabambana* se explican por las características genotípicas de las especies en el género. Iqbal *et al.* (2008) en el estudio de los caracteres morfológicos de dos especies

de *Brasica* (*B. napus* L. y *B. juncea* (L.) Czern. & Coss) explicaron que las diferencias de los caracteres se deben a su constitución genética, así como a las interacciones de la genética del cultivar con las condiciones medioambientales donde crecen los cultivares (Bazán Cubas, 2014). Estas condiciones se encuentran constituidas por las características edafoclimáticas, polinizadores, microorganismos benéficos, plagas y, además, por la provisión adecuada de nutrientes en suelos con determinadas características fisicoquímicas, textura y manejo agronómico. En ese sentido la Tabla 6 presenta las diferentes altitudes de los lugares de colecta, que muestran la diversidad de datos obtenidos para el diámetro en las semillas estudiadas, el análisis de correlación altamente significativo ($p \leq 0,001$) de altitud con diámetro de semilla en las dos especies confirma sus diferencias. Comparando las altitudes en las dos especies, se observa que *P. volubilis* se colectó entre los 116 m de altura en Loreto y los 1049 m en Pichanaki en Junín, mientras que *P. huayllabambana* se colectó sobre los 1619 m de altitud para CochA1 y 1609 m para CochA2. La dispersión del parámetro y los diagramas de caja muestran la diferencia en la Figura 8.

Tabla 6. Lugares de colecta de semillas de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*. La altitud se separa por intervalos de 200 m.

| Especie | Altitud (m) | Amazonas | Huánuco | Junín | Loreto | San Martín | Ucayali | Total |
|--------------------------|-------------|----------|---------|-------|--------|------------|---------|-------|
| <i>P. volubilis</i> | 200 | | | | 1 | | 1 | 2 |
| | 400 | | | | | 7 | 1 | 8 |
| | 600 | | | | | 4 | | 4 |
| | 800 | | 1 | | | 1 | | 2 |
| | 1000 | | | 1 | | 1 | | 2 |
| | 1200 | | | 1 | | | | 1 |
| <i>P. huayllabambana</i> | 1800 | 2 | | | | | | 2 |
| | Total | 2 | 1 | 2 | 1 | 13 | 2 | 21 |

En *P. huayllabambana* se consideró intervalo 1600 – 1800 m de altitud.

Con respecto a la genética en *P. volubilis*, Bazán Cubas (2014) en la obtención de híbridos con seis líneas S3 en la región San Martín encontró valores entre 16 y 18,8 mm para el diámetro de semilla en los 30 tratamientos. El investigador observó un fuerte

efecto de la genética de la línea que actuó como progenitor femenino durante la hibridación.

3.1.2 Longitud de semilla de sachá inchi

Este parámetro se relaciona con el calibre que presentan las semillas y sus valores se encontraron entre 16,72 y 26,34 mm. La distribución de frecuencias en *P. huayllabambana* se encontró alrededor de 24 mm, mientras que en *P. volubilis* alrededor de 20 mm. Las semillas de *P. huayllabambana* de Amazonas presentaron las mayores longitudes de semilla (ver Figura 9).

El anova en *P. huayllabambana* mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0,001$), siendo las semillas del fundo 1 de Cochamal las de mayor longitud (24,63 mm, valor promedio). En el caso de *P. volubilis*, el anova del parámetro mostró diferencias altamente significativas con $p \leq 0,0001$, siendo las semillas de Lamas (21,64 mm), Tocache (21,53 mm) y Pinto recodo (20,88 mm) de la región San Martín las que presentaron la mayor longitud promedio de semilla, según la prueba de Tukey $p \geq 0,05$, y además la mayor dispersión (ver Figura 9). Niu *et al.* (2014), en la investigación de semillas de *P. volubilis* en la provincia de Yunan en China encontraron similares longitudes de semilla (20 mm) para los 45 y 125 días después de floración del sachá inchi. Coronado Rangel (2018), reporta 18,02 mm como diámetro meridional, similar al encontrado en la presente investigación. Rodríguez *et al.* (2010), en la investigación sobre diferenciación morfológica y por ISSR de especies del género *Plukenetia* de la Amazonía peruana, presentaron longitudes de semilla de 2,01 cm para *P. volubilis* de la región San Martín y 2,01 cm para semillas del Cuzco. Estos resultados estuvieron dentro del rango de longitudes de semilla encontrados en la presente investigación para *P. volubilis*, y los valores encontrados en *P. huayllabambana*. Bussmann *et al.* (2009), en la caracterización de *P. huayllabambana* como nueva especie de la Amazonía peruana, refieren tamaños entre 1,5–2 cm para las semillas de las comunidades de Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ligeramente inferiores a los encontrados en las semillas de Cochamal de Amazonas evaluadas en la presente investigación.

La diferencia observada entre las longitudes de semilla en *P. volubilis* y *P. huayllabambana* se debe a la constitución genética para las especies (Iqbal *et al.*, 2008), así como a las interacciones de la genética de los cultivares con las condiciones medioambientales donde se desarrollan los cultivares (Bazán Cubas, 2014). Iqbal *et al.* (2008), en la respuesta genotípica de las especies *Brassica juncea* y *B. napus*, observaron diferencias morfológicas entre las dos especies y sus genotipos. Con respecto a las diferencias dentro de *P. volubilis*, Bazán Cubas (2014) en la obtención de híbridos a partir de líneas S3, observó diferencias en caracteres morfológicos a nivel de semillas cosechadas en la región San Martín. Dentro de la investigación las semillas evaluadas proceden de diferentes altitudes (ver Tabla 6), lo cual explica su variabilidad y dispersión.

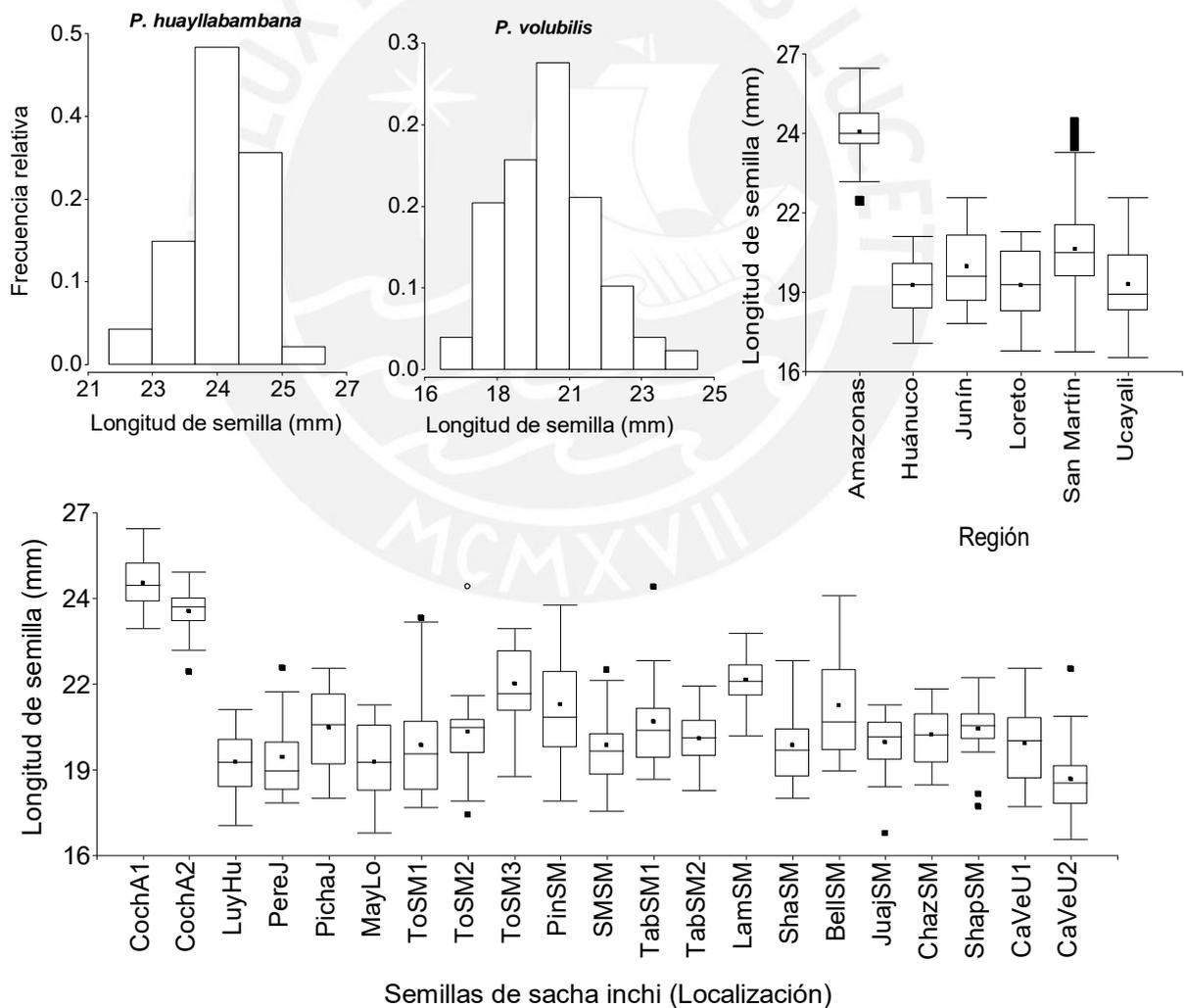


Figura 9. Distribución de la longitud de semilla, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

3.1.3 Espesor de semilla de sachá inchi

El espesor de las semillas de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* es diferente en ambas especies. Las semillas de *P. huayllabambana* de la región Amazonas presentaron mayor espesor cuya dispersión promedio se encontró alrededor de 16 mm. En el caso de *P. volubilis* las dispersiones se encontraron alrededor de 9 mm en las semillas de las regiones de Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali (ver Figura 10).

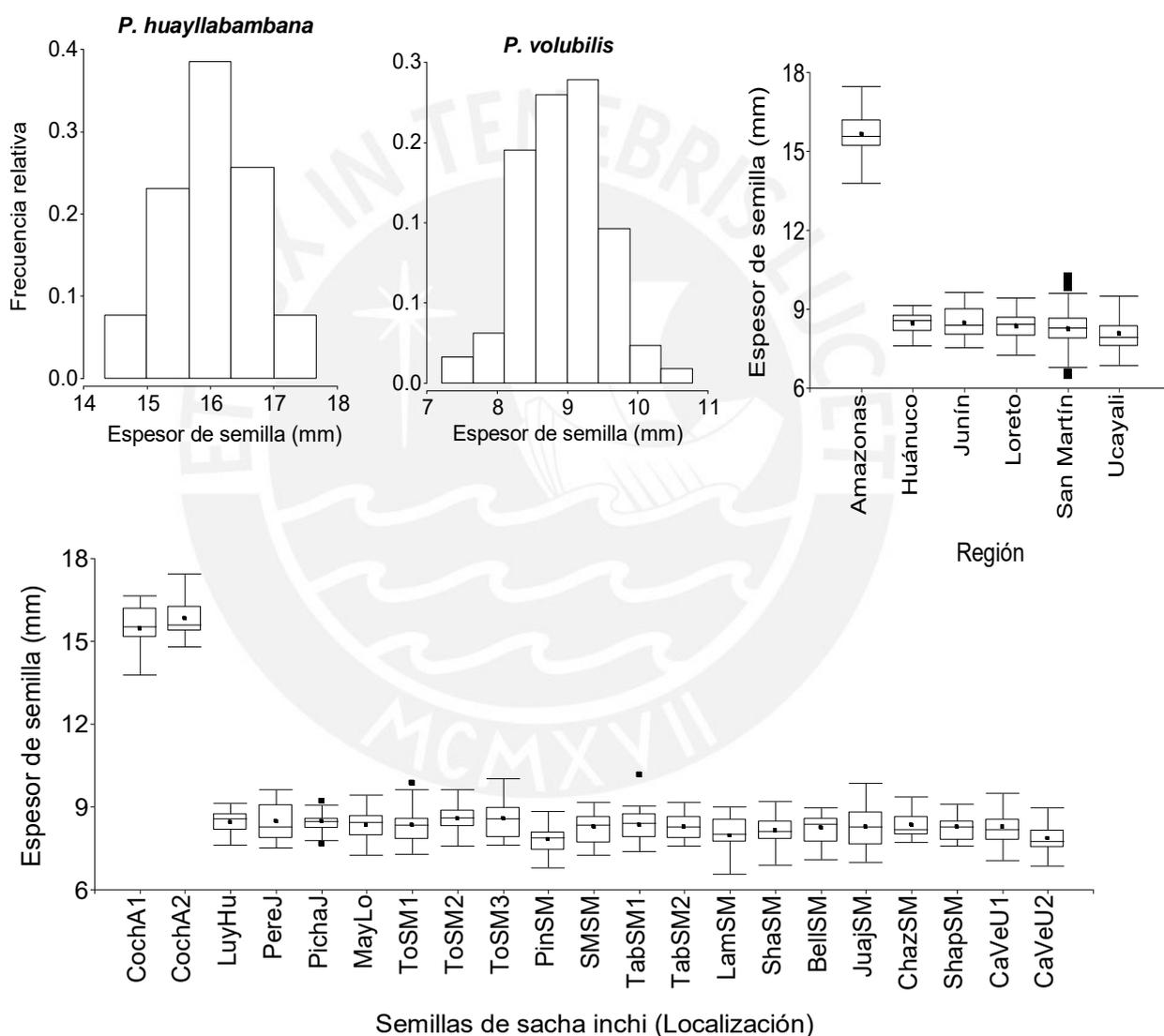


Figura 10. Distribución del espesor de semilla, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

P. huayllabambana en la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). El número de semillas evaluadas fue 20 según localización.

El anova del espesor de semilla en *P. huayllabambana* de Amazonas reveló que no existen diferencias significativas para los dos (2) fundos evaluados en Cochamal. Sin embargo, en *P. volubilis* se observaron diferencias altamente significativas en *p-valor* menores que 0,001. Las semillas de Tocache de los fundos 2 y 3 de San Martín, Pichanaki y el Perené de Junín presentaron los mayores valores promedio de espesor de semilla con 8,94, 8,93, 8,83 y 8,83 mm, respectivamente. Los menores espesores de semilla se encontraron en las semillas de Pinto recodo (8,18 mm) de San Martín. De acuerdo con los diagramas de caja según localización, no se observaron dispersiones significativas del espesor de semilla según especie (ver Figura 10). Zuloeta Arias (2014), en su investigación con 16 accesiones de *P. volubilis* del INIA Perú, reportó espesores de semilla entre 7,3 mm (PER000405, PER000406-B) y 8,1 mm (PER000394). Comparando estos resultados con los valores encontrados en la presente investigación se observa de manera general que fueron inferiores, cercanos a los encontrados en las semillas de Pinto recodo (8,18 mm) que presentaron el menor espesor.

Las diferencias encontradas para el carácter en *P. huayllabambana* y *P. volubilis* se explican por la constitución genética en ambas especies. En relación a las diferencias dentro de la especie, en la presente investigación la constitución genética y las interacciones genotipo x ambiente fueron significativas y dependientes de la altitud (Tabla 6). Al respecto, Bazán Cubas (2014) en los 30 tratamientos obtenidos del proceso de hibridación de líneas S3 en *P. volubilis*, determinó espesores entre 7 mm para T3, T13, T24, y 8,1 mm para T1, T12, T17; inferiores a los encontrados en la presente investigación. El manejo agronómico y cosecha de los híbridos se realizó según diseño completo al azar que minimice las interacciones genéticas con el medioambiente, cuya diferencia fue principalmente la línea autofecundada L2 como progenitor femenino que produjo híbridos con diferentes caracteres fenotípicos.

3.1.4 Peso de semilla de sachá inchi

El carácter peso de semilla se determinó considerando 20 semillas de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* seleccionadas al azar, así como 10 repeticiones de grupos de 100 semillas escogidas al azar de los lotes colectados a nivel de productores. Zuloeta Arias (2014), en 16 accesiones de sachá inchi, consideró peso de semilla promedio por

muestra de *P. volubilis*. Otros investigadores como Montes Osorio *et al.* (2014) en el estudio a nivel mundial con 182 accesiones de *Jatropha* de Asia (91), Africa (35), América del Sur (9) y América Central (47), de las cuales 07 accesiones fueron del Perú, consideraron cuatro (4) semillas seleccionadas al azar por accesión para la determinación del peso semilla, peso de cáscara y peso de almendra. Sin embargo, otros investigadores como Arévalo (1996) y Bazán Cubas (2014) consideraron el peso de 100 semillas. En la presente investigación se consideraron el peso de 20 semillas y peso de 10 grupos de 100 semillas, cuyas diferencias se muestran en la Figura 11.

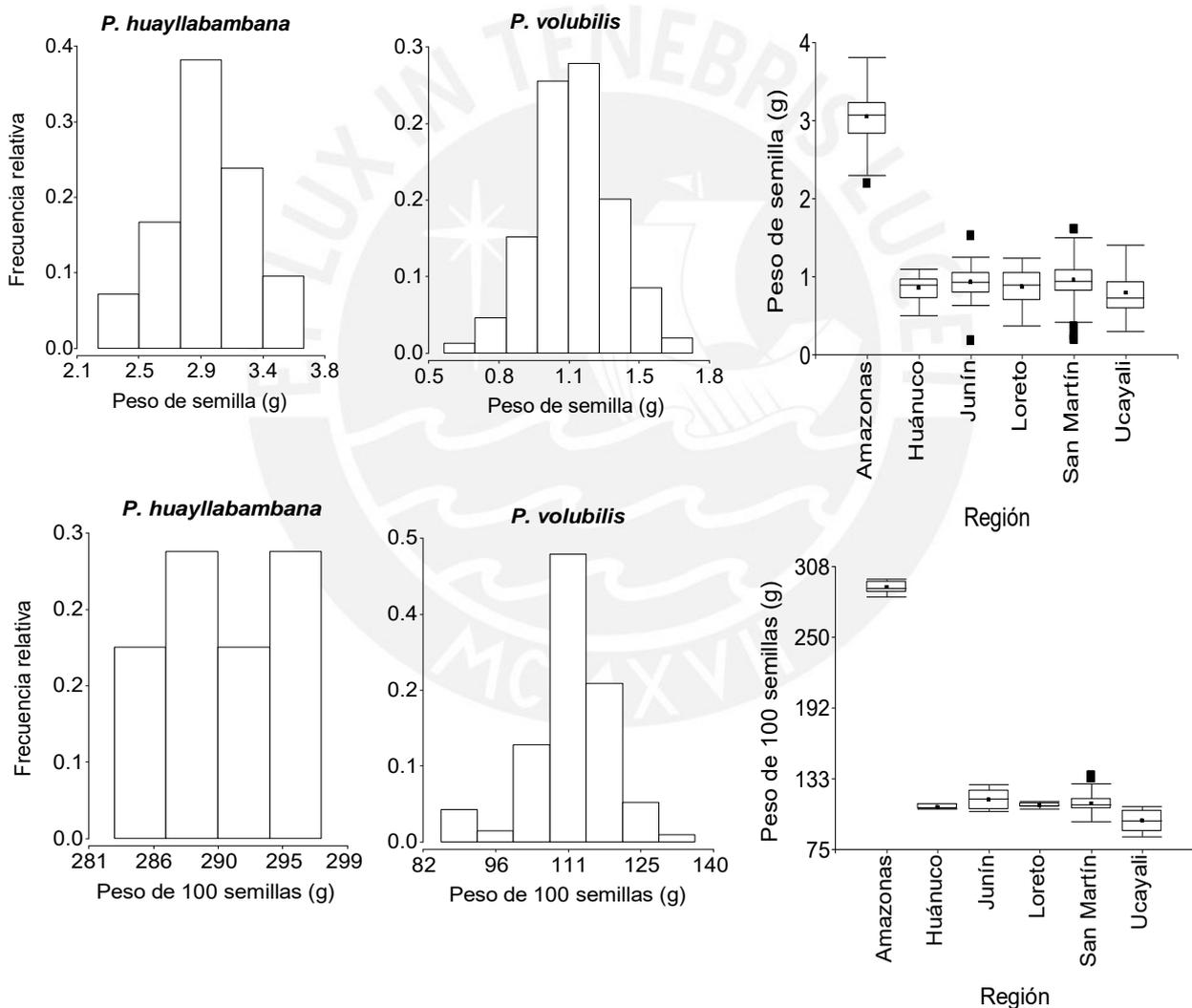


Figura 11. Distribución del peso de semilla, peso de 100 semillas y diagramas de caja según las regiones estudiadas de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

P. huayllabambana en la región Amazonas, y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali. El número de semillas evaluadas fue 20 para peso de semilla y 10 grupos de 100 semillas según localización.

Las distribuciones del peso de semilla para *P. huayllabambana* y *P. volubilis* se encontraron alrededor de 2,9 y 1,1 g respectivamente, siendo el peso de semilla más alto en *P. huayllabambana*, ver Figura 11. Las distribuciones del parámetro muestran diferencias entre las dos especies. En los pesos de 100 semillas para ambas especies se observaron menores dispersiones. El anova del peso de semilla y peso de 100 semillas para las dos (2) muestras de *P. huayllabambana* reveló que no existen diferencias significativas entre las muestras de la región Amazonas (CochA1: 290,38 g; CochA2: 290,56 g). Con respecto a *P. volubilis* se observaron diferencias altamente significativas para el peso de semilla. Las semillas de Tocache del fundo 3 (1,38 g) de San Martín presentaron el mayor peso de semilla con respecto a las otras semillas, y las semillas del fundo 2 de Campoverde de Ucayali presentaron el menor peso de semilla (0,92 g). Para el peso de 100 semillas, el anova reveló que las semillas de Tocache del fundo 3 (132,76 g) y de Pichanaki (123,98 g) de Junín presentaron significativamente los mayores pesos promedio de 100 semillas, los menores pesos se encontraron en las semillas de Juanjui de San Martín (101,24 g) y Campoverde del fundo 2 (90,05 g) de Ucayali. Los pesos de 100 semillas de la región San Martín presentaron la mayor dispersión para este parámetro, la cual se explica por la cantidad de muestras estudiadas en *P. volubilis*. Con respecto a la distribución de los caracteres según regiones, la Figura 11 revela una menor dispersión para el peso de 100 semillas y diferencia de manera significativa a la región Amazonas y las regiones productoras de *P. volubilis*.

En relación al peso de semilla, Gong *et al.* (2018), en el estudio del rendimiento de semillas en *P. volubilis* por el uso eficiente de la irrigación y fertilización en el sureste de China, encontraron pesos de semilla promedio entre 1,238 y 1,309 g para los tratamientos CK, APRI20, DI20, DI50 y FI durante los meses de diciembre-abril del 2015-2016, similares a los encontrados en la presente investigación. Niu *et al.* (2014), en otra investigación en China con el cultivo de sacha inchi, encontraron valores cercanos a 1 g para el peso de semillas de *P. volubilis*, similares a los encontrados en el fundo 2 de Campoverde de Ucayali (0,92 g) y Shapaja de San Martín (1,10 g). Zuloeta Arias (2014) reportó en su investigación con *P. volubilis* valores inferiores del peso de semilla para los 16 cultivares del INIA Perú con pesos entre 0,65 g para la accesión PER000406-B y los 0,82 g para la accesión PER000395.

Con respecto al peso de 100 semillas, Arévalo (1996), en las evaluaciones del peso de 100 semillas en la EEA El Porvenir del INIA de la región San Martín, reportó pesos entre 69,40 y 91,16 g para los ecotipos de Tambo Yaguas de Loreto y Pinto recodo de San Martín, respectivamente, similares a los encontrados en la presente investigación para las muestras de Campoverde del fundo 2 de la región Ucayali (90,05 g), que presentaron los valores más bajos del peso en esta investigación. Solis Leyva (2018), en la conservación y mejoramiento genético del sacha inchi en San Martín para el periodo 2007-2016, en el Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP), reportó pesos de 100 semillas de 85,34 g (L1), 101 g (L2), 83,14 g (L4), 78,74 g (L5), 83,42 g (L6) y 82,3 g para el rendimiento de líneas autofecundadas S_3 de líneas promisorias, que fueron inferiores a los pesos encontrados en la presente investigación, con excepción de la L2, que fue similar a semillas de Campoverde del fundo 2 de Ucayali. Posteriormente, la generación e hibridación intraespecífica de semillas de *P. volubilis* produjo pesos de 100 semillas entre 98,52 - 109,77 g para T1, T10, T12, T17, T22 y T27 de 30 híbridos, cuyos valores estuvieron dentro de los encontrados en la presente investigación. La selección masal estratificada para dos poblaciones mejoradas del IIAP de la accesión Shica después del primer y segundo ciclo produjo pesos de 100 semillas de 117,06 y 131,96 g, respectivamente; mientras que para Mishquiyacu 118,37 y 124,16 g para el primer y segundo ciclo, respectivamente; que estuvieron entre los valores encontrados en la presente investigación (Saboya Chávez, 2015).

El carácter peso de semilla y peso de 100 semillas en *P. huayllabambana* y *P. volubilis* a nivel de lugares de colecta revela el comportamiento de los cultivares bajo determinada altitud y característica agroecológica. En *P. huayllabambana* de la región Amazonas, para el carácter peso de semilla se observaron variabilidades (desviación estándar) de 0,30 y 0,32, y para el peso de 100 semillas valores de 4,46 y 4,88, respectivamente, para CochA1 y CochA2. Las semillas del fundo CochA2 presentaron una variabilidad superior pero no significativa (ver Figura 12), que se explica por que las altitudes fueron ligeramente diferentes (Tabla 6). En el caso de *P. volubilis*, donde se observaron diferencias significativas, las variabilidades del peso de semilla se encontraron entre 0,12 (ChazSM) y 1,72 (TabSM1), mientras que para el peso de 100 semillas la mayor

variabilidad se encontró en las semillas del fondo 1 de Tocache de la región San Martín (ToSM1, 5,94), y la menor variabilidad en el Fundo de Shanao de la Región San Martín (ShaSM, 1,53), ver Figura 12.

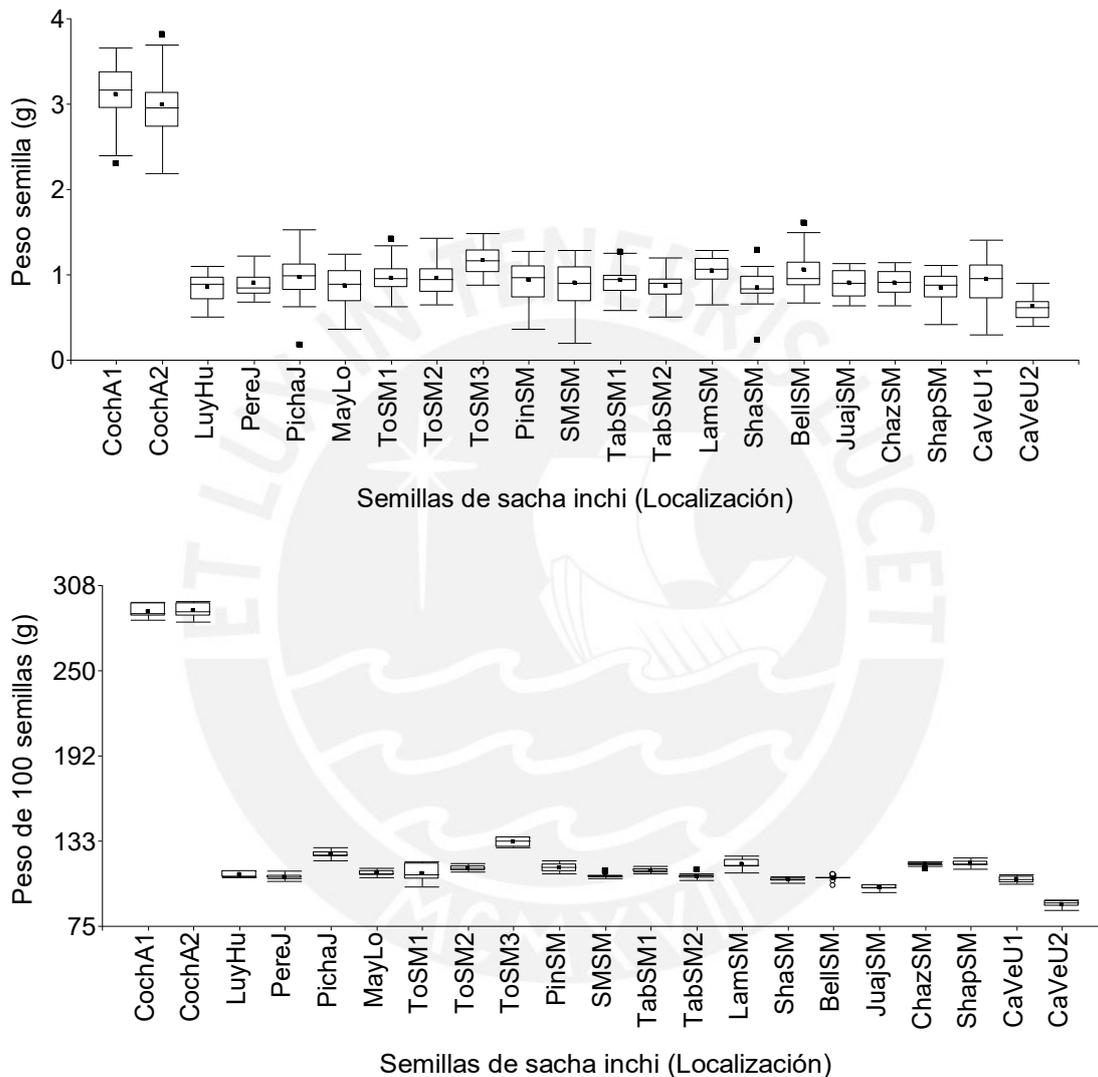


Figura 12. Diagramas de caja del peso de semilla y peso de 100 semillas, según localización de colecta de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

P. huayllabambana en la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). El número de semillas fue 20 para peso de semilla y 10 para peso de 100 semillas según localización.

El análisis de correlación entre altura de colecta y los caracteres peso de semilla y peso de 100 semillas revela las diferencias encontradas en *P. volubilis* donde las relaciones fueron altamente significativas ($p \leq 0,001$). Esto explica que las diferencias observadas entre los diferentes cultivares dependen de la genética del cultivar y de la interacción genotipo x ambiente. Bazán Cubas (2014), en la obtención de híbridos a partir de líneas S3, encontró valores de peso de 100 semillas entre 75,08 y 94,83 para los tratamientos T13 y T1, respectivamente, que atribuye las diferencias al genotipo de los progenitores con un efecto dominante del progenitor femenino. En relación a la expresión del peso de semilla según diferentes lugares de colecta, Pusadee *et al.* (2017), en el estudio de la diversidad fenotípica y genotípica de perilla (*Perilla frutescens* L.) en diferentes zonas productoras del norte de Tailandia, encontraron diferentes pesos de 1000 semillas en las 29 muestras colectadas, confirmando la correlación significativa encontrada en la presente investigación sobre los efectos medioambientales de la altitud de zona de colecta (Tabla 6) con el peso de semilla en el sachá inchi. Asimismo, el análisis de correlación entre el peso de semilla y el peso de 100 semillas resultó ser significativa en *P. volubilis*.

3.1.5 Peso de cáscara de semilla de sachá inchi

Dentro de los procesos de producción y transformación de las semillas de sachá inchi, se obtienen las cáscaras de sachá inchi, que son su principal residuo. Las evaluaciones de los residuos se expresaron como peso de cáscara de semilla evaluados en 20 semillas y peso de cáscara de 100 semillas con 10 repeticiones. Las distribuciones del peso de cáscara se presentan en la Figura 13. En las semillas de *P. huayllabambana* las distribuciones del peso de cáscara de semilla estuvieron alrededor de 1,01 g y alrededor de 0,45 g para *P. volubilis*. Comparando los resultados con los pesos de cáscara de 100 semillas de sachá inchi, se observan distribuciones asimétricas con sesgo hacia la derecha, con distribuciones para *P. huayllabambana* y *P. volubilis* en valores de 107,61 y 40,40 g, respectivamente, ver Figura 13. Estas distribuciones del peso de cáscara de semilla y peso de cáscara de 100 semillas muestran las diferencias que existen entre las especies *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

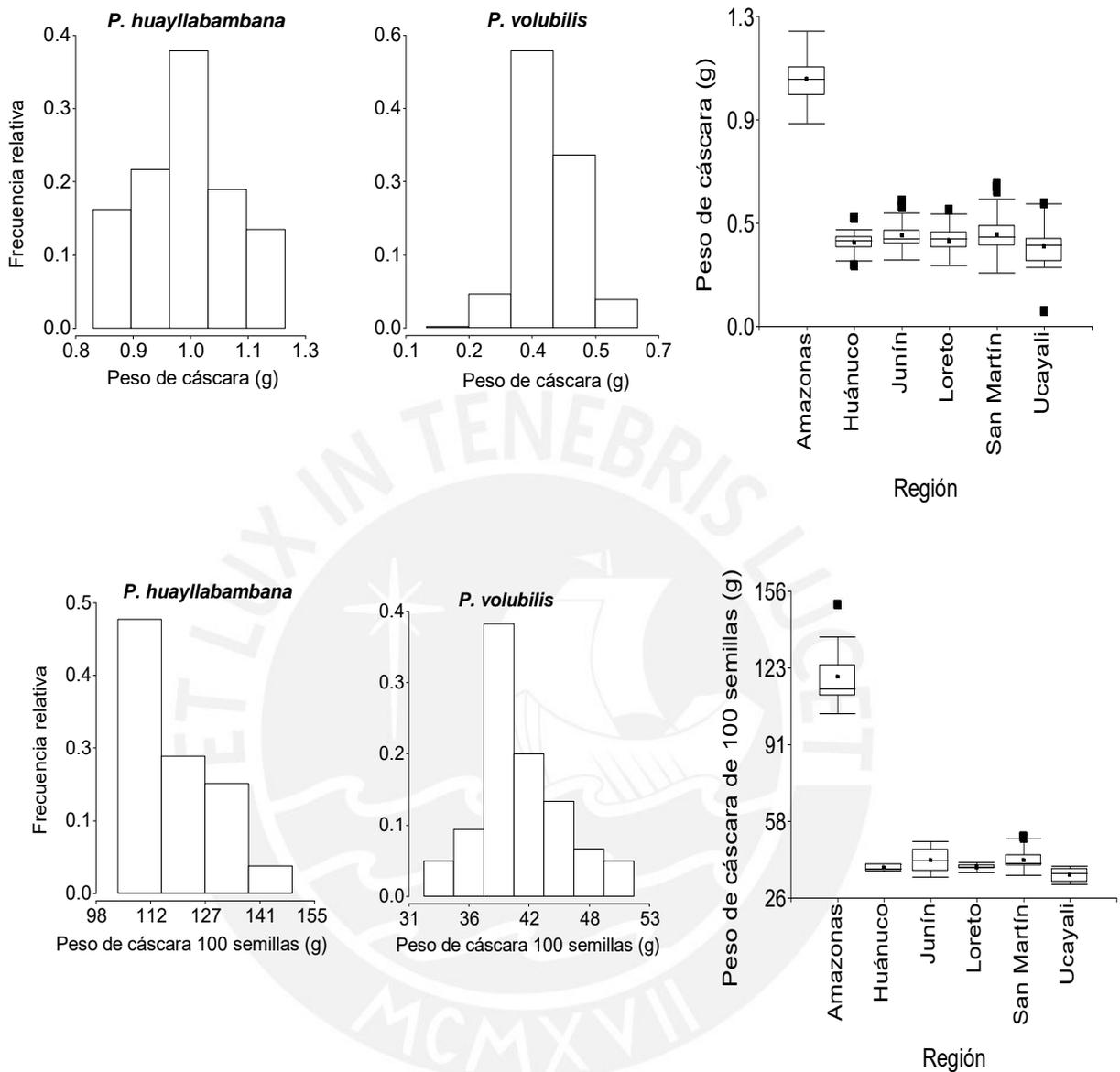


Figura 13. Distribución del peso de cáscara, peso de cáscara de 100 semillas y diagramas de caja según las regiones estudiadas de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

P. huayllabambana en la región Amazonas y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali. El número de evaluaciones fue 20 en peso de cáscara de semilla y 10 en peso de cáscara de 100 semillas según localización.

Los pesos de cáscara evaluados según anova en semillas de Cochamal de los dos fundos evaluados, no mostraron diferencias significativas y sus pesos promedio de cáscara fueron 1,06 y 1,00 g para el fundo 1 y 2, respectivamente. Sin embargo, en *P. volubilis* el anova reveló diferencias altamente significativas ($p \leq 0,0001$) entre las muestras

colectadas en las diferentes regiones. En el caso del peso de cáscara de 100 semillas, el anova mostró en *P. huayllabambana* diferencias altamente significativas ($p \leq 0,0003$), donde los pesos de cáscara de 100 semillas fueron superiores para el fundo 2 de Cochamal (127,58 g), que no se observó cuando se evaluaron los pesos de cáscara de semilla individual (ver Figura 14). Asimismo, el anova del peso de cáscara en 100 semillas de *P. volubilis* reveló diferencias altamente significativas entre las diferentes muestras colectadas en las regiones de Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali. Este parámetro es importante porque muestra la cantidad de material que se desecha de las semillas de sachá inchi. A nivel regional, en relación al peso de cáscara, se observan diferencias significativas para el peso de cáscara entre las semillas de la Región Amazonas correspondientes a *P. huayllabambana* y las regiones donde prospera *P. volubilis*, ver Figura 13. La mayor variabilidad del peso de cáscara de semilla se observó en la región Amazonas para *P. huayllabambana* (0,09), mientras que en la región Huánuco (0,04) se observó la menor variabilidad en *P. volubilis*; con respecto al peso de cáscara de 100 semillas se observó una mayor variabilidad de los pesos de cáscara en la región Amazonas (11,39) en *P. huayllabambana*, mientras que en *P. volubilis* se observó una mayor variabilidad en la región Junín (4,81) y la menor variabilidad en la región Loreto (1,20), ver Figura 13.

En la actualidad, gran parte de estos residuos de cáscara de las semillas de sachá inchi son utilizados por los productores de sachá inchi en la preparación de abonos o simplemente eliminados en el campo. De acuerdo a las evaluaciones realizadas en el peso de cáscara de semilla y el peso de cáscara de 100 semillas, se observó una mayor variabilidad en el peso de cáscara de semilla (ver Figura 14). Entre los resultados encontrados dentro las muestras para los pesos de cáscara de 100 semillas en la región Amazonas para *P. huayllabambana*, se observa que en el fundo 1 de Cochamal se tuvo rendimientos de cáscara cercanos al 38 %, mientras que en el Fundo 2 estos residuos se incrementaron a los 44 % (ver Figura 14, Tabla 7). En el caso de *P. volubilis*, los rendimientos de cáscara se encontraron entre los 35 % para la muestra de la localidad del Perené en Junín (PereJ) y los 41 % en la localidad de Chazuta (ChazSM) de la región San Martín, ambos en valores promedio. Estos resultados revelan: i) diferencias del carácter morfológico evaluado en cuanto a la especie, cuyas diferencias se observan en

caracteres similares en otros estudios (Tlili *et al.*, 2011; H. Yu *et al.*, 2017), ii) diferencias genéticas dentro de la especie (Bazán Cubas, 2014) que deben confirmarse por análisis moleculares (Rodríguez *et al.*, 2010), y iii) diferencias de expresión según las condiciones medioambientales, así como la interacción genotipo x ambiente, donde se produce el sacha inchi. En ese sentido, existen diferencias significativas del peso de cáscara de 100 semillas con respecto a la altitud que se describen como rendimientos de cáscara en la Tabla 7.

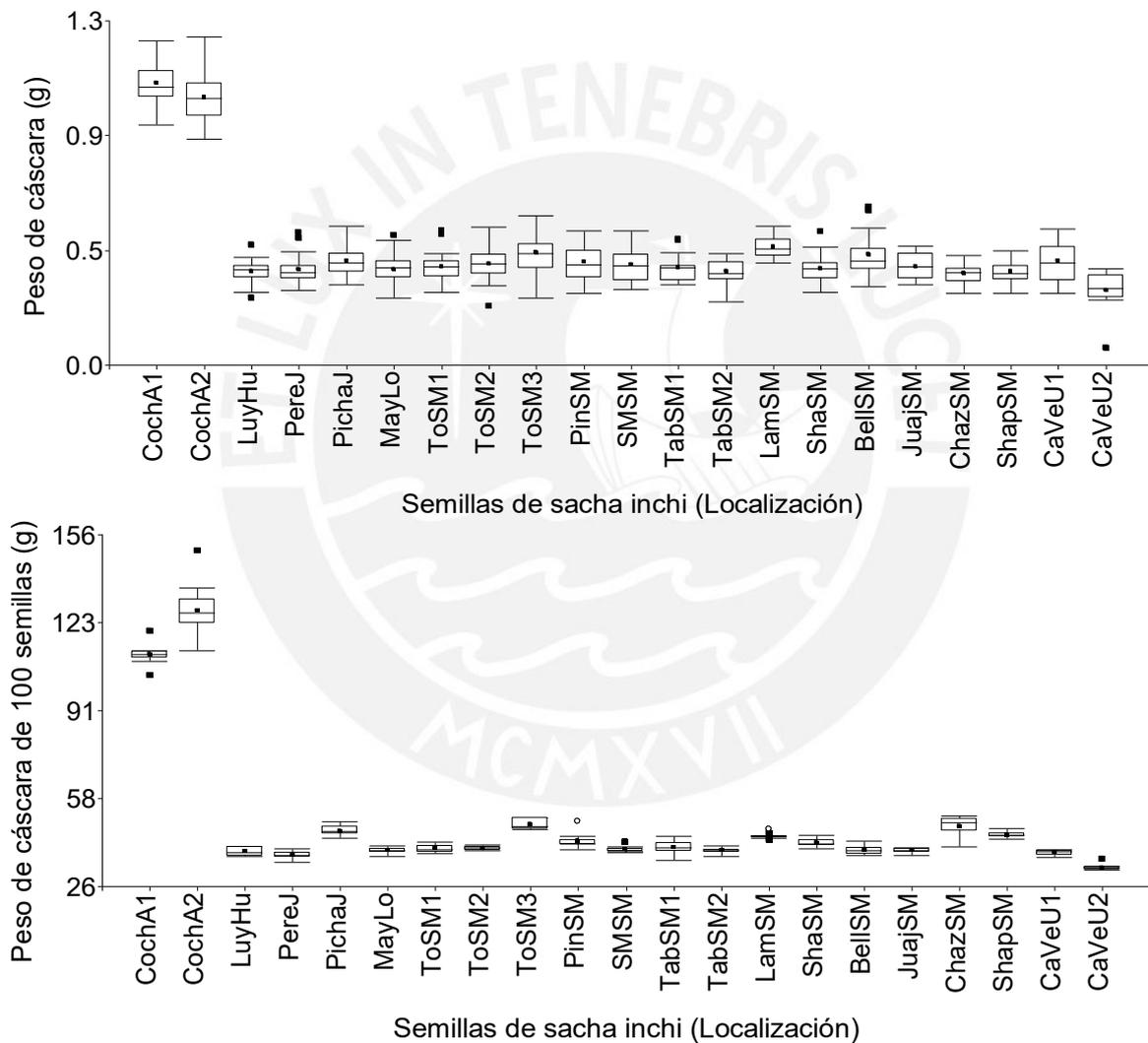


Figura 14. Diagramas de caja del peso de cáscara y peso de cáscara de 100 semillas según localización de colecta de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

P. huayllabambana en la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). El número de evaluaciones fue 20 para peso de semilla y 10 para peso de cáscara de 100 semillas según localización.

En relación al aprovechamiento de los residuos de cáscaras de sachá inchi, en la actualidad se desarrollan tecnologías innovativas, tales como el aprovechamiento de la biomasa como biosorbentes de contaminantes metálicos de iones del plomo y cobre (Kumar *et al.*, 2016); la generación de gas combustible como producto de la gasificación de las semillas de sachá inchi usando reactor de tubo (Lakkhana *et al.*, 2017); o la extracción asistida con microondas de metabolitos secundarios con valor en el mercado, como los compuestos fenólicos (Sanchez-Reinoso *et al.*, 2020).

Tabla 7. Rendimiento de cáscara de 100 semillas (%) según Lugares de colecta de semillas de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

| Especie | Altitud (m) | Rendimiento de cáscara de 100 semillas (%) | | | | | Total | |
|--------------------------|-------------|--|---------|-------|--------|------------|-------|---------|
| | | Amazonas | Huánuco | Junín | Loreto | San Martín | | Ucayali |
| <i>P. volubilis</i> | 200 | | | | 35 | | 37 | 2 |
| | 400 | | | | | 36-39 | 36 | 8 |
| | 600 | | | | | 35-36 | | 4 |
| | 800 | | 35 | | | 35, 37 | | 2 |
| | 1000 | | | 35 | | 38 | | 2 |
| | 1200 | | | | 38 | | | 1 |
| <i>P. huayllabambana</i> | 1800 | 38, 44 | | | | | | 2 |
| Total muestras | | 2 | 1 | 2 | 1 | 13 | 2 | 21 |

En *P. huayllabambana* se consideró en el intervalo 1600 – 1800 m de altitud.

3.1.6 Peso de almendra de semilla de sachá inchi

La almendra, que se obtiene del descascarado de la semilla de sachá inchi, corresponde a la porción comestible que se destina a la producción de aceite y su consumo en alimentos (Cárdenas Proaño, 2015; Vásquez Osorio, 2016; Rawdkuen *et al.*, 2016; Vásquez-Osorio *et al.*, 2017; Torres Cubas, 2017; Yovera Mendez y Ruddy Gianni, 2018; Vanegas-Azuero y Gutiérrez, 2018; Marotta Lima *et al.*, 2019).

La cantidad de almendra en las semillas, se evaluó a través del peso de almendra (g) y peso de almendra de 100 semillas (g). Las distribuciones del parámetro distinguen *P. huayllabambana* (1,98 g) y *P. volubilis* (0,81 g), siendo superiores el peso de almendra y peso de almendra de 100 semillas en la especie *P. huayllabambana*, ver Figura 15.

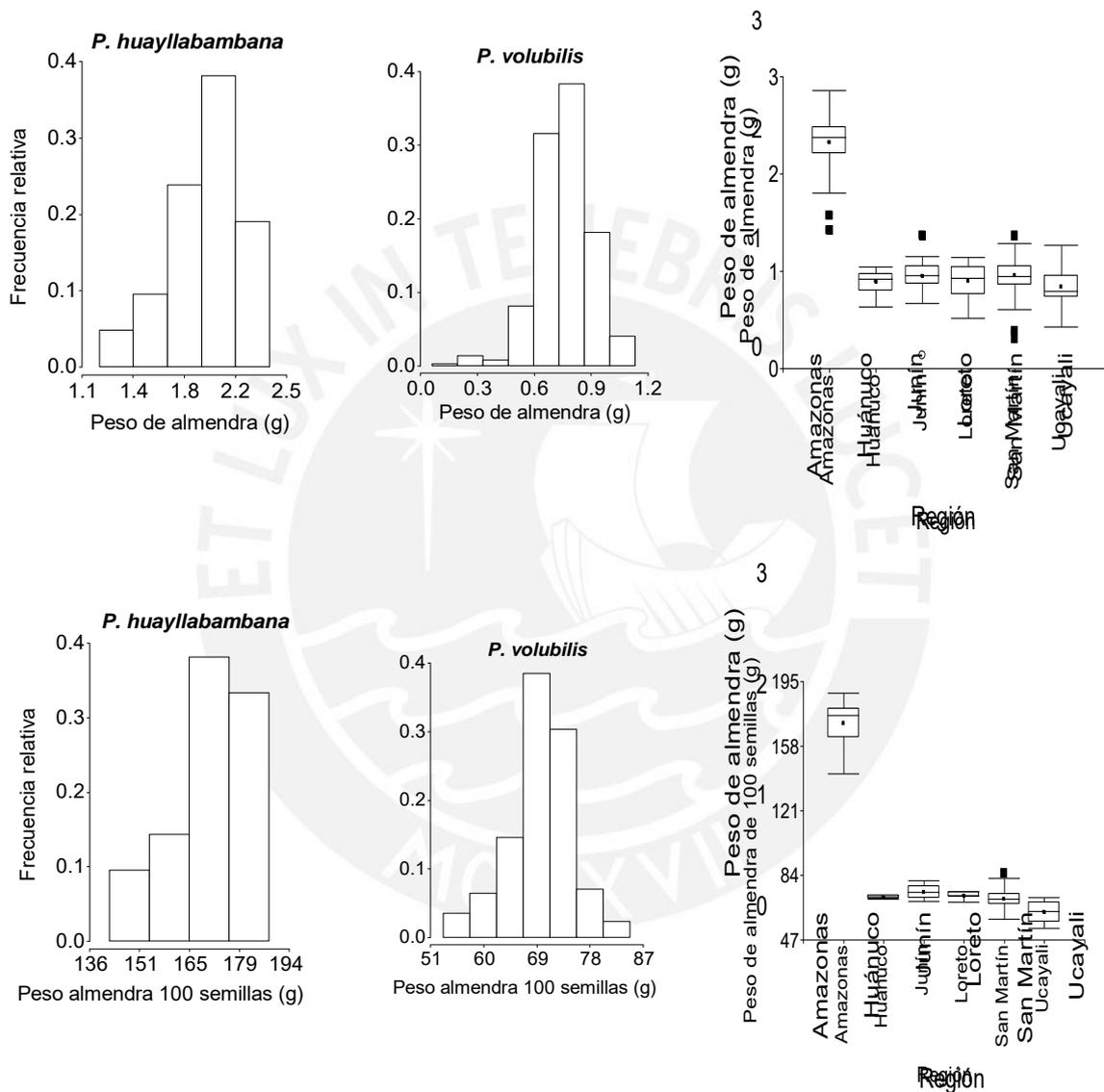


Figura 15. Distribución del peso de almendra, peso de almendra de 100 semillas y diagramas de caja según las regiones estudiadas de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*. *P. huayllabambana* en la región Amazonas y *P. volubilis* en las regiones de Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali. El número de evaluaciones fue 20 en peso de almendra y 10 en peso de almendra de 100 semillas según localización.

Los diagramas de caja del peso de almendra y peso de almendra de 100 semillas según las regiones estudiadas (ver Figura 15) distinguen a *P. huayllabambana* de la región Amazonas, de *P. volubilis* de las regiones Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali. Se observó una mayor variabilidad del peso de almendra con respecto al peso de almendra de 100 semillas a nivel regional en las dos especies (13,23 % con respecto a 7,20 % en *P. huayllabambana* en Amazonas). Los diagramas de caja según localización de colecta del parámetro evaluado se presentan en la Figura 16.

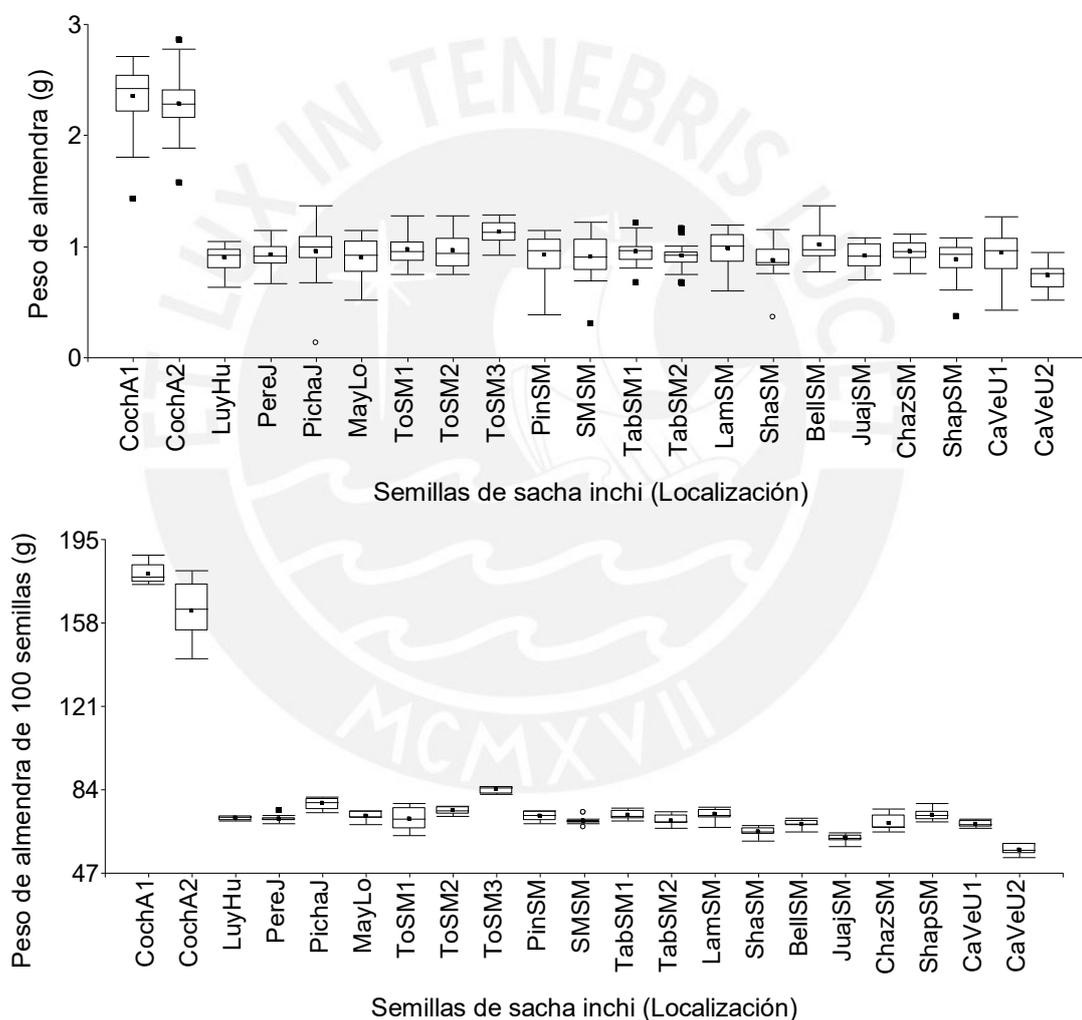


Figura 16. Distribución del peso de almendra, peso de almendra de 100 semillas, y diagramas de caja según las regiones estudiadas de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*. *P. huayllabambana* en la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). El número de evaluaciones fue 20 en peso de almendra y 10 en peso de almendra de 100 semillas según localización.

El anova del peso de almendra de las semillas de los dos campos de Cochamal de *P. huayllabambana* en Amazonas no mostró diferencias estadísticas, las semillas se encontraron entre 1,93 y 1,98 g para los pesos promedio de almendra. En relación al anova del peso de almendra en *P. volubilis*, el análisis identificó a las almendras del fundo 3 de Tocache (0,94 g), Bellavista (0,84 g) y Lamas (0,81 g) de la región San Martín con los mayores pesos promedio de almendra; los pesos de almendra más bajos se encontraron en Shapaja (0,72 g) de San Martín y el fundo 2 de Campoverde (0,61 g) de Ucayali (ver Figura 15). Para el peso de almendra de 100 semillas, el anova en *P. huayllabambana* de los 2 fundos de Cochamal reveló diferencias significativas ($p \leq 0,0013$), donde los pesos de almendra de 100 semillas del fundo 1 fueron superiores (179,01 g) al fundo 2 (162,98 g). Para *P. volubilis* el anova mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0,0001$), revelando que los mayores pesos de almendra de 100 semillas, se encontraron en el fundo 3 de Tocache (83,85 g) de la región San Martín y en Pichanaki (77,47 g) de Junín. Los pesos de almendra de 100 semillas más bajos se encontraron en Shapaja (64,90 g) y Juanjui (62,05 g) de San Martín, y el fundo 2 de Campoverde (57,03 g) de Ucayali, ver Figura 16.

Con respecto al carácter, Zuloeta Arias (2014), en la caracterización de las almendras de 16 cultivares de sacha inchi conservados en el INIA Perú, identificó a los cultivares PER000395 (0,54 g), PER017598 (0,54 g) y PER000394 (0,52 g) con los mayores pesos de almendra para *P. volubilis*, cuyos valores fueron inferiores a los encontrados en la presente investigación.

Las diferencias encontradas para el peso de almendra y peso de almendra de 100 semillas entre *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, se deben a su constitución genética, que fue descrito en otros caracteres morfológicos de otras especies que pertenecen al mismo género (Iqbal *et al.*, 2008); asimismo, las diferencias encontradas para el peso de almendra de 100 semillas de *P. huayllabambana* en los dos fundos en Cochamal se deben a las interacciones genotipo x ambiente, donde la altitud y sus condiciones agroecológicas influyen de manera significativa ($p \leq 0,0013$). En el caso de *P. volubilis* el carácter mostró diferencias altamente significativas para el peso de almendra y peso de almendra de 100 semillas, donde se observan interacciones significativas entre el

genotipo del cultivar x el ambiente, dando como resultado, relaciones altamente significativas con la altitud (peso de almendra versus altitud ($p \leq 0,0004$) y peso de almendra de 100 semillas versus altitud ($p \leq 0,0013$). La correlación entre el peso de almendra y peso de almendra de 100 semillas resultó también significativa ($p \leq 0,0078$). Al respecto, Bazán Cubas (2014) encontró en caracteres morfológicos de *P. volubilis* diferencias entre tratamientos obtenidos de líneas S3, cuyos caracteres se vieron fuertemente influenciados por el progenitor femenino.

3.1.7 Rendimiento de almendra de semilla de sachá inchi

Una característica importante a tener en cuenta dentro de la producción del sachá inchi en campo y su procesamiento en planta industrial, es conocer el cultivar, las condiciones agroecológicas que permitan obtener los mayores rendimientos de semilla y los rendimientos de almendra a partir de la semilla cosechada. En una planta industrial es deseable el procesamiento con la mayor cantidad de almendra a partir de las semillas cosechadas o adquiridas en el mercado, y el parámetro que nos ayuda a tomar decisiones correctas es el rendimiento de almendra de las semillas. Conociendo el rendimiento de almendra se puede conocer la cantidad de materia prima a procesar. Con respecto al rendimiento de semillas, Gong *et al.* (2018) en su investigación relacionada con el rendimiento y el uso eficiente de la irrigación y fertilización en los periodos vegetativo y reproductivo de plantas de *P. volubilis* en China, encontraron diferencias significativas en los rendimientos de semilla para los cultivares CK, APRI20, DI20, DI50 y FI bajo diferentes condiciones de irrigación y fertilización, en los meses de enero, febrero, marzo y abril, incrementándose el total de semillas con la fertilización.

El rendimiento de almendra se evaluó considerando 20 semillas individuales y 10 grupos de 100 semillas. Las distribuciones en ambas mediciones revelan diferencias entre las dos especies para el carácter rendimiento de almendra de 100 semillas. Con respecto al rendimiento de almendra se observa una mayor dispersión en *P. volubilis*. El diagrama de cajas a nivel de las regiones estudiadas revela una mayor dispersión en la región San Martín, no habiendo diferencias significativas para el parámetro dentro de *P. huayllabambana*, dentro de *P. volubilis* y entre las especies, ver Figura 17.

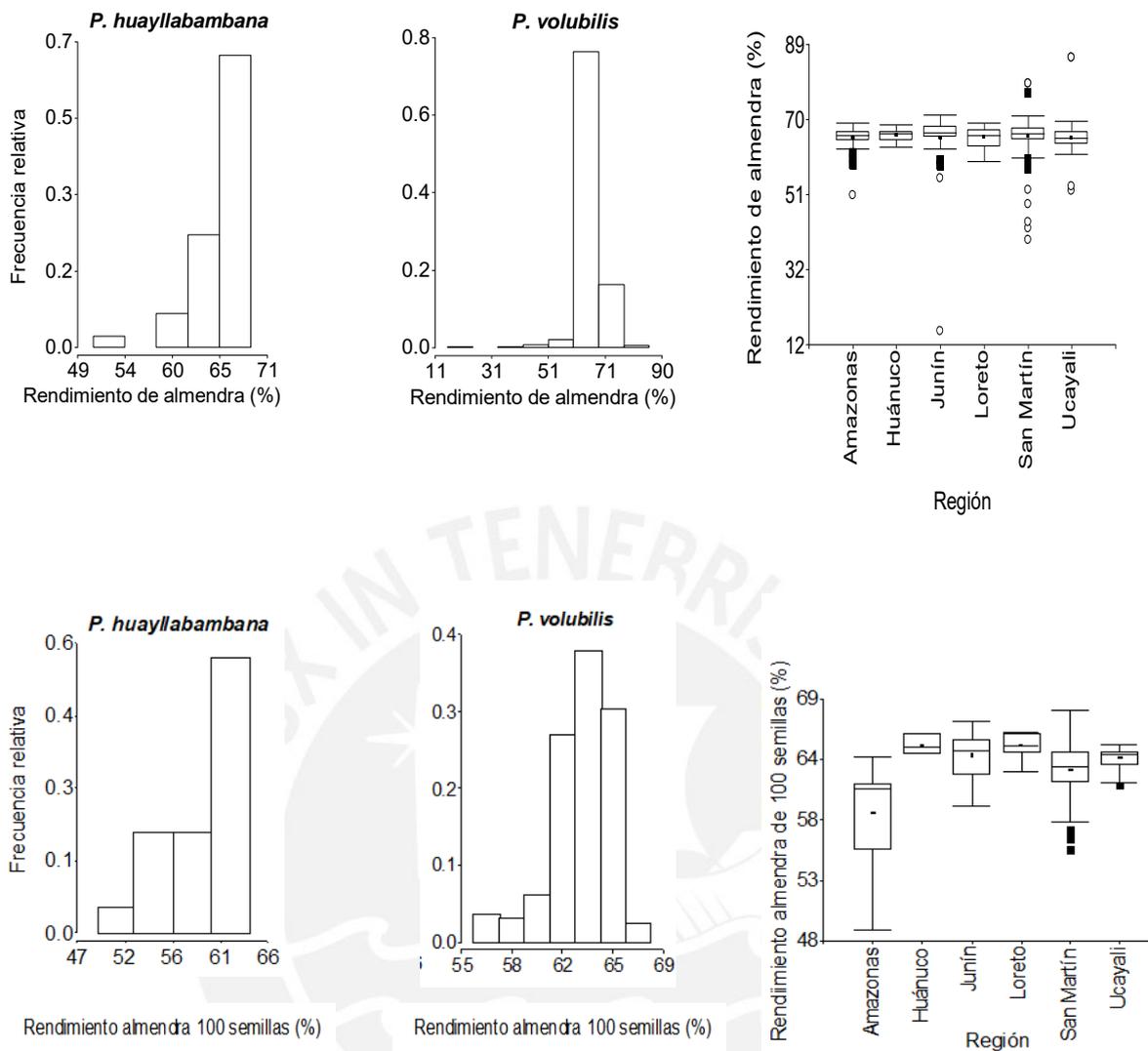


Figura 17. Distribución del rendimiento de almendra, rendimiento de almendra de 100 semillas, y diagramas de caja según regiones estudiadas de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

P. huayllabambana en la región Amazonas, y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali. El número de evaluaciones fue 20 en rendimiento de almendra y 10 en rendimiento de almendra de 100 semillas según localización.

En relación al rendimiento de almendra de 100 semillas, las distribuciones en la Figura 17 revelan diferencias entre las dos especies, ambas con sesgo hacia la izquierda. Los diagramas de caja del carácter evaluado para la región Amazonas de *P. huayllabambana* presentó la mayor dispersión en relación a las regiones donde prospera *P. volubilis*. El anova revela diferencias altamente significativas ($p \leq 0,0004$) para el parámetro en *P.*

huayllabambana, donde el fundo 1 de Cochamal (61,65 %) fue superior al fundo 2 (56,07 %) de la misma localidad. En *P. volubilis* el anova muestra diferencias altamente significativas ($p \leq 0,0001$), identificando a las muestras de Perené (65,31 %) de Junín, fundo 2 de Tocache (64,97 %) de San Martín, Luyando (64,78 %) de Huánuco y de Maynas (64,73 %) de Loreto, con los valores más altos, mientras que los rendimientos de almendra en 100 semillas de sacha inchi fueron más bajos en las semillas de Shapaja (60,67 %) y Chazuta (58,74 %) de la región San Martín (ver Figura 18).

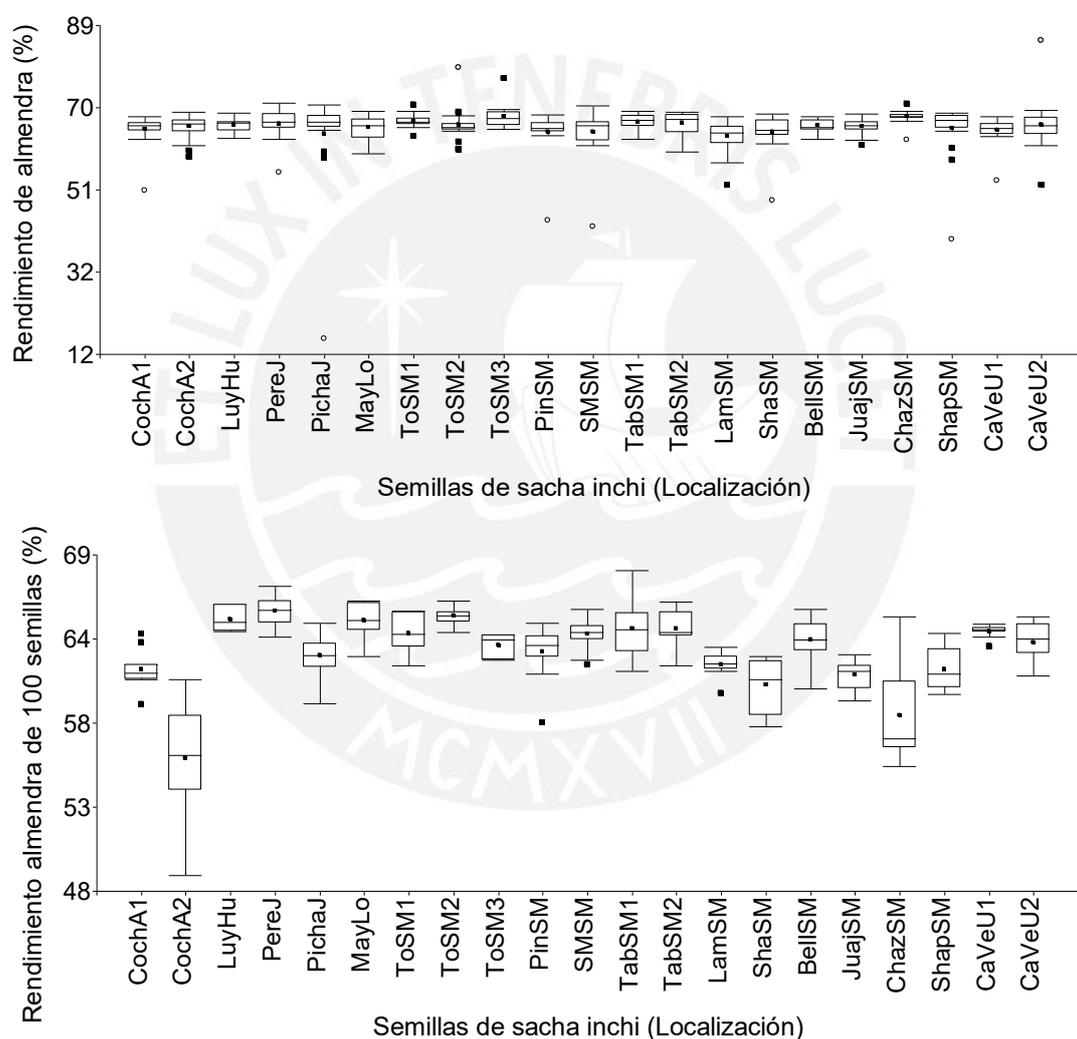


Figura 18. Diagramas de caja del rendimiento de almendra y rendimiento de almendra de 100 semillas según localización de colecta de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*. *P. huayllabambana* en la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). El número de evaluaciones fue 20 en rendimiento de almendra y 10 en rendimiento de almendra de 100 semillas según localización.

Zuloeta Arias (2014), en la caracterización de los rendimientos de cáscara y almendra de 16 cultivares de *P. volubilis* conservados por el INIA Perú, reportó rendimientos de almendra entre 62,53 – 66,18 %, sobresaliendo los cultivares PER000395-A (66,16 %), PER000416 (66,18 %) y PER000418 (66,13 %), los cuales fueron en todos los casos inferiores a los rendimientos encontrados en la presente investigación.

Solis Leyva (2018), dentro de las investigaciones realizadas en el IIAP con semillas de sachá inchi, reportó características sobresalientes de las poblaciones mejoradas en dos ciclos de selección masal estratificada (población original-primer ciclo-segundo ciclo) de las accesiones promisorias Shica y Mishquiyacu. Los rendimientos de cáscara fueron 48% - 46% - 48% para Shica y 51% - 46,3% - 46,5% para Mishquiyacu, correspondiendo, respectivamente, los rendimientos de almendra de 52% - 54% - 52% para Shica y 49% - 53,7% - 53,5% para Mishquiyacu, en los dos ciclos de selección masal. La comparación de estos resultados con los encontrados en la presente investigación, muestra de manera general rendimientos inferiores de almendra de 100 semillas para *P. volubilis*; por ejemplo, el parámetro encontrado en la región Ucayali del fundo 2 de Campoverde (57,03 %) que presentó el valor más bajo en la presente investigación fue superior a los reportados por Solis Leyva (2018). Por su parte Arévalo (1996), en la evaluación del primer año de producción de sachá inchi con los ecotipos seleccionados Pinto Recodo (4-3) de San Martín, Tambo Yaguas (23-2) de Loreto, Muyuy (25-3) de Loreto y Río Putumayo (24-4) de Loreto, reportó respectivamente rendimientos de almendra de 52,37 %, 53,34 %, 52,34 % y 52,79 % para los ecotipos mencionados. Estos parámetros se evaluaron en el banco de germoplasma de sachá inchi de la EEA El Porvenir con tutores vivos (*Erythrina sp.*) en San Martín, los cuales se encuentran por debajo de los rendimientos encontrados en la presente investigación.

Este parámetro es importante debido a que está relacionado con la porción comestible y lo recomendable es disponer de semillas con altos rendimientos de almendra para su uso en la industria, el cultivo a nivel de productores y su utilización en programas de mejoramiento genético. Los bajos rendimientos de almendra se asocian con mayores porcentajes de cáscara en las semillas.

Las diferencias que existen entre los rendimientos de almendra de 100 semillas para *P. huayllabambana* y *P. volubilis* se debe a las diferencias genéticas entre ambas especies expresadas en sus pesos de almendra y semilla, como se observaron en diferentes especies de brasicáceas a nivel de caracteres morfológicos (Iqbal *et al.*, 2008). Con respecto, a las diferencias que existen dentro de cada especie estudiada en la presente investigación, se observaron correlaciones del rendimiento de almendra de 100 semillas con la altitud, las cuales fueron altamente significativas para *P. huayllabambana* ($p \leq 0,0004$) y significativas para *P. volubilis* ($p \leq 0,0134$). La Tabla 8 presenta la expresión del carácter según la altitud de colecta, que se explica por la interacción entre genotipo del cultivar x ambiente donde se desarrolla el cultivo. Otros investigadores, como Solis Leyva (2018) y Zuloeta Arias (2014) encontraron semejantes resultados a los encontrados en la presente investigación, para los diferentes ecotipos de *P. volubilis*.

Tabla 8. Rendimiento de almendra de 100 semillas (%) según Lugares de colecta de semillas de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

| Especie | Altitud (m) | Rendimiento de almendra de 100 semillas (%) | | | | | Ucayali | Total |
|--------------------------|-------------|---|---------|-------|--------|------------|---------|-------|
| | | Amazonas | Huánuco | Junín | Loreto | San Martín | | |
| <i>P. volubilis</i> | 200 | | | | 65 | | 37 | 2 |
| | 400 | | | | | 61-64 | 36 | 8 |
| | 600 | | | | | 64-65 | | 4 |
| | 800 | | 65 | | | 65, 63 | | 2 |
| | 1000 | | | 65 | | 62 | | 2 |
| | 1200 | | | | 62 | | | 1 |
| <i>P. huayllabambana</i> | 1800 | 62, 56 | | | | | | 2 |
| Total muestras | | 2 | 1 | 2 | 1 | 13 | 2 | 21 |

En *P. huayllabambana* se consideró en el intervalo 1600 – 1800 m de altitud.

3.1.8 Diversidad morfológica de las semillas de sachá inchi

Dentro de las secciones 3.1.1 y 3.1.7 se describieron los caracteres morfológicos evaluados en las semillas de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*. Se evaluó su variabilidad según distribuciones de frecuencia, diagramas de caja a nivel regional y zonas de colecta, así como sus diferencias entre las especies y dentro de la especie. En la Tabla 9 se presenta el resumen de los parámetros morfológicos en términos de su promedio, coeficiente de variabilidad, mínimo y máximo, de las dos especies estudiadas.

Tabla 9. Parámetros morfológicos de semillas de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

| Parámetro morfológico | Media | | CV (%) | | Mínimo | | Máximo | |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | <i>P. h</i> | <i>P. v</i> |
| Diámetro semilla (mm) | 21,21 | 17,01 | 4,04 | 7,42 | 18,80 | 14,02 | 22,66 | 20,98 |
| Longitud semilla (mm) | 24,21 | 19,99 | 3,59 | 7,27 | 21,90 | 16,72 | 26,34 | 24,52 |
| Espesor semilla (mm) | 15,78 | 8,64 | 4,67 | 6,93 | 14,06 | 6,94 | 17,66 | 10,50 |
| Peso semilla (g) | 2,98 | 1,17 | 10,36 | 16,74 | 2,25 | 0,54 | 3,64 | 1,75 |
| Peso 100 semillas (g) | 290,47 | 111,00 | 1,57 | 7,34 | 283,07 | 85,61 | 297,49 | 136,13 |
| Peso cáscara (g) | 1,03 | 0,40 | 8,73 | 16,32 | 0,85 | 0,10 | 1,22 | 0,61 |
| Peso cáscara 100 semillas (g) | 119,48 | 41,02 | 9,53 | 9,83 | 103,72 | 32,00 | 149,62 | 51,98 |
| Peso almendra (g) | 1,96 | 0,77 | 13,23 | 18,92 | 1,19 | 0,08 | 2,42 | 1,14 |
| Peso almendra 100 semillas (g) | 170,99 | 69,98 | 7,20 | 7,81 | 141,97 | 53,54 | 187,83 | 85,03 |
| Almendra (%) | 65,32 | 65,71 | 4,98 | 7,01 | 50,65 | 15,72 | 69,19 | 85,96 |
| Almendra 100 semillas (%) | 58,86 | 63,06 | 6,78 | 3,40 | 48,69 | 55,55 | 63,86 | 67,86 |

CV: Coeficiente de variabilidad. *P. h*: *P. huayllabambana*. *P. v*: *P. volubilis*.

El número de evaluaciones por semilla fueron 20 por muestra colectada, y para evaluaciones en 100 semillas se consideraron 10 repeticiones.

Diversidad de semillas de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*

En la presente investigación, para conocer la diversidad de las 21 muestras de *P. volubilis* y *P. huayllabambana*, se realizaron análisis exploratorios de conglomerados y PCA, según los parámetros morfológicos de espesor de semilla (Es), longitud de semilla

(Ls), diámetro de semilla (Ds), peso de semilla (Ps), peso de cáscara (Pc), peso de almendra (Pa), rendimiento de almendra (Ra), peso de 100 semillas (Ps100), peso cáscara de 100 semillas (Pc100), peso almendra de 100 semillas (Pa100) y rendimiento almendra de 100 semillas (Ra100). El análisis de conglomerados busca congregar elementos con máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos, que se agrupan según diagrama de árbol. Para la presente investigación se consideró el método de *Ward* y la distancia *Euclídea* para evaluación de similaridad (Anexo 8). El dendrograma obtenido diferencia dos agrupaciones constituidas por: i) *P. huayllabambana* (CochA1 y CochA2), y ii) *P. volubilis* (PinSM, PichaJ, LamSM, ShaSM, ShapSM, JuajSM, SMSM, CaVeU1, ToSM3, ChazSM, MayLo, LuyHu, CaVeU2, ToSM1, TabSM2, TabSM1, ToSM2, PereJ y BellSM). Los caracteres morfológicos distinguieron ambas especies, ver Figura 19.

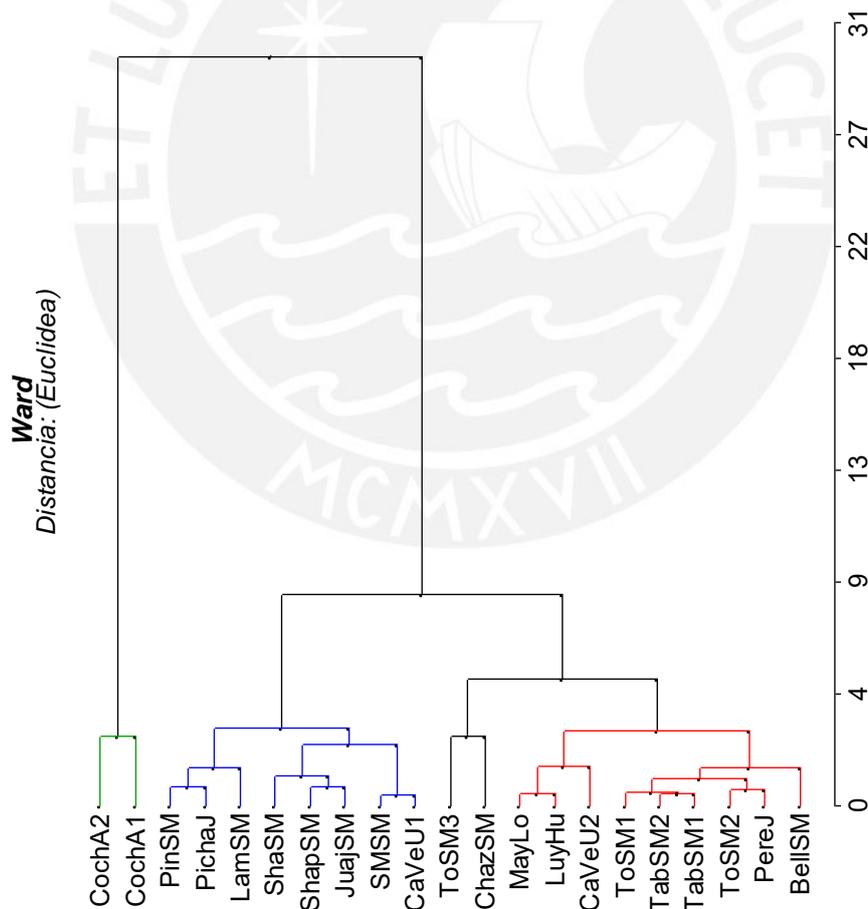


Figura 19. Dendrograma de las 21 muestras de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* según los parámetros morfológicos de semilla.

Los parámetros morfológicos de las 21 muestras de las semillas de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, por otro lado, se evaluaron según PCA. Este análisis exploratorio, representa a los primeros componentes principales (PCs) como los poseedores de la mayor varianza. Para el presente estudio, se consideraron los dos primeros PCs, los cuales explicaron la mayor variabilidad encontrada en los parámetros morfológicos de las 21 muestras colectadas de sachá inchi. El PCA obtenido con los caracteres morfológicos revela niveles de probabilidad altos (91,2 %) que aseguran distinción entre las especies *P. volubilis* y *P. huayllabambana*, ver Figura 20. El PC1 se asoció a una probabilidad del 81,90 % y el PC2, a 9,30 % (el análisis discriminante sobre los caracteres morfológicos confirma los resultados del PCA, Anexo 12). En la parte central del PCA, Figura 20, se muestran las variables evaluadas y su asociación con los PCs (ver Tabla 10).

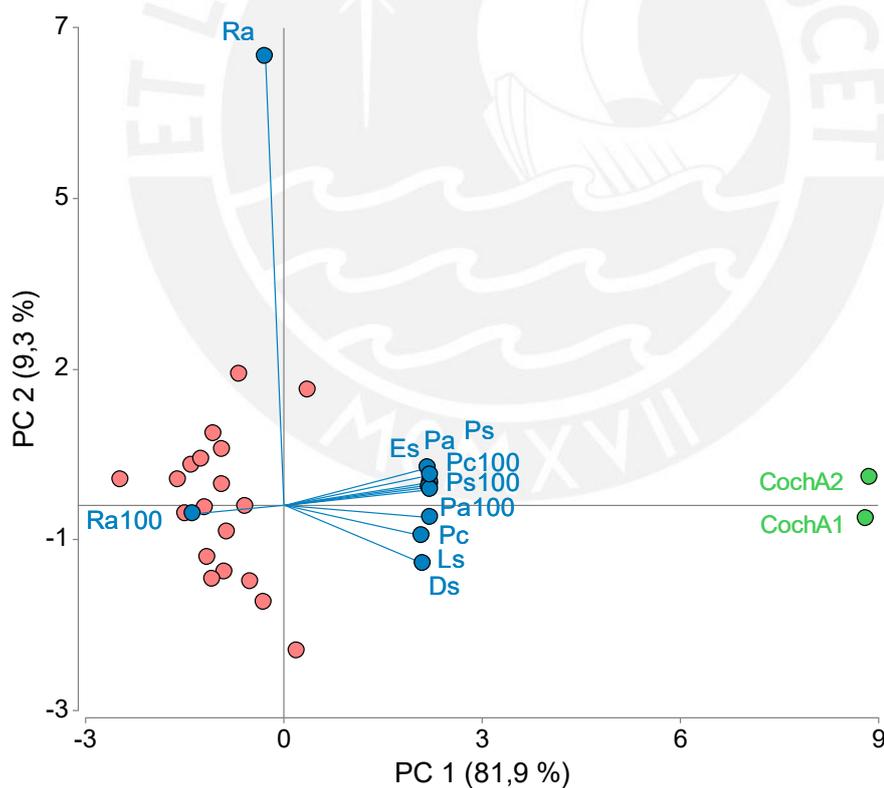


Figura 20. PCA de las 21 muestras de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* según los parámetros morfológicos de semilla.
P. huayllabambana: ●, *P. volubilis*: ●

Los autovalores y autovectores encontrados con las variables analizadas y correlaciones entre las variables con los PC1 y PC2, para las 21 muestras de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, obtenidos del PCA, se presentan en la Tabla 10. Se proporciona información adicional en el Anexo 9.

Tabla 10. Autovalores, autovectores y correlaciones de las variables morfológicas de las semillas de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, según PCA.

| Autovalores | | | | Autovectores | | | Correlaciones | |
|-------------|---------|---------|------|--------------|-------|-------|---------------|-------|
| L | V | P | PA | Var | e1 | e2 | PC1 | PC2 |
| 1 | 9,01 | 0,82 | 0,82 | Ps100 | 0,33 | 0,04 | 0,99 | 0,05 |
| 2 | 1,02 | 0,09 | 0,91 | Pc100 | 0,33 | 0,05 | 0,99 | 0,05 |
| 3 | 0,68 | 0,06 | 0,97 | Pa100 | 0,33 | 0,04 | 0,99 | 0,04 |
| 4 | 0,25 | 0,02 | 1,00 | Ra100 | -0,21 | -0,02 | -0,62 | -0,02 |
| 5 | 0,03 | 2,5E-03 | 1,00 | Ds | 0,31 | -0,13 | 0,94 | -0,13 |
| 6 | 0,02 | 1,4E-03 | 1,00 | Ls | 0,31 | -0,07 | 0,93 | -0,07 |
| 7 | 4,6E-03 | 4,2E-04 | 1,00 | Es | 0,33 | 0,08 | 0,98 | 0,08 |
| 8 | 1,3E-03 | 1,1E-04 | 1,00 | Ps | 0,33 | 0,03 | 0,99 | 0,03 |
| 9 | 2,6E-04 | 2,4E-05 | 1,00 | Pc | 0,33 | -0,03 | 0,99 | -0,03 |
| 10 | 2,1E-07 | 1,9E-08 | 1,00 | Pa | 0,33 | 0,07 | 0,99 | 0,07 |
| 11 | 3,4E-11 | 3,1E-12 | 1,00 | Ra | -0,04 | 0,98 | -0,12 | 0,99 |

L: lambda. V: valor. P: proporción. PA: proporción acumulada. Var: variable. PC1: componente principal 1. PC2: componente principal 2. Ps100: peso de 100 semillas. Pc100: peso cáscara de 100 semillas. Pa100: peso almendra de 100 semillas. Ra100: rendimiento almendra de 100 semillas. Ds: diámetro de semilla. Ls: longitud de semilla. Es: espesor de semilla. Ps: peso de semilla. Pc: peso de cáscara. Pa: peso de almendra. Ra: rendimiento de almendra. Correlación cofenética= 0,993.

En referencia, a la diversidad fenotípica y genotípica del sachu inchi. Rodríguez *et al.* (2010) en el estudio de la diferenciación morfológica y por ISSR de las especies del género *Plukenetia* (Euphorbiaceae), que considera análisis de hojas, flores, frutos y semillas encontraron que las características morfológicas más importantes entre las especies fueron la forma de las semillas (desde redondeadas hasta ligeramente lenticuladas), la testa de las semillas, el aspecto liso o rugoso y el tamaño de la semilla (ver Figura 2). Estas diferencias, se observaron también en el presente estudio para *P. volubilis* y *P. huayllabambana* (ver Figuras 19 y 20), donde las similitudes y diferencias de los caracteres fenotípicos a nivel de semilla (Es, Ls, Ds, Ps, Pc, Pa, Ra, Ps100, Pc100,

Pa100, Ra100), permitieron distinguir a las especies en el presente estudio. En los Anexos 1 y 2, se presenta Información adicional correspondiente a la taxonomía de las especies. El análisis molecular del género *Plukenetia* con marcadores moleculares ISSR confirmó las diferencias significativas entre las seis diferentes taxas del género (Rodríguez *et al.*, 2010), los cuales confirman las diferencias morfológicas del presente estudio.

Diversidad de semillas de Plukenetia volubilis

Con respecto a la especie *P. volubilis*, el análisis de diversidad se realizó teniendo en cuenta los análisis de conglomerados y PCA en las 19 muestras colectadas en las regiones de Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali. Estos análisis multivariantes tuvieron en cuenta los parámetros morfológicos: Es, Ls, Ds, Ps, Pc, Pa, Ra, Ps100, Pc100, Pa100 y Ra100, los cuales se presentan en la Figura 21.

El análisis de conglomerados de *P. volubilis*, según el método de *Ward* y la distancia *Euclídea* para los análisis de similaridad, según Figura 21, reveló un dendrograma con 5 agrupaciones (clústers) en las semillas evaluadas, identificados en el PCA (ver Figura 21):

Clúster I: Conformado por ToSM3 (fundo 3 Tocache, San Martín), se caracteriza por presentar valores elevados de rendimiento de almendra de 100 semillas y espesor de almendra,

Clúster II: Constituido por PinSM y LamSM (Pinto Recodo y Lamas, San Martín), el clúster se caracteriza por los valores más altos de peso de 100 semillas, peso de cáscara de 100 semillas, peso de almendra de 100 semillas, rendimiento de almendra de 100 semillas, diámetro de semilla, longitud de semilla, espesor de semilla, peso de semilla, peso de cáscara y peso de almendra,

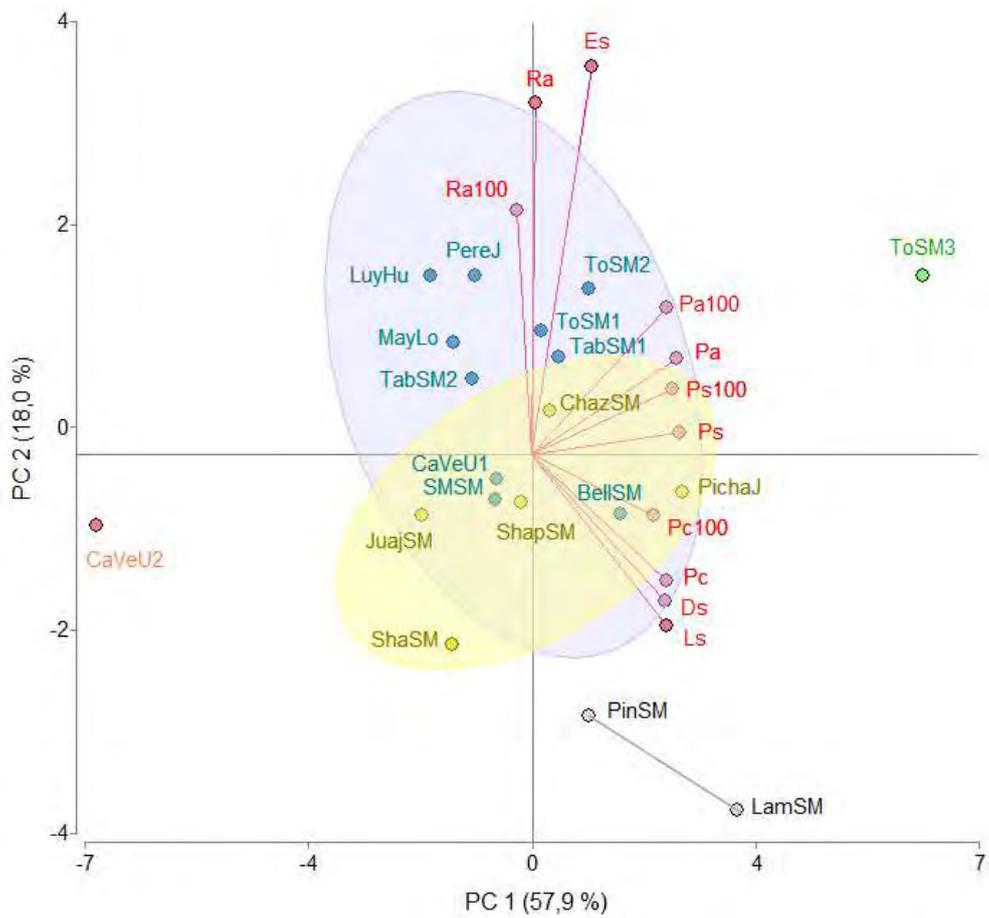
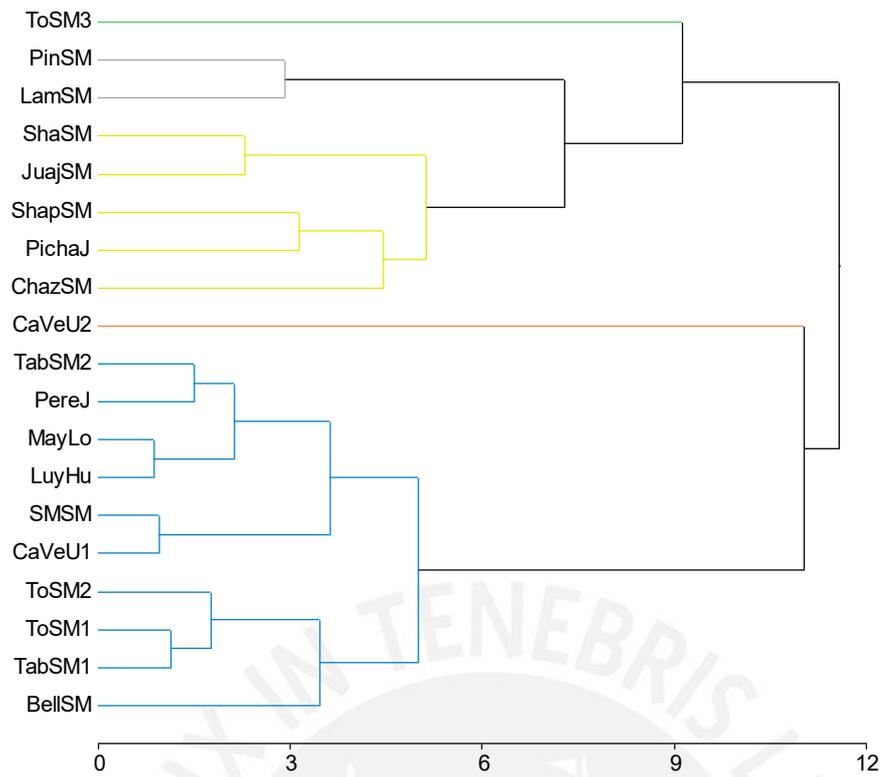


Figura 21. Dendrograma y PCA de 19 muestras de *P. volubilis* según los parámetros morfológicos de semilla.

- Clúster III:* Conformado por ShaSM, JuajSM, ShapSM, PichaJ y ChazSM (Shanao, Juanjui, Shapaja y Chazuta de San Martín, y Pichanaki de Junín). El clúster se caracteriza por presentar los valores más bajos de peso de 100 semillas, peso de cáscara de 100 semillas, peso de almendra de 100 semillas, diámetro de semilla, longitud de semilla, espesor de semilla, peso de semilla, peso de cáscara y peso de almendra; sin embargo, el clúster presenta rendimientos elevados de almendra de 100 semillas,
- Clúster IV:* Conformado por CaVeU2 (fundo 2 Campoverde, Ucayali), el clúster se caracteriza por presentar los valores más bajos de rendimiento de almendra de 100 semillas y espesor de semilla,
- Clúster V:* Constituido por dos subagrupaciones, TabSM2, PereJ, MayLo, LuyHu, SMSM, CaVeU1, y el subgrupo conformado por ToSM2, ToSM1, TabSM1 y BellSM. El clúster se caracteriza por presentar valores intermedios en los parámetros evaluados y elevados valores de diámetro de semilla, longitud de semilla y peso de cáscara. Es el clúster más numeroso.

El PCA construido con las 19 muestras de *P. volubilis* y las variables morfológicas de las semillas de sachá inchi de la Figura 21, distingue las agrupaciones del análisis de conglomerados según PC1 (57,90 %) Y PC2 (18,00 %). La probabilidad total encontrada en el PCA fue de 75,90 %, ver Tabla 11. De acuerdo al PCA, los caracteres morfológicos ubicaron a ToSM3 (*Clúster I*) en cuadrante positivo para PC1 y PC2; CaVeU2 (*Clúster IV*) se ubica en cuadrante negativo para PC1 y PC2. Estas semillas presentan características opuestas según los caracteres evaluados. Las semillas de Pinto Recodo (PinSM, San Martín) y de Lamas (LamSM, San Martín), *Clúster III*, se ubicaron en PC1 positivo y PC2 negativo. En la parte central del PCA se distinguen dos agrupaciones, construidas sobre similitudes de los caracteres morfológicos. Dentro del primer clúster se encuentran las muestras de la región San Martín de Shanao (ShaSM), Juanjuí (JuajSM), Shapaja (ShapSM), Chazuta (ChazSM) y Junín (PichaJ, Pichanaki). El segundo clúster, más numeroso, diverso y complejo, se encuentra constituido por las muestras de la región San Martín (Fundo 2 Tocache, ToSM2; fondo 1 Tocache, ToSM1; fondo 1 Tabalosos, TabSM1; Bellavista, BellSM; San Miguel del Río Mayo, SMSM; fUndo 2 Tabalosos, TabSM2), Ucayali (Fundo 1 Campoverde, CaVeU1), Loreto (Maynas, MayLo), Huánuco

(Luyando, LuyHu) y Junín (Perené, PereJ). El análisis discriminante verifica la conformación de las agrupaciones (Anexo 13). Los autovalores, autovectores encontrados con las variables analizadas y correlaciones entre las variables con los componentes principales (PC1 y PC2) para las 19 muestras de *P. volubilis*, obtenidos del PCA, se presentan en la Tabla 11, información adicional se complementa en el Anexo 9.

Tabla 11. Autovalores, autovectores y correlaciones de las variables morfológicas de las 19 muestras de semillas de *P. volubilis*, según análisis de componentes principales.

| Autovalores | | | | Autovectores | | | Correlaciones | |
|-------------|---------|---------|------|--------------|-------|-------|---------------|-------|
| L | V | P | PA | Var | e1 | e2 | PC1 | PC2 |
| 1 | 6,37 | 0,58 | 0,58 | Ps100 | 0,36 | 0,10 | 0,91 | 0,14 |
| 2 | 1,98 | 0,18 | 0,76 | Pc100 | 0,31 | -0,09 | 0,79 | -0,13 |
| 3 | 1,40 | 0,13 | 0,89 | Pa100 | 0,34 | 0,22 | 0,87 | 0,31 |
| 4 | 0,68 | 0,06 | 0,95 | Ra100 | -0,04 | 0,37 | -0,09 | 0,52 |
| 5 | 0,41 | 0,04 | 0,99 | Ds | 0,34 | -0,22 | 0,86 | -0,31 |
| 6 | 0,11 | 0,01 | 0,99 | Ls | 0,34 | -0,26 | 0,87 | -0,36 |
| 7 | 0,05 | 4,8E-03 | 1,00 | Es | 0,15 | 0,59 | 0,39 | 0,82 |
| 8 | 4,8E-03 | 4,4E-04 | 1,00 | Ps | 0,38 | 0,03 | 0,95 | 0,04 |
| 9 | 3,5E-04 | 3,2E-05 | 1,00 | Pc | 0,34 | -0,19 | 0,86 | -0,27 |
| 10 | 1,4E-06 | 1,3E-07 | 1,00 | Pa | 0,37 | 0,15 | 0,93 | 0,20 |
| 11 | 1,1E-09 | 9,8E-12 | 1,00 | Ras | 0,01 | 0,53 | 0,02 | 0,75 |

L: lambda. V: valor. P: proporción. PA: proporción acumulada. Var: variable. PC1: componente principal 1. PC2: componente principal 2. Ps100: peso de 100 semillas. Pc100: peso cáscara de 100 semillas. Pa100: peso almendra de 100 semillas. Ra100: rendimiento almendra de 100 semillas. Ds: diámetro de semilla. Ls: longitud de semilla. Es: espesor de semilla. Ps: peso de semilla. Pc: peso de cáscara. Pa: peso de almendra. Ras: rendimiento de almendra. Correlación cofenética= 0,926.

Los estudios de diversidad utilizando herramientas moleculares y caracteres agromorfológicos son comunes en especies vegetales, así como su incorporación dentro del mejoramiento genético y la obtención de materiales élite con características sobresalientes que demanda el mercado. En ese sentido, los análisis de conglomerados y componentes principales son de gran ayuda porque las transformaciones y algoritmos de información multivariante de naturaleza cualitativa o cuantitativa permite obtener dendrogramas, gráficas de factores o PCA para su interpretación (Yêyinou Loko *et al.*,

2018; Gora *et al.*, 2018). En este estudio utilizamos análisis de conglomerados y PCA para conocer la diversidad de *P. volubilis* colectada en diferentes localidades, altitudes y condiciones agroecológicas. Los resultados indican la conformación de cinco agrupaciones según los caracteres fenotípicos evaluados en semilla. Estas agrupaciones presentan diferentes características; por ejemplo, el *Clúster I* constituido por semillas del fundo 3 de Tocache (ToSM3) se encuentra separado de los otros clústers según distancia *Euclídea* y su ubicación dentro del PCA describe las diferencias de las características fenotípicas a nivel de semillas con respecto a las otras muestras y agrupaciones (ver Figura 21). Por otro lado, la Tabla 11 del PCA muestra una significativa probabilidad acumulada para PC1 y PC2 de 0,759, alrededor del 76 %, y una correlación cofenética de 0,926 altamente significativa, que asegura que los parámetros utilizados en el estudio fueron confiables para el PCA. El análisis multivariante de conglomerados y PCA en este estudio muestran también la conformación de agrupaciones según semejanzas en los parámetros evaluados en las semillas a pesar de pertenecer a diferentes condiciones agroecológicas, altitudes y regiones geográficas. El *Clúster V* conformado por dos sub agrupaciones de semillas de diferentes localidades y regiones de San Martín, Junín, Loreto, Huánuco y Ucayali (TabSM2, PereJ, MayLo, LuyHu, SMSM, CaVeU1, ToSM2, ToSM1, TabSM1 y BellSM) revela, por ejemplo, a nivel de agrupación, valores intermedios en los parámetros evaluados, con valores elevados en diámetro de semilla, longitud de semilla y peso de cáscara. Las similitudes de los parámetros evaluados muestran características fenotípicas parecidas a nivel de semillas, que pueden ser explicados según: i) *Origen genético*, común en semillas de una región que se cultiva en otra localidad o región, los mecanismos de intercambio de semillas a nivel de productores y comunidades puede ser también la causa que evidencie cierta similitud a nivel de los caracteres evaluados, ii) *Hibridación*, el sachá inchi presenta características alogámicas y autogámicas que motivan la formación de híbridos con características de los progenitores, en ese sentido Bazán Cubas, (2014) observó una dominancia del progenitor femenino al obtener diferentes híbridos en su investigación, iii) *Factores medioambientales*, que motivaron la expresión de similares características fenotípicas en las semillas estudiadas, en ese sentido se precisan mayores estudios para conocer la genética de las semillas estudiadas, así como estudios transcriptómicos que

relacionen el carácter fenotípico estudiado a nivel de semilla con cierta región del ADN en *P. volubilis*.

En relación a estudios de diversidad fenotípica y genotípica en *P. volubilis*, Krivankova *et al.* (2012) realizaron el estudio preliminar de diversidad considerando características morfológicas y genéticas en 20 muestras colectadas entre el 2008 y 2010 en tres comunidades de Pucallpa (Antonio Raimondi, Tres de diciembre y el Pimental). El análisis morfológico incluyó lista de descriptores y recomendaciones de Bioversity International (2007) debido a la ausencia de descriptores para la especie.

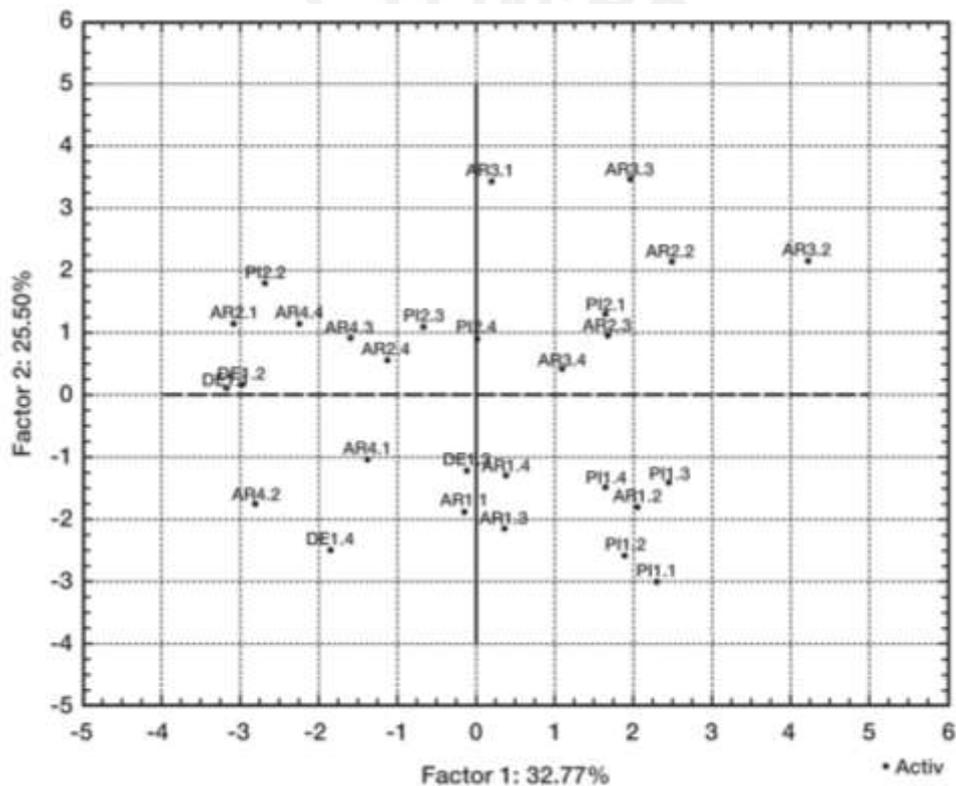


Figura 22. Análisis de Factores de 20 muestras de *P. volubilis* según los caracteres morfológicos del sachu inchi de tres comunidades de Pucallpa Perú.

Fuente: Krivankova *et al.* (2012).

Las características cuantitativas evaluadas fueron altura de planta, diámetro basal, altura de ramificación, longitud de peciolo, longitud de hoja, ancho de hoja, longitud de inflorescencia, longitud de columna estilar, número de semillas por cápsula, ancho de cápsula, diámetro de semillas y peso de 10 semillas. Para las características cualitativas

los investigadores consideraron forma de corona, forma de tallo, color de tallo, estructura de tallo, forma de hoja, forma marginal de las hojas, presencia de pelos en hojas, color de hoja, descripción de la parte superior aguda de la hoja, color de inflorescencia, protuberancia angular en el ápice del peciolo, presencia de olor, forma de cápsula, color de cápsula, forma de semilla y color de semilla. El resultado del análisis morfológico por PCA en las 20 muestras (Figura 22) reveló una variabilidad morfológica total de 58 % (32,77 % para el Factor 1 y 22,50 % para el Factor 2) menor que la encontrada dentro de la presente investigación (76 % para el PCA), explicable porque las muestras pertenecen a tres comunidades de Pucallpa localizadas entre los 154 y 211 m de altitud, así como las variables utilizadas. El análisis de coordenadas principales (PCO) según marcadores ISSR mostró variabilidad genética entre las muestras estudiadas indicando su polimorfismo de naturaleza alogámica del sachá inchi, que está de acuerdo con las observaciones de Arévalo (1996) para la variabilidad genética del sachá inchi y los resultados encontrados dentro de la investigación.

Por su parte Rodrigues *et al.* (2013), en el estudio de diversidad genética de *P. volubilis* con marcadores moleculares AFLP, evaluaron 37 accesiones de sachá inchi (Banco de germoplasma del Embrapa de la Amazonía Occidental, localizado en Manaus) con cuatro combinaciones de primers *EcoRI-ACA/MseI-CGC*, *EcoRI-AAC/MseI-CAC*, *EcoRI-AAC/MseI-CGC*, y *EcoRI-ATC/MseI-CCA*. El resultado fue un alto número de loci polimórficos, y el total de 191 marcadores obtenidos con los cuatro primers analizados en las accesiones, los cuales revelaron una diversidad genética distribuida en 07 grupos (A, B, C, D, E, F y G) según similitudes en el coeficiente de Jaccard representado en el dendrograma correspondiente. Entre las conclusiones del estudio se encuentran que el Banco de germoplasma de Embrapa contiene una variabilidad genética que puede ser aprovechada en programas de mejoramiento genético, y el estudio mostró una relación entre la condición geográfica y las accesiones de *P. volubilis*; conclusión que también se verifica en el presente estudio.

3.2 Parámetros fisicoquímicos de los aceites crudos de sachá inchi

Dentro de la presente sección se presentan y discuten los resultados de los parámetros fisicoquímicos de humedad de almendra, rendimiento de aceite crudo según prensado, grasa total según método Soxhlet, densidad, índice de refracción, acidez libre, índice de saponificación, índice de yodo, dienos conjugados, trienos conjugados, e índice de peróxido, de los aceites crudos de las especies *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

3.2.1 Humedad de almendra

La humedad es un parámetro importante en alimentos y sobre todo en oleaginosas como el sachá inchi, debido a que está asociado con su textura, sabor, color, valor nutricional, tiempo de conservación e inocuidad. Las semillas, dependiendo de la zona productora, clima y manejo poscosecha, presentan diferentes valores. En la presente investigación, el análisis de distribución de la humedad de almendra revela una distribución asimétrica para *P. volubilis* mientras que en *P. huayllabambana* fue simétrica. Los diagramas de caja de la humedad de almendra muestran diferencias sustantivas entre las almendras según la región donde se producen y cosechan las semillas. La dispersión más amplia se observó en la región San Martín, los valores más altos se encontraron en las semillas de Loreto y los valores más bajos en la región Huánuco (ver Figura 23). En el caso de las semillas de *P. huayllabambana* de la región Amazonas, las almendras presentaron valores intermedios de humedad.

Las diferencias de los contenidos de humedad de almendra se deben a la topografía que es la característica más importante en el Perú (Valeriano Marzano, 2018). Debido a la presencia de la cordillera tropical, cuyo efecto desvía los flujos de los niveles bajos y medios de la atmósfera y divide el territorio en tres regiones naturales de las cuales la selva o región Amazónica abarca el 59 % del territorio nacional, cuyos relieves determinan el tiempo, clima local, régimen de precipitaciones y efectos sobre la agricultura. Las humedades de almendra de las diferentes localidades confirman las diferencias topográficas en las zonas colectadas, que se observa en la correlación significativamente negativa de la humedad de almendra y la altitud. De esta manera se

explican los valores elevados en las almendras de la región Loreto y las variabilidades encontradas para la región San Martín (ver Figura 23). Los otros factores que pueden afectar la humedad de la almendra son las prácticas pos cosecha de manejo de las semillas en las zonas productoras, así como las diferencias genéticas que existe entre las dos especies y, dentro de cada especie, el metabolismo de síntesis de polímeros que forman parte de la cáscara, así como su resistencia mecánica, afectada por las condiciones nutricionales de los suelos, manejo cultural y los factores medioambientales.

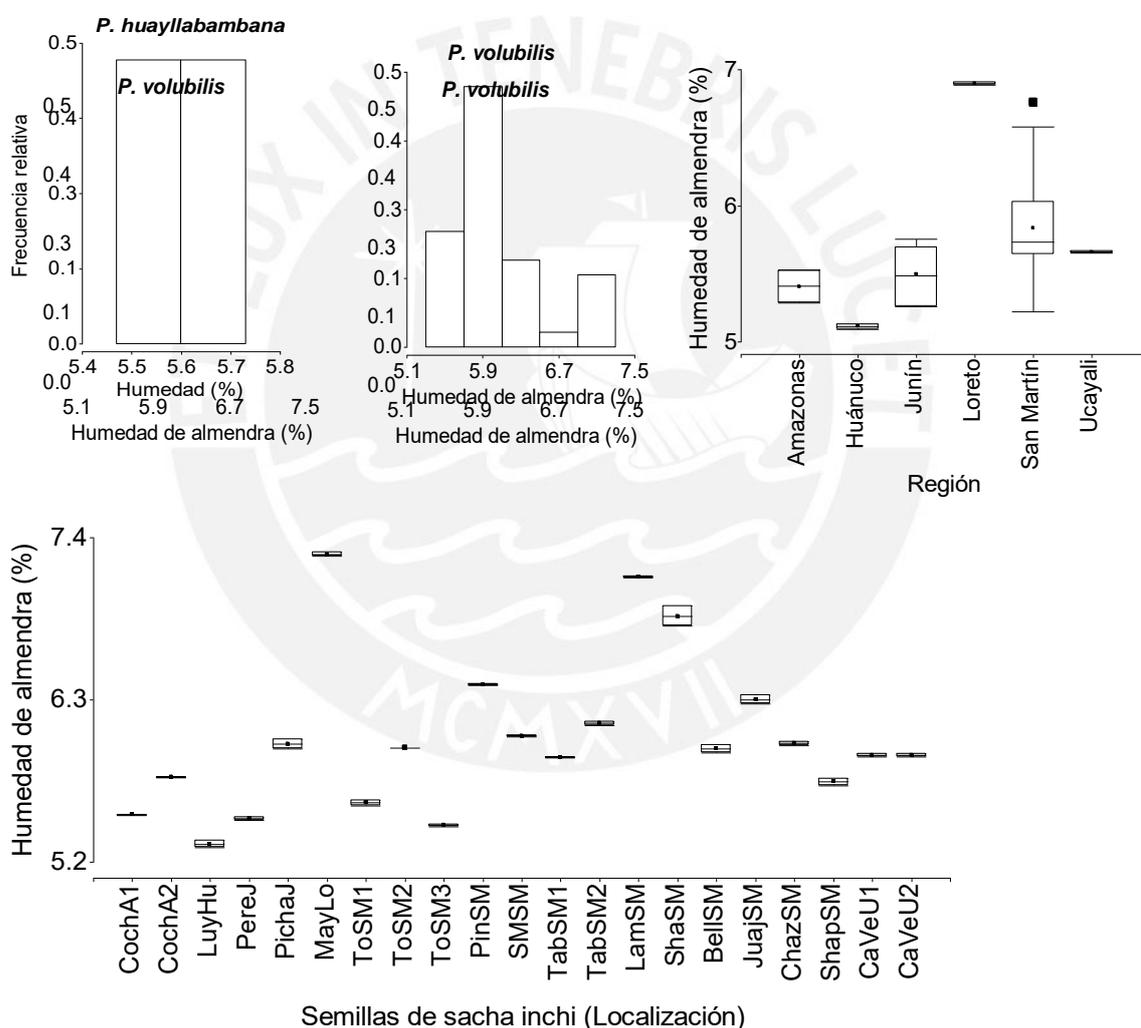


Figura 23. Distribución de la humedad de almendra en *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, diagramas de caja según las regiones y localidades colectadas.

P. huayllabambana en la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). Las evaluaciones fueron realizadas por duplicado.

El anova de la humedad de la almendra, en las semillas de los fundos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, reveló diferencias altamente significativas en cada especie. En *P. huayllabambana* de la región Amazonas la humedad promedio de almendra del fundo 2 (5,76 %) de Cochamal fue superior al fundo 1 (5,51 %) de la misma localidad. Al respecto, Muñoz Jáuregui *et al.* (2013), en la investigación de macronutrientes en semillas de *P. huayllabambana* de Rodríguez de Mendoza de Amazonas encontraron humedades de 4,82 % para el ecotipo 01-A y 7,84 % para el ecotipo 02-A, los cuales se encontraron entre las humedades reportadas en la investigación. Para la especie *P. volubilis* se encontraron diferencias altamente significativas de humedad de almendra con promedios superiores al 7 % como las de Maynas (7,24 %) de la región Loreto y de Lamas (7,09 %) de San Martín. Los menores valores se encontraron en semillas del fundo 3 de Tocache (5,44 %) de la región San Martín y Luyando (5,31 %) de Huánuco (ver Figura 24). Al respecto, Zuloeta Arias (2014), en la evaluación de humedad de almendra de 16 cultivares de *P. volubilis* de la región San Martín del INIA Perú reportó valores entre 3,90 % para el cultivar PER000406-B y 4,62 % para PER000418, inferiores a los encontrados en la investigación, y que principalmente se deben al ecotipo, manejo poscosecha y condiciones medioambientales de los relieves de las zonas donde se producen los cultivares.

3.2.2 Aceite crudo y grasa total

Aceite crudo

El rendimiento de aceite crudo obtenido por prensado en frío de las almendras de sachá inchi se encontró entre 29,07 y 42,97 % para las dos especies. La obtención del aceite crudo se realizó según flujograma de la Figura 7. La información del parámetro asociado a la extracción del aceite es importante en la industria aceitera debido a que la producción de aceite virgen y extra virgen se debe realizar por extracción en frío, para su posterior comercialización en el mercado. En la investigación con las 21 muestras de sachá inchi de las especies *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, se observa para el rendimiento de aceite crudo prensado, distribución simétrica para *P. huayllabambana* y asimétrica con sesgo a la derecha para *P. volubilis*. La variabilidad del rendimiento de

aceite crudo según los diagramas de caja para regiones y localizaciones de colecta revela que existen diferencias entre *P. huayllabambana* de la región Amazonas y *P. volubilis* de las regiones Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali, ver Figura 24.

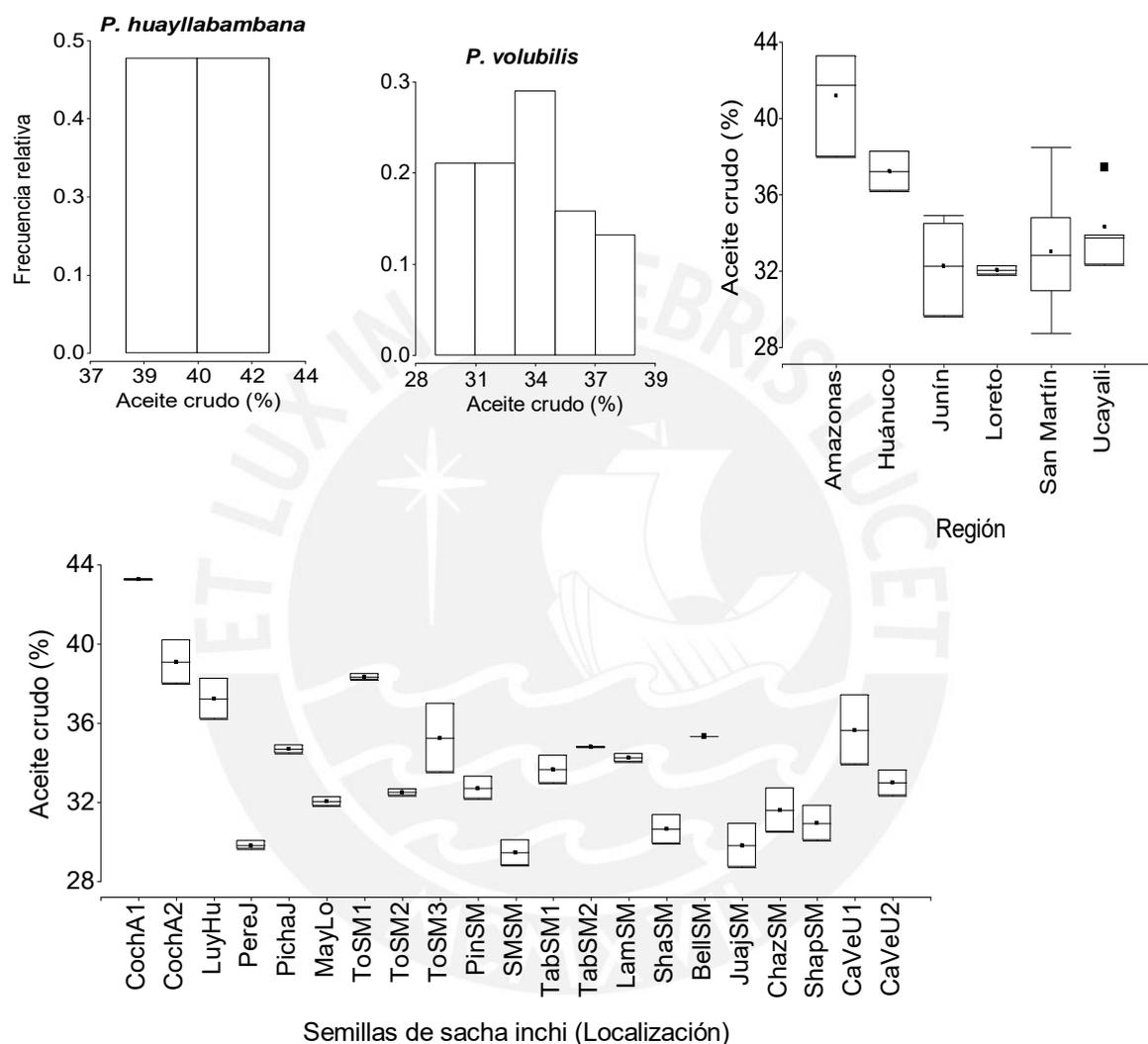


Figura 24. Distribución del rendimiento de aceite crudo, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

P. huayllabambana en la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). Las evaluaciones fueron realizadas por duplicado.

El anova del rendimiento de aceite crudo para *P. huayllabambana* en las muestras de los fundos de Cochamal, fundo 1 (42,96 %) y fundo 2 (38,96 %), de la región Amazonas,

no presentó diferencias estadísticas. Al respecto, Chasquibol *et al.* (2013), en el estudio de catorce muestras de la región Amazonas (Rodríguez de Mendoza, Nueva Esperanza, Shucshu, Parcela la Loma, Parcela la Banda, Challayacu, Nueva Luz, Chontapampa, Cochamal, Plan Grande y Palmeras, localizadas entre los 1500 y 2100 m.s.n.m.) encontraron rendimientos de aceite crudo entre 30,9 – 43,9 %, los cuales estuvieron dentro de los rendimientos de aceite crudo encontrados en la presente investigación para los dos fondos evaluados de Cochamal.

Con respecto a *P. volubilis*, los rendimientos de aceite crudo se encontraron entre 29,76 y 38,24 %. El anova presentó diferencias altamente significativas ($p \leq 0,0001$) para el parámetro. Las muestras del fondo 1 de Tocache de la región San Martín (38,24 %) y Luyando (37,18 %) de Huánuco presentaron los rendimientos más altos, mientras que las muestras de Juanjui (30,12 %) y de San Miguel del Río Mayo (29,76 %) de la región San Martín, presentaron los rendimientos promedio más bajos de aceite crudo, ver Figura 24.

La acumulación del aceite en las semillas de sachu inchi dependen de la fenología del cultivo, de la constitución genética de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* y de factores medioambientales que afectan la expresión de genes involucrados en la síntesis de triglicéridos y otras sustancias de naturaleza oleosa. En ese sentido, Wang *et al.* (2012), en el estudio transcriptómico de semillas *P. volubilis* en dos estados fenológicos, determinaron que la acumulación del aceite depende de su fenología que se observa debido a la expresión diferenciada de unigenes involucrados en el desarrollo de las semillas. Similares resultados encontraron Liu *et al.* (2020). Asimismo, en la presente investigación de manera general se observó que la altitud de la zona de colecta se correlaciona de manera significativa con el rendimiento de aceite crudo para las especies *P. huayllabambana* y *P. volubilis*. Como se indicó al inicio de la sección, el aceite crudo es el principal producto que se aprovecha comercialmente en el mercado.

Grasa total

La extracción de las sustancias oleosas de las semillas de sacha inchi, además de la extracción por prensado discutida en la sección anterior, se realiza con diferentes tecnologías, como fluido supercrítico (do Prado *et al.*, 2011; Follegatti-Romero *et al.*, 2009; Ixtaina *et al.*, 2010; Zanqui *et al.*, 2016; Zhao y Zhang, 2013), sistemas de extracción continua (Gutiérrez Suquillo *et al.*, 2017), extracción con enzimas (Nguyen *et al.*, 2020) y extracción con solventes. En la presente sección los contenidos de grasa total se extrajeron con solvente de las semillas de sacha inchi. Los contenidos estuvieron entre 46,75 y 61,02 % según el método de Soxhlet para *P. huayllabambana* y *P. volubilis*. El análisis de la distribución de grasa total en las semillas de sacha inchi reveló una distribución simétrica en *P. huayllabambana* y asimétrica en *P. volubilis* (ver Figura 25).

Las semillas de Amazonas correspondientes a *P. huayllabambana* presentaron altos contenidos de grasa total. Con respecto a *P. volubilis* las semillas de la región San Martín y Loreto mostraron altos contenidos de grasa. Los diagramas de caja muestran de manera gráfica estas diferencias y la dispersión de la grasa total, que fue altamente diversa para las semillas de las regiones de San Martín y Junín en *P. volubilis* (ver Figura 25). Los rendimientos promedio de grasa total en *P. huayllabambana* se encontraron entre 60,20 y 60,57 %. El anova no muestra diferencias estadísticas para las semillas de los dos fundos evaluados de la localidad de Cochamal (CochA1, CochA2) de Amazonas. Ruiz *et al.* (2013), en el análisis proximal de las semillas de *P. huayllabambana*, encontraron contenidos de grasa total de 54,3 % para las semillas de Rodríguez de Mendoza de Amazonas (código AI-RM-05) y 9,7 % para su torta. Sin embargo, Muñoz Jáuregui *et al.* (2013), en la evaluación de macronutrientes de las semillas de *P. huayllabambana*, reportaron contenidos de grasa total bajos de 45,87 % para 01-A y 48,84 % para 02-A. Estas muestras fueron de Rodríguez de Mendoza, de la misma región Amazonas.

En el caso de *P. volubilis* el anova de los contenidos de grasa total (%) revela diferencias altamente significativas ($p \leq 0,0001$). Los valores más altos de grasa total se encontraron en las semillas del Perené de la región Junín (60,87 %), fundo 1 de Tocache (56,88 %) y

fundo 1 de Tabalosos (56,23 %) de la región San Martín (ver Figura 25). Al respecto, Ruiz *et al.* (2013), en el análisis proximal de las semillas de *P. volubilis*, encontraron contenidos promedio de 49,0 % para las semillas AI-SM-062 de la provincia de San Martín. Los contenidos de grasa dentro de un alimento son importantes y todo análisis proximal reporta estos resultados, más aún cuando dentro de su composición se encuentran ácidos grasos esenciales, antioxidantes y bioactivos.

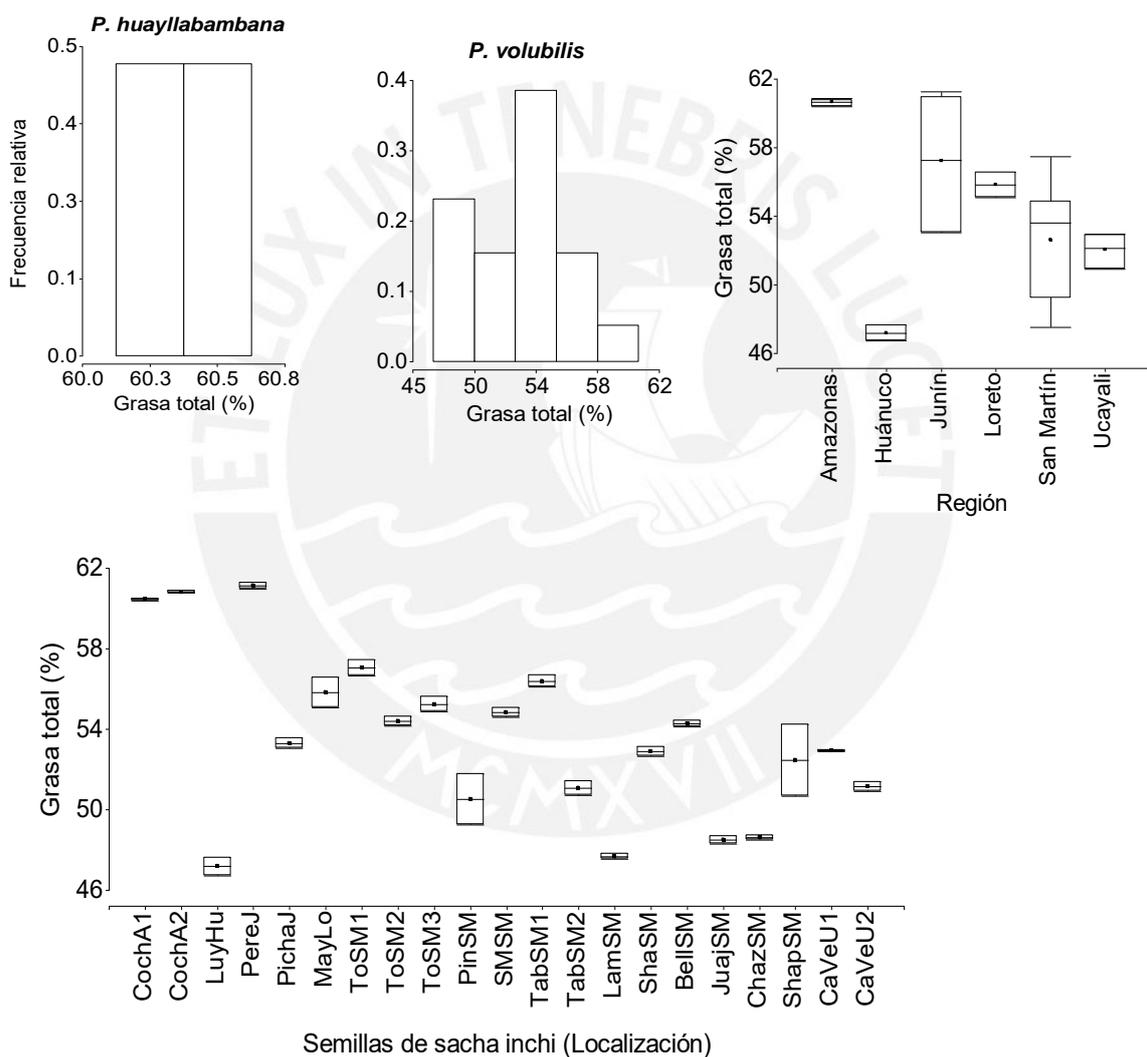


Figura 25. Distribución del contenido de grasa total, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*. *P. huayllabambana* en la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). Las evaluaciones fueron realizadas por duplicado.

Follegatti-Romero *et al.* (2009), en la investigación de extracción supercrítica con CO₂ de semillas de *P. volubilis* de Tingo María, reportaron el valor de 54,3 % empleando método de Soxhlet a 60 °C x 20 horas. Por su parte, Hamaker *et al.* (1992), en otra investigación relacionada con aminoácidos y perfil de ácidos grasos de *P. volubilis* de San Martín, refieren rendimientos de extracción con solvente de 54 %. Los valores encontrados en la presente investigación se encontraron entre los reportados por los investigadores.

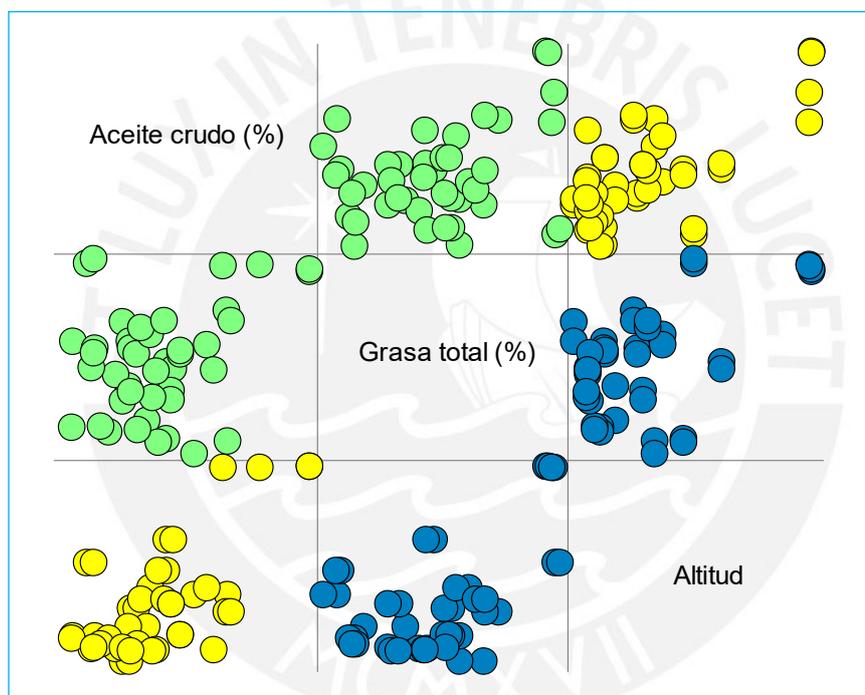


Figura 26. Análisis de correlación entre rendimiento de aceite crudo, grasa total y altitud de colecta de las 21 muestras de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

El rendimiento de aceite crudo (%) se obtuvo por prensado hidráulico, la grasa total según método de Soxhlet. La altitud considera metros sobre el nivel de mar (m.s.n.m) para la colecta de las semillas de sacha inchi de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

(● = aceite crudo vs grasa total; ● = aceite crudo vs altitud; ● = grasa total vs altitud).

Las diferencias de grasa total, entre las especies *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, y las diferencias entre los cultivares de *P. volubilis*, se deben a su constitución genética, condiciones medioambientales donde se desarrollan los cultivares y la interacción

genotipo x ambiente. En ese sentido, a nivel genético Liu *et al.* (2020) y Wang *et al.* (2012), en sus estudios transcriptómicos identificaron unigenes involucrados en las síntesis de sustancias oleosas en *P. volubilis*, acumulación de grasa, según el desarrollo de las semillas. Para observar las interacciones del genotipo del cultivar y el ambiente de los cultivares estudiados se evaluó la correlación entre la altura de la localidad de colecta y los rendimientos de grasa total y aceite crudo. Los resultados revelaron correlaciones significativas de la expresión de sustancias de naturaleza oleosa con la altitud (ver Figura 26), así como entre los parámetros evaluados (Correlación *Pearson* con $r= 0,31$ y $p< 0,0458$).

Los resultados revelan la importancia de la altitud del lugar de producción de las semillas de sacha inchi con la síntesis y metabolismo para la producción de aceite en *P. volubilis* y *P. huayllabambana*. En ese sentido, se precisan mayores estudios asociados a la genética de los cultivares, suelos, clima, manejo agronómico, plagas y enfermedades que afectan sus cultivos, para validar los resultados encontrados en la presente investigación. Al respecto, algunos investigadores, ONGs e instituciones del estado peruano, realizaron estudios para promover el aceite de sacha inchi. Arfini y Antonioli (2013) realizaron una investigación sobre las condiciones para el reconocimiento de la indicación geográfica del sacha inchi en el Perú, cuyo objetivo fue analizar la viabilidad del reconocimiento del aceite de sacha inchi como producto de indicación geográfica. PROMPERU (2016), publicó el documento Dossier Novel Food – Aceite de sacha inchi, que contiene información sobre los requisitos que deben cumplir las empresas peruanas que deseen exportar aceite de sacha inchi al mercado de la Unión Europea donde se reconoce como Novel Food. Otro estudio realizado por el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo Perú, MINCETUR (2016), publicó el perfil de producto para el aceite y grano tostado en Canadá que fue supervisado por la OCEX Toronto. Finalmente, otro estudio descriptivo-explorativo en la región Piura presenta la rentabilidad del cultivo de sacha inchi, y la relación beneficio/costo para la producción de sacha inchi con respecto al maíz que se aconseja evaluar en campo (Santillán García, 2018).

3.2.3 Densidad e índice de refracción

Densidad del aceite

Según la NTP para el aceite crudo del sachá inchi, en el mercado nacional se considera la producción de aceites crudos con valores de densidad entre 0,926 y 0,931 g/mL a 20 °C (INDECOPI, 2010). En la presente investigación con las semillas de *P. volubilis* y *P. huayllabambana*, los valores de densidad se encontraron entre 0,9266 y 0,9273 g/mL alrededor de 25 °C, los cuales se encontraron dentro de los límites recomendados para este parámetro fisicoquímico según la NTP (Ver Figura 27).

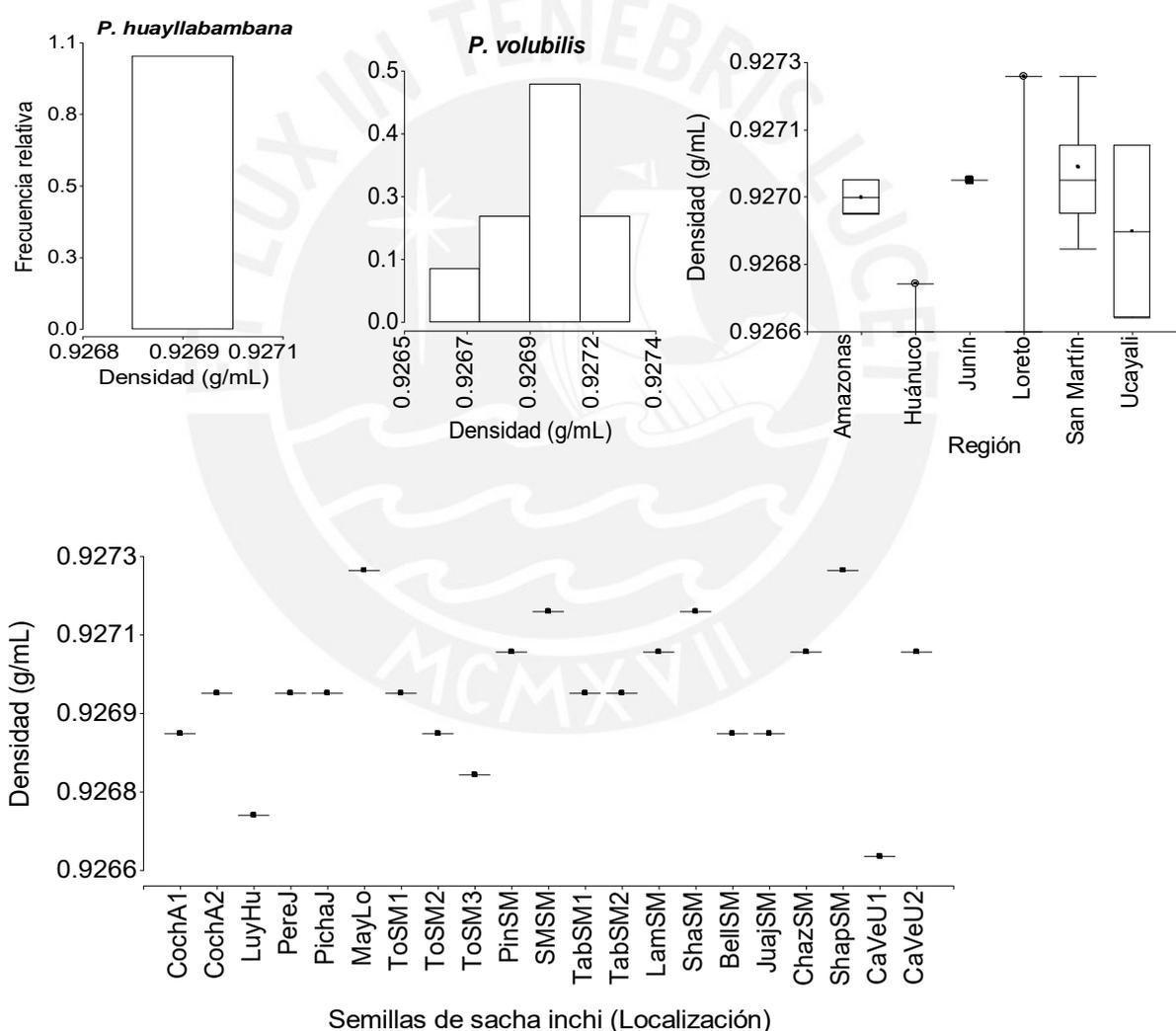


Figura 27. Distribución de la densidad de aceite crudo, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

P. huayllabambana en la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). Se realizó una (1) evaluación según localización.

La distribución de la densidad de los aceites crudos reveló que la mayoría de las densidades de los aceites estudiados se encontraron alrededor de 0,9270 g/mL. La evaluación individual del parámetro en todas las muestras mostró ligeras diferencias para *P. huayllabambana* en los dos fundos de la localidad de Cochamal de Amazonas (CochA1 y CochA2), y para *P. volubilis* de las regiones de Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali (ver Figura 27). En relación a otros estudios, para la evaluación de la calidad de los aceites crudos de catorce ecotipos de la región Amazonas de *P. huayllabambana*, se reportaron densidades de aceite crudo entre 0,920 y 0,930 g/mL a 25 °C para las semillas de sachá inchi, cuyos resultados se encontraron dentro de los valores encontrados en la investigación (Chasquibol *et al.*, 2014). Las pequeñas diferencias encontradas en el parámetro se deben a la constitución genética, condiciones medioambientales y la interacción genotipo x medio ambiente.

Indice de refracción

Los valores del índice de refracción de los aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* se encontraron entre 1,480 y 1,481. El análisis de distribución del índice de refracción se encontró alrededor de 1,4805 para ambas especies (ver Figura 28). La NTP recomienda valores del índice de refracción entre 1,478 y 1,4781 para los aceites crudos de sachá inchi medidos a 20 °C. Los gráficos de barra del parámetro revelaron un valor para *P. huayllabambana* y ligeras dispersiones para los aceites crudos de la región San Martín y Ucayali de *P. volubilis* (ver Figura 28). En el caso de *P. huayllabambana* no hubo diferencias entre las muestras. Al respecto Chasquibol *et al.* (2014), en su investigación reportaron para catorce ecotipos de *P. huayllabambana* de la región Amazonas valores de índice de refracción entre 1,480 y 1,482 para los aceites crudos de sachá inchi, similares a los encontrados para los dos fundos estudiados de Cochamal para *P. huayllabambana* (1,4805). En *P. volubilis* los índices de refracción más altos se encontraron en las semillas de sachá inchi de las localidades de Pinto recodo y San Miguel de Río Mayo de la región San Martín, mientras que los valores más bajos se encontraron para Luyando de la región Huánuco y el fundo 1 de Campoverde de Ucayali. Las evaluaciones del parámetro se realizaron sin repetición. Las características del parámetro revelan la constitución genética del género *Plukenetia* en las dos

especies y las similitudes y pequeñas diferencias se deben a la interacción del medio ambiente con los cultivares en las diferentes regiones estudiadas, ver Figura 28.

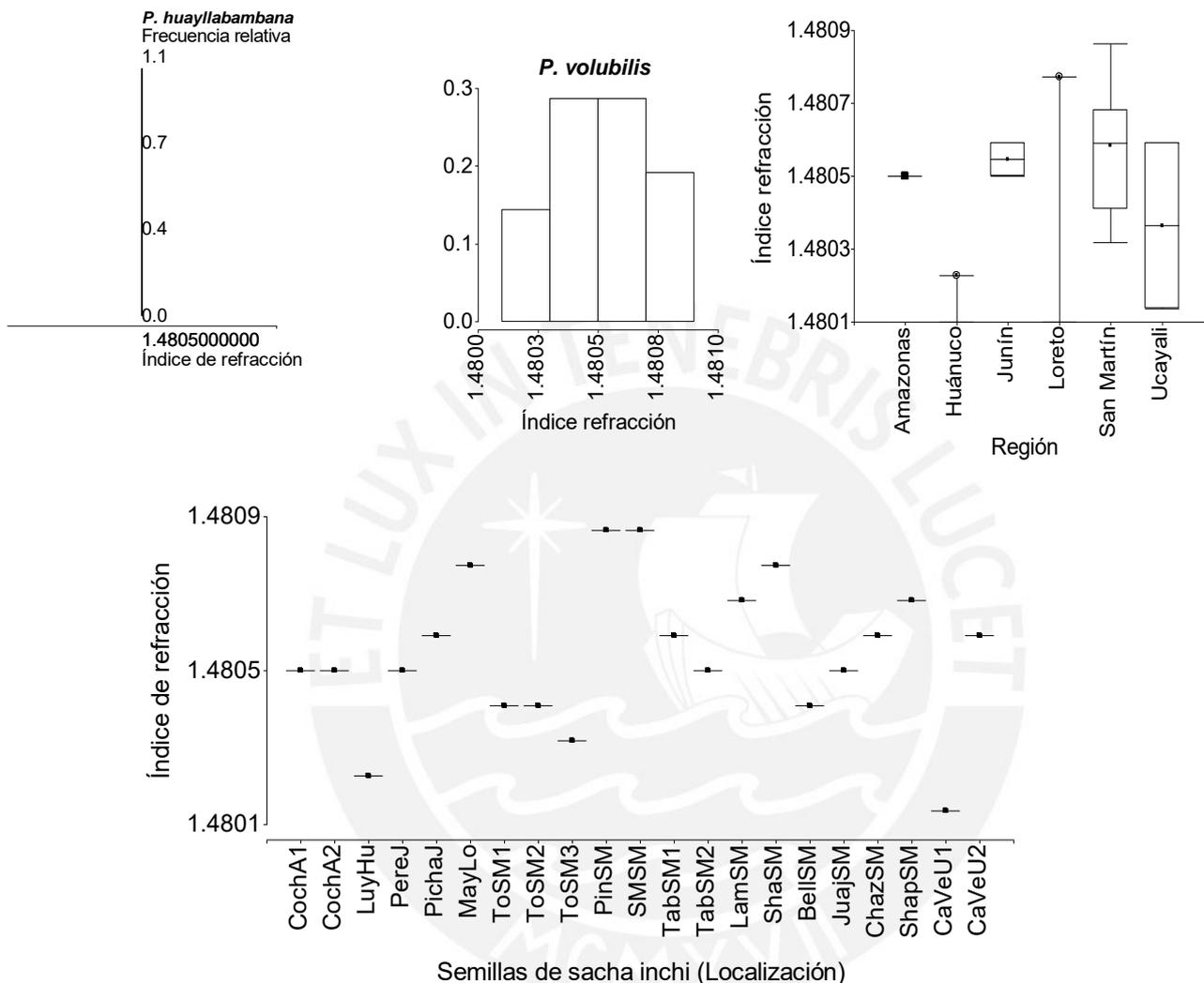


Figura 28. Índice de refracción del aceite crudo, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

P. huayllabambana en la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). Las evaluaciones fueron individuales (1) según localización.

3.2.4 Ácidos grasos libres

La acidez libre se mide a través de los ácidos grasos libres contenidos en los aceites crudos y esta acidez representa todos los procesos hidrolíticos de los acilglicerol que son formados en semillas de baja calidad, cosechas inapropiadas en campo, poscosecha y almacenamiento de semillas realizadas de manera deficiente, así como las condiciones medioambientales desfavorables bajo las cuales se procesan las semillas para obtener almendras y su posterior extracción del aceite crudo. Para el aceite crudo de ambas especies, los ácidos grasos libres se expresaron como % de ácido oleico. En la presente investigación, la acidez libre de los aceites crudos se encontró entre 1,07 y 6,22 % para los aceites crudos de *P. huayllabambana*, mientras que para los aceites crudos de *P. volubilis* se encontraron entre 0,09 y 2,90 %. El análisis de distribución de los ácidos grasos libres (%) de los aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* reveló una distribución simétrica en *P. huayllabambana* y asimétrica en *P. volubilis* (ver Figura 29). Los diagramas de caja de los ácidos grasos libres de los aceites crudos de sachá inchi según las regiones estudiadas muestran una amplia dispersión del parámetro en *P. huayllabambana* de la región Amazonas para los dos fundos estudiados (CochA1= 1,07 % y CochA2= 6,20 %). En relación a estos resultados, Chasquibol *et al.* (2014) reportaron valores de acidez entre 0,50 – 4,7 % para los catorce ecotipos estudiados de *P. huayllabambana* de la región Amazonas.

El anova de los ácidos grasos libres (%) de los aceites crudos de *P. volubilis* mostró diferencias altamente significativas según el origen de las semillas estudiadas donde los aceites crudos de Chazuta (2,90 %) y Shapaja (2,64 %) de San Martín presentaron los porcentajes más altos de acidez, mientras que los aceites crudos del fundo 1 de Campoverde (0,09 %) de la región Ucayali presentaron el valor más bajo. Ramos Escudero (2014), en el estudio de la caracterización y trazabilidad del aceite de *Plukenetia volubilis* en 27 aceites comerciales (IP-001 – IP-027) de las localidades de Loreto, Amazonas, San Martín, Huánuco, Ucayali, Junín y Madre de Dios, reportó valores de acidez entre 0,16 y 1,89 %, distinguiendo aceites de calidad extra virgen ($\leq 1,00$ %) y virgen ($\leq 2,00$ %). Considerando estas cualidades los aceites crudos del fundo 2 de Campoverde (0,96 %), fundo 3 de Tocache (0,46 %), Juanjui (0,45 %), fundo 2 de Tocache (0,31 %), Perené (0,30 %), Lamas (0,29 %), Pinto Recodo (0,23 %), San Miguel del Río Mayo (0,22 %), fundo 1 de Tocache (0,16 %), fundo 1 de Tabalosos (0,16 %),

Bellavista (0,13 %), Maynas (0,13 %), Shapaja (0,12 %), Pichanaki (0,11 %), Luyando (0,10 %) y fundo 1 de Campoverde (0,09 %) presentaron calidad extra virgen. Por su parte Follegatti-Romero *et al.* (2009), en su investigación con extracción de fluido supercrítico del aceite de sacha inchi, reportaron valores promedio de ácidos grasos libres del 3,00 % expresado como ácido linolénico. En relación a este parámetro, la NTP recomienda valores de 1,00 % para aceite extra virgen y 2,00 % para aceite virgen.

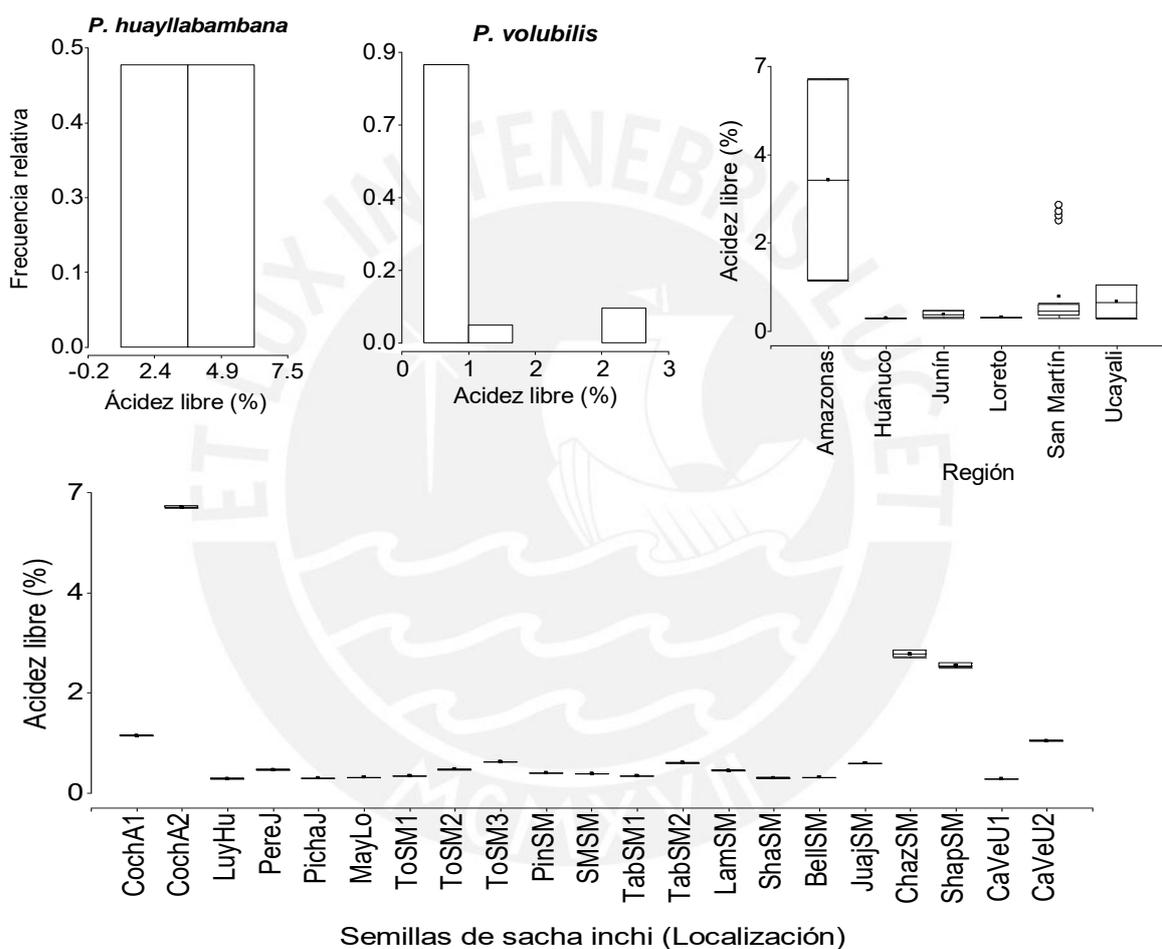


Figura 29. Distribución de acidez libre (%) del aceite crudo, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*. Las evaluaciones fueron realizadas por duplicado.

Los diagramas de caja de la Figura 29 representan el manejo pos cosecha y condiciones medioambientales de cada localidad, responsables de los fenómenos hidrolíticos en los aceites contenidos en las almendras de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, siendo diferentes para una misma especie y región.

3.2.5 Índice de saponificación

Otro parámetro utilizado en el control de calidad dentro de la industria aceitera para conocer su origen, composición y trazabilidad, es el número de saponificación, índice de saponificación o valor de saponificación, cuyos valores se recomiendan entre 192 y 196 mg KOH/g aceite para el aceite de sachi según la NTP (INDECOPI, 2010). En la presente investigación, los valores se encontraron entre los 184,38 – 194,17 mg KOH/g aceite para los aceites crudos de las dos especies de sacha inchi. El análisis de distribución del parámetro en los aceites crudos fue simétrico en *P. huayllabambana* (dos muestras) y asimétrico con sesgo a la izquierda alrededor de 191,24 mg KOH/g aceite para *P. volubilis* (ver Figura 30).

La evaluación del índice de saponificación de los aceites crudos de los dos fundos de la localidad de Cochamal para *P. huayllabambana* reveló valores promedio de 193,82 mg KOH/g aceite para el fundo 1 (CochA1) y 190,87 mg KOH/g aceite para el fundo 2 (CochA2), que estuvieron dentro de los valores recomendados por la NTP. En el caso de *P. volubilis* según los diagramas de caja de las regiones de Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali, el índice de saponificación mostró una mayor dispersión del parámetro para los aceites crudos de la región San Martín, Junín y Ucayali, revelando la diversidad de las semillas de sacha inchi estudiadas. En esta oportunidad, los índices de saponificación se encontraron entre 184,61 y 192,64 mg KOH/g aceite. Los aceites crudos de las localidades de Maynas (192,64 mg KOH/g aceite) de la región Loreto y de Bellavista (mg KOH/g aceite) de San Martín presentaron los valores más altos. Sin embargo, los aceites crudos de las localidades de Lamas (184,75 mg KOH/g aceite) y Pinto recodo (184,61 mg KOH/g aceite) de la región San Martín presentaron los valores más bajos (ver Figura 30).

Chasquibol *et al.* (2013), en el estudio de catorce (14) ecotipos de *P. huayllabambana* de la región Amazonas, encontraron índices de saponificación entre 181,90 – 193,50 mg KOH/g aceite, con valores similares a los encontrados en la investigación. Por su parte, Follegatti-Romero *et al.* (2009) reportaron el valor promedio de 193 mg KOH/g de aceite, para *P. volubilis*, similar a los encontrados en la presente investigación.

Cuppett (2001), en los índices de calidad de otros aceites, reportó valores de saponificación entre 118 – 198 mg KOH/g aceite para el maíz, 189 – 198 mg KOH/g aceite para algodón, 188 – 196 mg KOH/g aceite para la linaza, 186 – 196 mg KOH/g aceite para el olivo, 195 – 205 mg KOH/g aceite para la palma, 188 – 195 mg KOH/g aceite para el maní, 187 – 193 mg KOH/g aceite para el sésamo, 189 – 195 mg KOH/g aceite para la soya y 186 – 194 mg KOH/g aceite para el girasol.

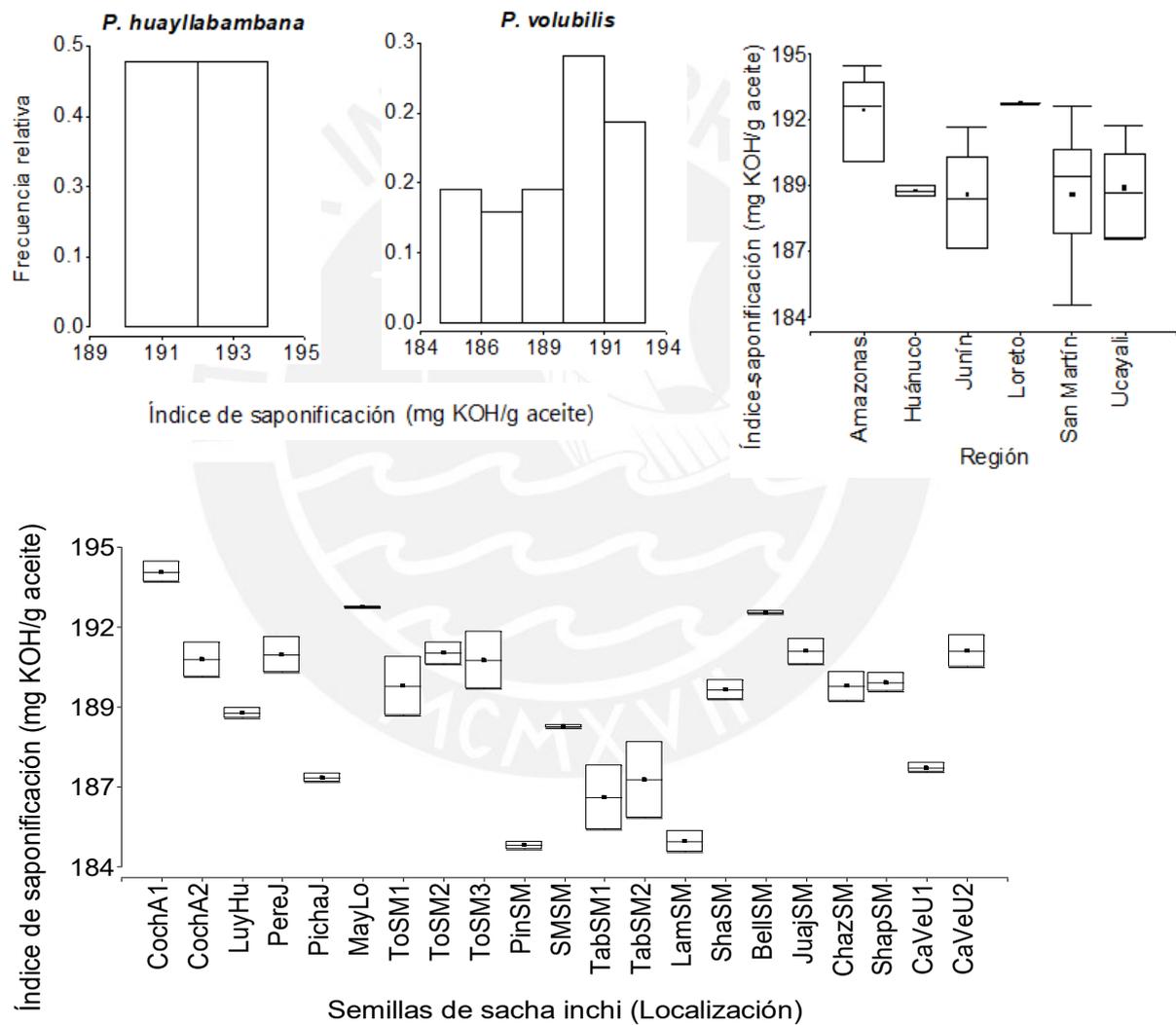


Figura 30. Distribución del índice de saponificación del aceite crudo, y diagramas de caja según regiones estudiadas y localización de colecta de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*. *P. huayllabambana* en la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). Las evaluaciones fueron realizadas por duplicado.

Las diferencias encontradas del índice de saponificación en *P. huayllabambana* y *P. volubilis* pueden explicarse por la constitución genética de las especies y las interacciones de la genética x características medioambientales, donde los índices encontrados se asocian principalmente a la saponificación de los triglicéridos contenidos en los aceites crudos. En ese sentido Chasquibol *et al.* (2014), en el estudio de compuestos glicerídicos e insaponificables en *P. huayllabambana*, reportaron contenidos variables de triglicéridos (%) evaluados por HPLC-IR en catorce (14) ecotipos de la región Amazonas para sus componentes mayoritarios en dos cosechas: 17,7 – 22,5 y 18,0 – 23,0 para LnLnLn (ECN 36); 25,3 – 27,5 y 22,6 – 27,7 para LnLnL (ECN 38); 19,2 – 21,8 y 19,4 – 23,1 para LnLL (ECN 40), 19,4 – 22,8 y 19,0 – 24,0 para LLL. Por su parte, Fanali *et al.* (2011), en el estudio con *P. volubilis*, reportaron por HPLC-APCI-MS componentes mayoritarios de triglicéridos constituidos por LnLnLn (12,3 % área), LnLLn (22,2 % área) y LLnL (18,2 % área) con respecto a otros 13 triglicéridos, con un porcentaje de área entre 0,1 y 9,3 %. En ambas especies se observó que el componente mayoritario fue LnLnL/LnLLn.

3.2.6 Índice de Yodo

El índice o valor de yodo se usa para determinar los niveles de insaturación de las grasas y aceites. En el presente estudio los valores del índice de yodo se encontraron entre 182,15 y 199,70 para los aceites crudos de sachá inchi y el análisis de su distribución mostró una distribución simétrica en *P. huayllabambana* (02 muestras) y asimétrica con sesgo a la izquierda en *P. volubilis* (19 muestras). Los diagramas de caja del índice de yodo revelaron una mayor variabilidad de este parámetro para los aceites crudos de las regiones San Martín y Ucayali. Asimismo, no se observaron diferencias del parámetro entre las especies *P. volubilis* y *P. huayllabambana* (ver Figura 31).

La evaluación del índice yodo de los aceites crudos en *P. huayllabambana* mostró diferencias en las muestras de Cochamal de la región Amazonas. Los resultados promedio fueron 192,30 $\text{gl}_2/100 \text{ g}$ para el fondo 1 (CochA1) y 198,29 $\text{gl}_2/100 \text{ g}$ para el fondo 2 (CochA2). Al respecto Chasquibol *et al.* (2013), en el estudio de catorce (14) ecotipos de *P. huayllabambana* de la región Amazonas reportaron índices de yodo entre

210,50 – 217,90 g I₂/100 g aceite, superiores a los hallados en la investigación y los valores recomendados por la NPT (183 – 199 g I₂/100 g aceite), INDECOPI (2010).

En los aceites crudos de *P. volubilis* los índices de yodo se encontraron entre 183,43 – 199,10 g I₂/100 g aceite, encontrándose dentro de los valores recomendados por la NTP. Los aceites crudos de la localidad de Bellavista (199,10 g I₂/100 g aceite) de la región San Martín y de Pichanaki (198,90 g I₂/100 g aceite) de Junín presentaron los índices de yodo más altos. Sin embargo, los aceites crudos de la localidad de Lamas (183,43 g I₂/100 g aceite) presentaron el valor promedio más bajo. Gorriti *et al.* (2010), en las características fisicoquímicas de los aceites crudos de sachá inchi y linaza, reportaron valores de 194,035 y 188,707 g I₂/100 g aceite, respectivamente, que fueron similares a los encontrados en la presente investigación. Por su parte Follegatti-Romero *et al.* (2009), reportaron valores promedio de 198 g I₂/100 g de aceite para las semillas de *P. volubilis* de Tingo María similares a los encontrados en la presente investigación. Otros estudios con especies nativas de la Amazonía peruana, reportaron valores bajos del parámetro de 77,27 g I₂/100 g para el aceite de ungurahui y de 85,03 g I₂/100 g para el aceite de aguaje (Quispe Jacobo *et al.*, 2009); por su parte Pascual y Molina (2007), en la caracterización de 10 entradas de maní, reportaron índices de yodo entre 88,452 y 98,586 g I₂/100 g para los aceites crudos; cuyas diferencias significativas se deben a las insaturaciones de los ácidos grasos.

Con respecto a otras especies oleaginosas Cuppett (2001), en el documento de la evaluación de los índices de calidad de los aceites reportó valores de yodo entre 116 – 140 g I₂/100 g aceite para el maíz, 90 – 112 g I₂/100 g aceite para algodón, 168 – 204 g I₂/100 g aceite para la linaza, 76 – 90 g I₂/100 g aceite para el olivo, 35 – 61 g I₂/100 g aceite para la palma, 84 – 102 g I₂/100 g aceite para el maní, 104 – 116 g I₂/100 g aceite para el sésamo, 117 – 170 g I₂/100 g aceite para la soya y 112 – 143 g I₂/100 g aceite para el girasol. De acuerdo con estos valores reportados, los índices encontrados en la presente investigación se encontraron dentro de los índices correspondientes al aceite de linaza, cuya composición de ácidos grasos es similar al aceite de sachá inchi.

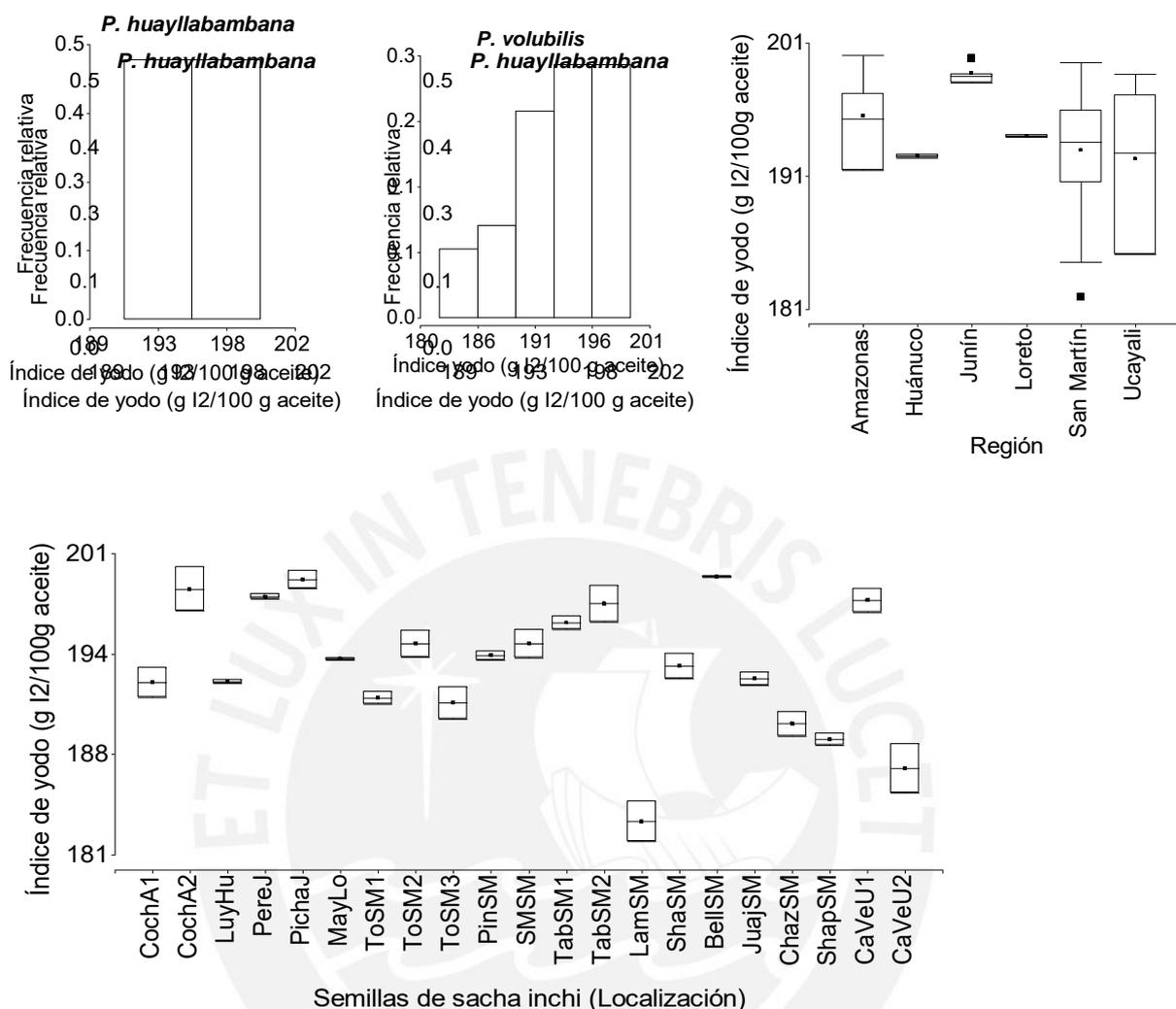


Figura 31. Distribución del índice de yodo del aceite crudo, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

P. huayllabambana en la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). Las evaluaciones fueron realizadas por duplicado.

Con respecto a la aplicación del valor de yodo (IV) en el mejoramiento genético de especies oleaginosas destinadas a la industria alimentaria, Grosso *et al.* (1994), en el estudio de variación de ácidos grasos del maní Runner entre quince localidades de Córdoba en Argentina, encontraron relaciones inversas entre ácido oleico/ácido linoleico (O/L) con el IV, sugiriendo que la estabilidad del aceite y su tiempo de vida útil son más elevados en genotipos y aceites con bajos valores de IV. En ese sentido, las

relaciones (O/L) y IV son importantes indicadores de la estabilidad del aceite y su calidad. Los investigadores indican que las diferencias del IV se deben al tipo de suelo, precipitaciones de lluvias, tiempo de cosecha y temperaturas medioambientales que afectan la maduración de las semillas, cuyos valores en las quince localidades se encontraron entre 101 y 108. En la investigación los valores del IV, se encontraron entre 182,15 y 199,70 (ver Figura 31), y no se observaron diferencias significativas entre las especies *P. huayllabambana* y *P. volubilis*. Las diferencias encontradas entre las muestras y las localidades de colecta se deben a constitución genética, las interacciones genotipo x ambiente, condiciones medioambientales de temperatura, humedad relativa, horas luz, tipos de suelo, precipitaciones de lluvias, tiempos de cosecha, edad de la planta, así como las prácticas poscosecha implementadas en los campos de productores. Las semillas de Lamas y los valores observados para el parámetro entre los fundos 1 y 2 de Campo Verde son el resultado de los factores mencionados. Como indicó Grosso *et al.* (1994), en la presente investigación se observaron correlaciones negativas entre el IV y los ácidos grasos monoinsaturados (MUFA, $p < 0,0001$) debido a la constitución de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) en el sachá inchi, donde se observaron correlaciones altamente significativas, $p < 0,0001$.

3.2.7 Dienos conjugados y trienos conjugados

Los aceites de sachá inchi, por su composición de ácidos grasos insaturados, son susceptibles a deteriorarse dentro de las semillas, afectando los dobles enlaces de las semillas y produciendo dienos conjugados, trienos conjugados y posteriormente hidroperóxidos que disminuyen la calidad de los aceites crudos; no todos estos aceites tienen la misma capacidad de oxidarse debido a su origen genético, composición, enzimas, labores poscosecha, humedad, temperatura y radiación.

Dienos conjugados

Una forma de medir el deterioro de la calidad de los aceites es a través de la evaluación de los dienos conjugados que se evaluaron en la investigación para los aceites crudos de sachá inchi. En la investigación los valores de dienos conjugados se encontraron entre 4,24 y 13,94 $\mu\text{mol/g}$ aceite, para todos los aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P.*

volubilis. La distribución de los dienos conjugados revela una distribución simétrica para las 02 muestras de *P. huayllabambana* y asimétrica con sesgo a la derecha para *P. volubilis* (ver Figura 32).

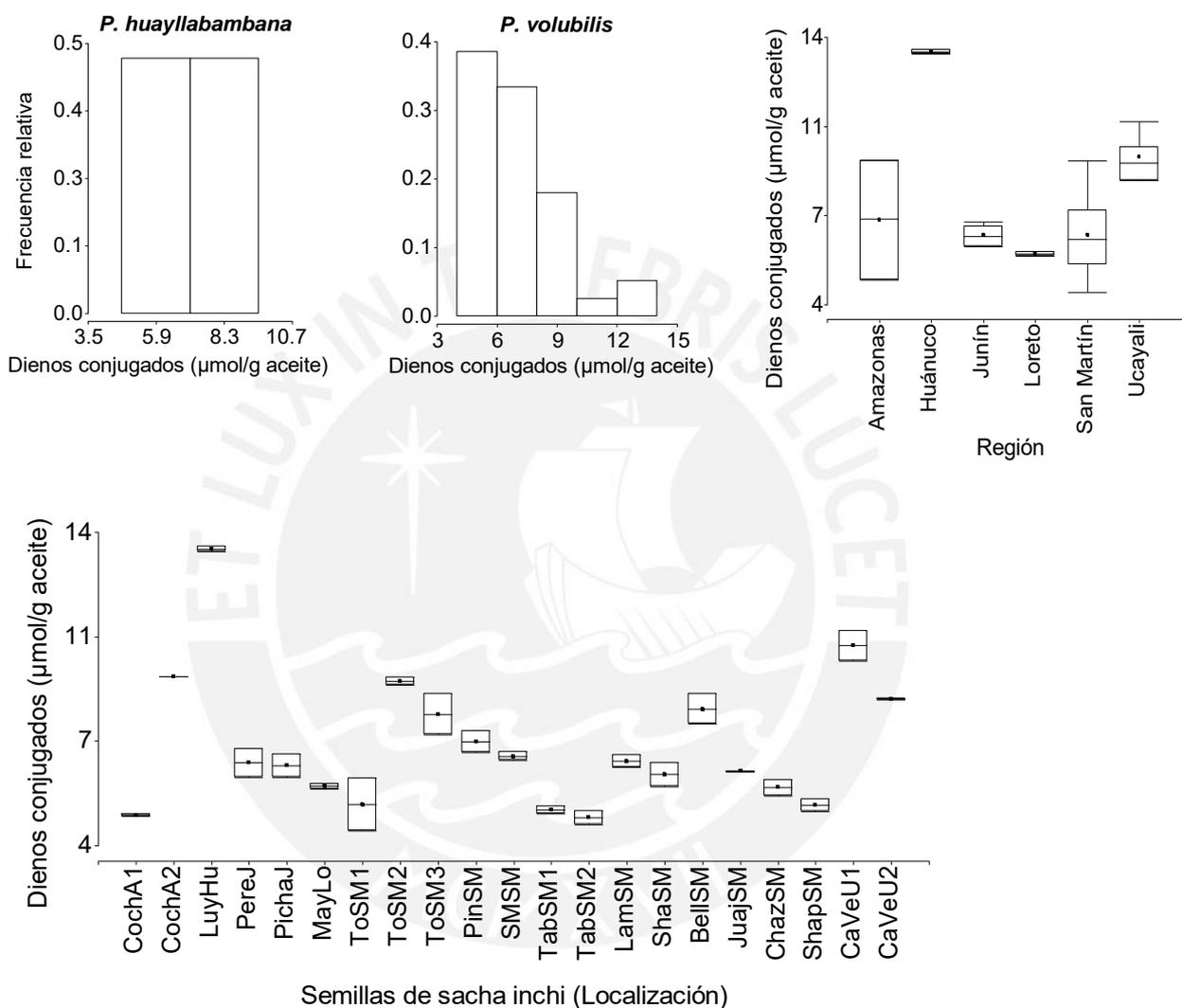


Figura 32. Distribución de los dienos conjugados del aceite crudo, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta *P. huayllabambana* y *P. volubilis*. *P. huayllabambana* en la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). Las evaluaciones fueron realizadas por duplicado.

La evaluación de los dienos conjugados en *P. huayllabambana* mostró resultados promedio de 4,79 $\mu\text{mol/g}$ aceite crudo para el fundo 1 (CochA1) y 9,51 $\mu\text{mol/g}$ aceite

crudo para el fundo 2 (CochA2), ambos de Cochamal de la región Amazonas. Para *P. volubilis* los dienos conjugados fueron altos en aceites crudos de la región Huánuco de la localidad de Luyando (13,85 $\mu\text{mol/g}$ aceite) y del fundo 1 de la localidad de Campoverde (10,56 $\mu\text{mol/g}$ aceite) de Ucayali. El diagrama de cajas muestra una mayor dispersión de dienos conjugados en la región San Martín, que son explicadas por la cantidad de muestras estudiadas en esta región, ver Figura 32.

Con respecto a los resultados de la investigación, Ramos Escudero (2014), en el estudio de los parámetros de calidad de los 27 aceites comerciales de sacha inchi procedentes de las regiones Amazonas, Junín, Madre de Dios, Ucayali, San Martín, Huánuco y Loreto, encontró valores de K_{232} entre 1,58 y 2,48. En la presente investigación, los valores de dienos conjugados se expresaron como $\mu\text{mol/g}$ aceite y en la investigación de Ramos Escudero (2014), se expresaron como K en λ 232 nm. Según la metodología utilizada en la presente investigación las evaluaciones realizadas en λ 233 nm permitieron determinar valores de K_{233} . Los valores se encontraron entre 1,07 y 3,52. Los aceites crudos de *P. huayllabambana* presentaron valores K_{233} entre 1,20 y 2,40, mientras que los aceites crudos de *P. volubilis* presentaron valores entre 1,07 y 3,52, los valores más altos se encontraron en el aceite crudo de Luyando (LuyHu, 3,50 valor promedio) superior al reportado por Ramos Escudero (2014), los valores más bajos se encontraron en el aceite crudo del fundo 1 de Tocache (ToSM1, 1,30 valor promedio). La diferencia encontrada entre los resultados de la investigación y lo reportado por Ramos Escudero (2014), se asocia con:

- i) La metodología utilizada; Ramos Escudero (2014), para la evaluación de los dienos conjugados utiliza λ de 232 nm para evaluar los dienos conjugados y ciclohexano como solvente (0,5% p/v), mientras que en la presente investigación se utilizó la metodología de Pegg (2001), donde las muestras se disolvieron con 2,2,4-trimetilpentano (isooctano) y la evaluación se realizó a λ de 233 nm;
- ii) La naturaleza de las muestras; Ramos Escudero (2014), utilizó aceites comerciales de diferentes localidades, mientras que en la presente investigación se colectaron semillas de diferente origen genético y se diferenciaron a las especies *P. volubilis* y *P. huayllabambana*, se realizó la extracción de los aceites crudos en frío vía

prensado hidráulico, se filtraron y finalmente se almacenaron bajo refrigeración los aceites hasta su evaluación. Al respecto Oliveras (2005), en su trabajo de investigación sobre la calidad del aceite de oliva extra virgen, antioxidantes y función biológica, reporta valores de dienos conjugados de los aceites crudos de oliva entre 1,42 y 2,25 $\mu\text{mol/g}$ de aceite, inferiores a los encontrados en la presente investigación, debido a que los aceites de oliva son ricos en omega 9, a diferencia de los aceites de sachá inchi;

- iii) La calidad de semillas; los valores relativamente altos indican además que las prácticas poscosecha inadecuadas afectan los valores de dienos conjugados, así como los excesos de humedad ambiental y lluvias locales, radiación, temperatura y origen genético de las semillas, afectan la calidad de los aceites. Adicionalmente Pegg, (2001), en la medición de productos de oxidación primario de lípidos dentro de sus comentarios indica que no todos los lípidos tienen el mismo grado de susceptibilidad a la oxidación, la presencia de biocatalizadores como enzimas oxidativas, radiación, interface aire-aceite, presión parcial del oxígeno e iones metálicos afectan la oxidación de los aceites;
- iv) Los grupos cromóforos; la detección de los dienos conjugados en lípidos insaturados es un ensayo sensible, pero las magnitudes de su absorción no sólo está relacionada al proceso de oxidación, si no a otros grupos cromóforos que son susceptibles de ser medidos en 233 nm que no se reportaron en sachá inchi, así como otros productos oxidados (Pegg, 2001).

Trienos conjugados

La formación de trienos conjugados se favorece en aceites que contienen ácidos grasos con más de dos dobles enlaces, dependiendo de las condiciones de extracción se forman estos trienos conjugados. En la investigación se encontraron trienos conjugados entre 0,01 y 0,21 valores de K_{268} , para los aceites crudos de sachá inchi. El análisis de distribución del parámetro revela distribución simétrica para *P. huayllabambana* y distribución asimétrica con sesgo a la derecha para *P. volubilis*. Los diagramas de caja del parámetro muestran una mayor dispersión en las regiones de San Martín y Ucayali. Los valores más altos se encontraron para la región Huánuco (ver Figura 33). En el caso de *P. huayllabambana*, los valores de K_{268} estuvieron alrededor de 0,085 y 0,086 para

los fondos de Cochamal, CochA1 y CochA2, respectivamente, de la región Amazonas. Para *P. volubilis* los trienos conjugados fueron superiores para los aceites crudos de Luyando ($K_{268}= 0,197$) de la región Huánuco y los valores más bajos se encontraron en los aceites crudos de la localidad de Shapaja ($K_{268}= 0,047$) de la región San Martín. No hubo diferencias entre las dos especies (Figura 33). Ramos Escudero (2014), en la evaluación de los 27 aceites comerciales de sachá inchi, reportó valores por debajo de los 0,22 para las mediciones a 270 nm, K_{270} , similares a los encontrados en la presente investigación, que según la Comunidad Europea corresponden a aceites en calidad extra virgen.

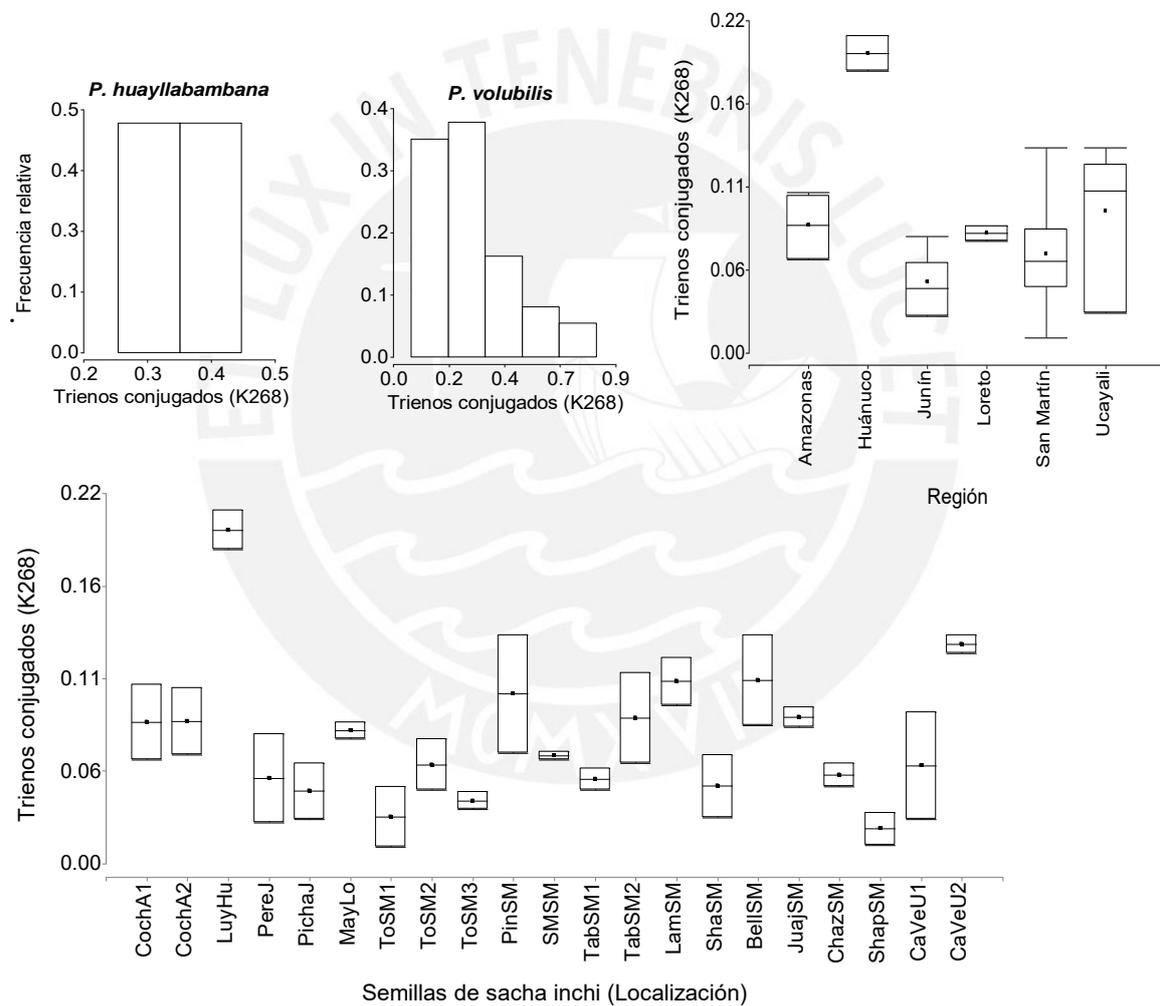


Figura 33. Distribución de los trienos conjugados del aceite crudo, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta *P. huayllabambana* y *P. volubilis*. *P. huayllabambana* en la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). Las evaluaciones fueron realizadas por duplicado.

3.2.8 Índice de peróxido

En la presente investigación, los valores del índice de peróxido, asociados a los procesos oxidativos de los aceites crudos de sachá inchi se encontraron entre 0,20 y 14,07 meq O₂/kg de aceite. Este es un parámetro ampliamente utilizado en la evaluación de su calidad.

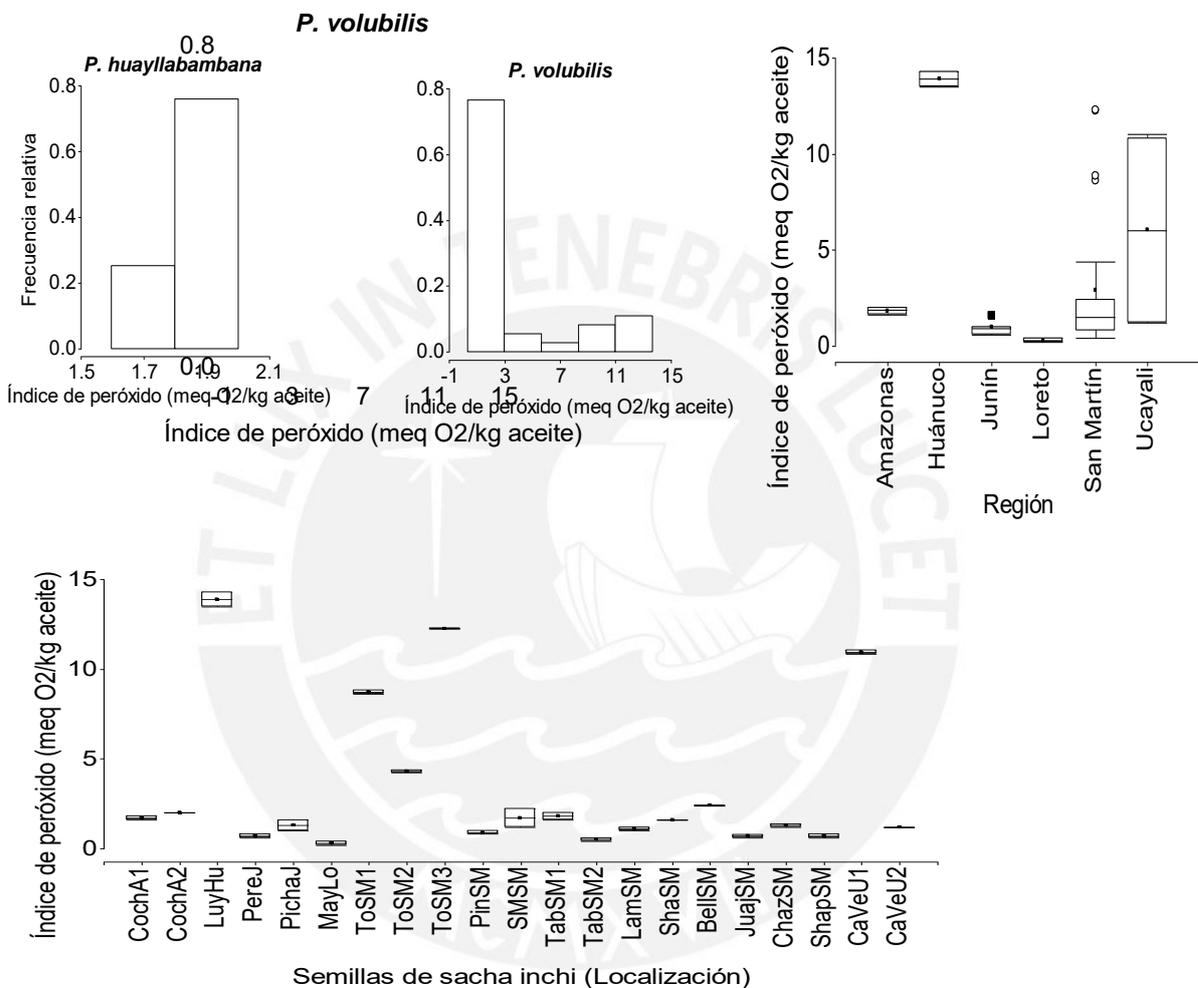


Figura 34. Distribución del índice de peróxido del aceite crudo, y diagramas de caja según las regiones estudiadas y localización de colecta *P. huayllabambana* y *P. volubilis*. *P. huayllabambana* en la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). Las evaluaciones fueron realizadas por duplicado.

El parámetro índice de peróxido de los aceites crudos revela distribuciones asimétricas para *P. huayllabambana* y *P. volubilis* (ver Figura 34). La dispersión de los resultados

según las regiones estudiadas muestra que los índices de peróxido en *P. huayllabambana* de la región Amazonas presentaron valores relativamente bajos. La dispersión en *P. volubilis* muestra que el índice de peróxido (meq O₂/kg de aceite) fue mayor para las regiones de San Martín y Ucayali. Los valores del parámetro fueron más altos en la región Huánuco, mientras que los más bajos se encontraron en las regiones de Junín y Loreto, para los aceites crudos de sachá inchi, ver Figura 34.

El índice de peróxido de los aceites crudos de *P. huayllabambana* de la localidad de Cochamal fue de 1,68 meq O₂/kg de aceite (CochA1) para el fundo 1 y 1,97 meq O₂/kg de aceite para el fundo 2 (CochA2) de la región Amazonas. Al respecto, Chasquibol *et al.* (2014), en el estudio del índice de peróxido de catorce (14) ecotipos de *P. huayllabambana* de la región Amazonas, encontraron valores entre 1,5 – 19,1 y 2,1 – 5,6 meq O₂/kg de aceite, para la primera y segunda cosecha, respectivamente, en la región Amazonas, los cuales fueron superiores (10 meq O₂/kg de aceite) al indicado por la NTP.

En relación a las evaluaciones del parámetro en *P. volubilis*, los aceites crudos de la localidad de Luyando (13,67 meq O₂/kg de aceite) de Huánuco, del fundo 3 de Tocache (12,06 meq O₂/kg de aceite) de la región San Martín y del fundo 1 de Campoverde (10,76 meq O₂/kg de aceite) de Ucayali presentaron los valores más altos del índice de peróxido, superando los valores recomendados por la NTP. Los otros aceites crudos presentaron índices aceptables de calidad según este parámetro. Así, los aceites crudos del fundo 2 de la localidad de Tabalosos (0,49 meq O₂/kg de aceite) de San Martín y de Maynas (0,30 meq O₂/kg de aceite) de la región Loreto presentaron los más bajos índices de peróxido, ver Figura 34. Con respecto a investigaciones con el parámetro, Ramos Escudero (2014), en el estudio de 27 aceites comerciales de *P. volubilis* reportó índices de peróxido entre 4,67 – 18,40 meq O₂/kg de aceite, superando en algunos casos los valores indicados por la NTP para este parámetro de calidad. Gorriti *et al.* (2010), por su parte, reportaron valores similares de índice de peróxido de 0,889 meq O₂/kg de aceite para el sachá inchi y 0,396 meq O₂/kg de aceite para la linaza en su investigación referida a toxicidad del aceite crudo de *P. volubilis*.

Los lípidos son susceptibles a la oxidación y sobre todo los aceites insaturados como el de sachá inchi y para conocer la relación entre parámetros oxidativos se evaluó la correlación entre dienos conjugados, trienos conjugados (K_{268}) y el índice de peróxido. Los resultados revelan correlaciones significativas de *Pearson* entre los dienos conjugados y trienos conjugados ($r=0,60$; $p<0,0001$), y dienos conjugados y el índice de peróxido ($r=0,64$; $p<0,0001$) en los aceites crudos de sachá inchi de *P. huayllambana* y *P. volubilis*. La correlación entre los trienos conjugados y el índice de peróxido no fue significativa ($r=0,16$; $p=0,3023$), ver Figura 35. Al respecto, Ramos Escudero (2014), en los aceites comerciales de *P. volubilis* reportó un análisis clúster con estos parámetros, mientras que Marmesat *et al.* (2009), en el estudio de los cambios del valor de peróxido y los dienos conjugados durante la oxidación del aceite de girasol con diferentes grados de insaturación, reportaron correlaciones significativas entre ambos parámetros, similares a los encontrados en la presente investigación.

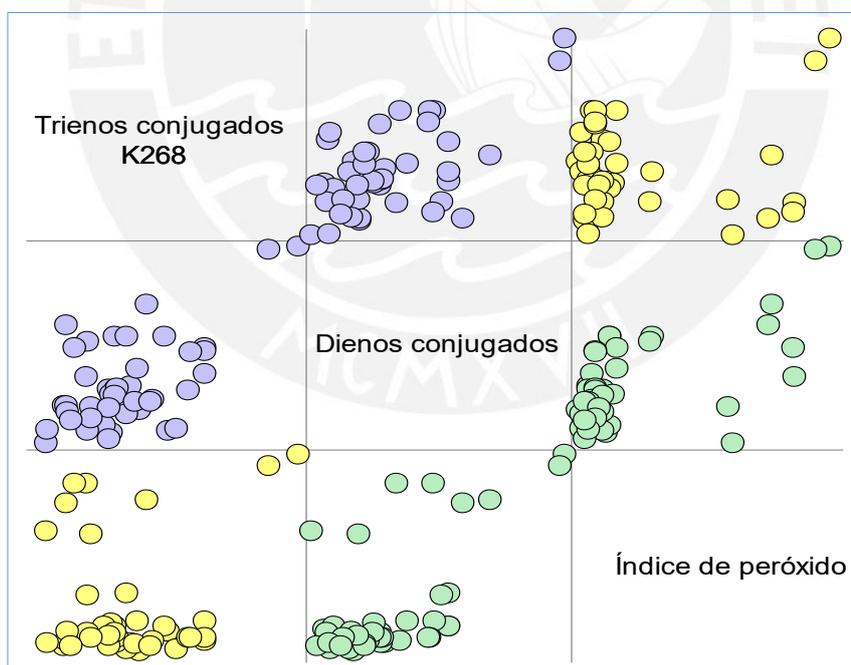


Figura 35. Análisis de correlación de los dienos conjugados, trienos conjugados e índice de peróxido de los aceites crudos de sachá inchi de *P. huayllambana* y *P. volubilis*.

3.2.9 Diversidad de parámetros fisicoquímicos de los aceites crudos de sachá inchi

Ramos Escudero (2014), en su estudio relacionado con la caracterización y trazabilidad del aceite de *Plukenetia volubilis*, consideró dentro de los parámetros de calidad de los 27 aceites comerciales estudiados, la acidez libre, el índice de peróxido, los dienos y trienos conjugados, y el valor de ΔK , los cuales se evaluaron según análisis de clúster jerárquico (HCA) y análisis de factores. Los resultados muestran correlaciones significativas entre los dienos conjugados, trienos conjugados e índice peróxido, en el análisis clúster; el análisis de factores presentó en sus componentes una probabilidad total de 67,35 % para la asociación de los parámetros de calidad, ver Figura 36. El análisis discriminante de los aceites comerciales según los parámetros de calidad discriminó a los aceites comerciales en tres grupos, ver Figura 36.

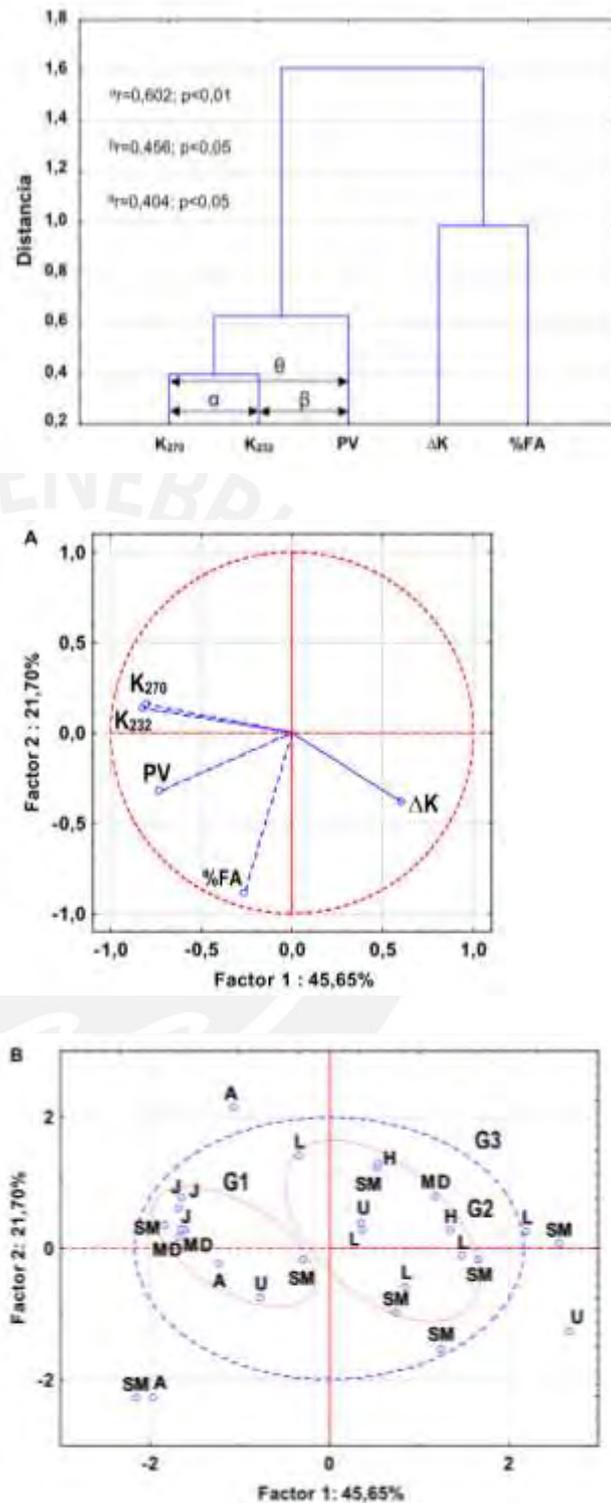


Figura 36. Análisis de clúster jerárquico (HCA) y de factores, de los parámetros de calidad evaluados en 27 aceites comerciales de sachá inchi.

Fuente: Ramos Escudero (2014).

Con respecto a los resultados encontrados en la presente investigación con los parámetros fisicoquímicos en los 21 aceites crudos, se determinaron correlaciones significativas según *Pearson* entre la altitud de producción con la grasa total y aceite crudo (ver Figura 26). Otras correlaciones significativas se encontraron entre dienos conjugados y el índice de peróxido, así como dienos conjugados con trienos conjugados (K_{268}), ver Figura 35. Estas correlaciones fueron similares a las encontradas por Ramos Escudero (2014) en su estudio con 27 aceites comerciales de *P. volubilis*, ver Figura 36.

En la Tabla 12 se presentan las medidas resumen de los valores promedio, variabilidad, mínimos y máximos, de cada parámetro fisicoquímico evaluado en los 21 aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

Tabla 12. Resumen de los parámetros fisicoquímicos evaluados en los aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

| Parámetro fisicoquímico | Media | | CV (%) | | Mínimo | | Máximo | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | <i>P. h</i> | <i>P. v</i> |
| Humedad almendra (%) | 5,63 | 6,06 | 2,59 | 8,54 | 5,50 | 5,29 | 5,76 | 7,26 |
| Aceite crudo (%) | 40,96 | 33,39 | 6,03 | 7,56 | 37,90 | 29,07 | 42,97 | 38,39 |
| Grasa total (%) | 60,39 | 52,82 | 0,38 | 6,63 | 60,13 | 46,75 | 60,63 | 61,02 |
| Densidad (g/mL, 25 °C) | 0,93 | 0,93 | 0,01 | 0,02 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 |
| Índice refracción (20 °C) | 1,48 | 1,48 | 0,00 | 0,01 | 1,48 | 1,48 | 1,48 | 1,48 |
| Acidez libre (%) | 3,64 | 0,54 | 81,36 | 148,99 | 1,07 | 0,09 | 6,22 | 2,98 |
| Ísaponi (mgKOH/kg aceite) | 192,35 | 189,18 | 0,93 | 1,31 | 190,27 | 184,38 | 194,17 | 192,67 |
| Íyodo (g I ₂ /100 g aceite) | 195,30 | 193,35 | 1,91 | 2,18 | 191,34 | 182,15 | 199,70 | 199,48 |
| Dienos conjugados (μmol/g) | 7,15 | 7,20 | 38,11 | 31,52 | 4,74 | 4,24 | 9,52 | 13,94 |
| Trienos conjugados, K_{268} | 0,34 | 0,30 | 28,29 | 59,75 | 0,25 | 0,05 | 0,42 | 0,83 |
| Índice peróxidos (meq O ₂ /kg) | 1,82 | 3,44 | 10,01 | 124,52 | 1,58 | 0,20 | 1,97 | 14,07 |

Ísaponi: Índice saponificación. Íyodo: Índice yodo. CV: Coeficiente de variabilidad.
P. h: *P. huayllabambana*. *P. v*: *P. volubilis*.

Las evaluaciones fueron realizadas por duplicado. Densidad e índice de refracción se realizó una (1) medición.

Para conocer la asociación de las variables fisicoquímicas evaluadas en la investigación se realizó el análisis clúster y PCA, ver Figura 37.

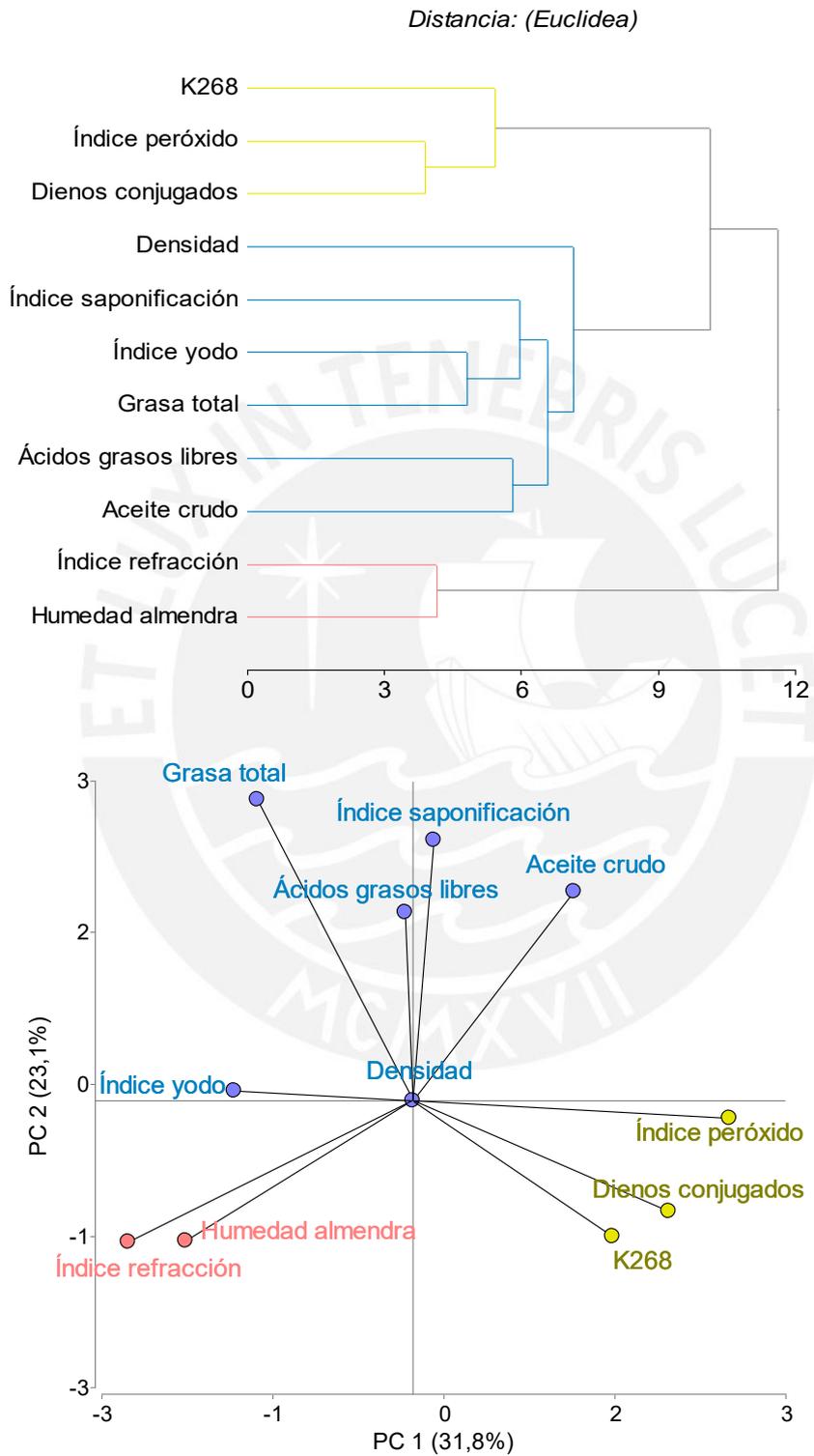


Figura 37. Dendrograma y PCA de los parámetros fisicoquímicos evaluados en los aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

De acuerdo al dendrograma construido según método de *Ward* y distancia *Euclídea* se observan tres clústers definidos según su distancia:

- i) *Primer clúster constituido por trienos conjugados expresados como K_{268} con índice de peróxido y dienos conjugados;*
- ii) *Segundo clúster constituido por tres subgrupos, densidad, índice de saponificación con índice de yodo y grasa total, y el subgrupo ácidos grasos libres con aceite crudo;*
- iii) *Tercer clúster constituido por índice de refracción y humedad de almendra. Al respecto;*

Ramos Escudero (2014), en el primer clúster obtuvo el mismo agrupamiento en su estudio con 27 muestras comerciales de aceite de sachá inchi, ver Figura 36. El PCA construido con PC1 (31,8 %) y PC2 (23,1 %), identificó tres clústers en diferentes cuadrantes del PCA, ver Figura 37. Los autovalores, autovectores y correlaciones de las variables fisicoquímicas evaluadas en los aceites crudos de sachá inchi se presentan en la Tabla 13 y Anexo 10.

Tabla 13. Autovalores, autovectores y componentes principales de los parámetros fisicoquímicos utilizados en la caracterización de aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* según PCA.

| Autovalores | | | | Autovectores | | | Correlaciones | |
|-------------|---------|---------|------|-----------------------|-------|-------|---------------|-------|
| L | V | P | PA | Variable | e1 | e2 | PC1 | PC2 |
| 1 | 3,50 | 0,32 | 0,32 | Humedad | -0,35 | -0,25 | -0,65 | -0,40 |
| 2 | 2,54 | 0,23 | 0,55 | Aceite crudo | 0,25 | 0,38 | 0,46 | 0,60 |
| 3 | 1,60 | 0,15 | 0,69 | Grasa total | -0,24 | 0,54 | -0,45 | 0,87 |
| 4 | 1,00 | 0,09 | 0,79 | Densidad | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 5 | 0,97 | 0,09 | 0,87 | Índice refracción | -0,44 | -0,25 | -0,82 | -0,41 |
| 6 | 0,68 | 0,06 | 0,94 | Ácidos grasos libres | -0,01 | 0,34 | -0,02 | 0,54 |
| 7 | 0,39 | 0,04 | 0,97 | Índice saponificación | 0,03 | 0,47 | 0,06 | 0,75 |
| 8 | 0,25 | 0,02 | 0,99 | Dienos conjugados | 0,39 | -0,20 | 0,74 | -0,32 |
| 9 | 0,04 | 3.6E-03 | 1,00 | K_{268} | 0,31 | -0,25 | 0,58 | -0,39 |
| 10 | 0,03 | 2.6E-03 | 1,00 | Índice peróxido | 0,49 | -0,03 | 0,91 | -0,05 |
| 11 | 8.1E-07 | 7.4E-08 | 1,00 | Índice yodo | -0,28 | 0,02 | -0,51 | 0,03 |

L: lambda. V: valor. P: proporción. PA: proporción acumulada. PC1: componente principal 1. PC2: componente principal 2. Correlación cofenética= 0,870.

Con respecto al análisis clúster y PCA de los aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, según las variables fisicoquímicas, se distinguieron cinco clústers, Figura 38.

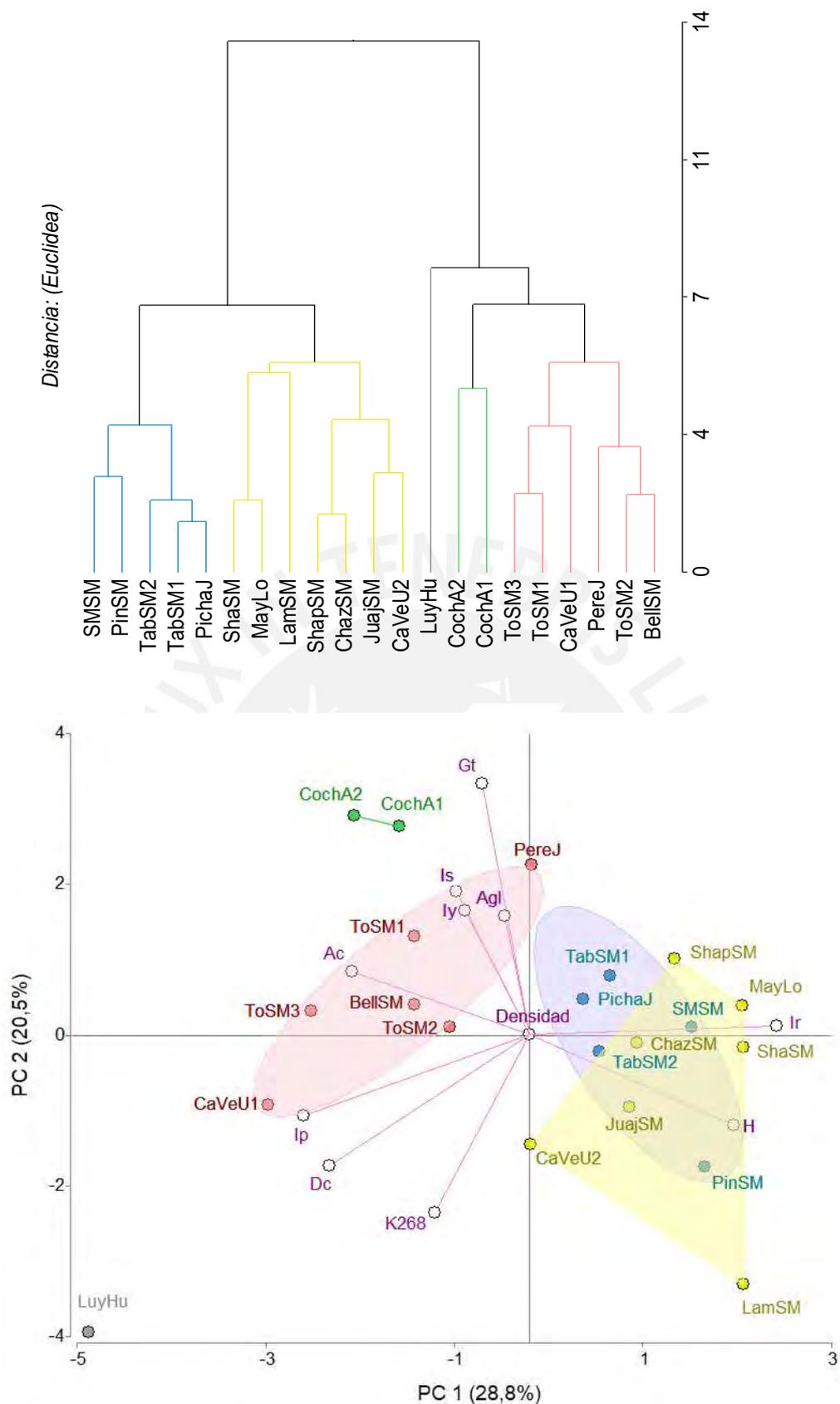


Figura 38. Dendrograma y PCA de las 21 muestras de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* según los parámetros fisicoquímicos evaluados en sus aceites crudos.

Gt: grasa total. Is: índice de saponificación. Agl: ácidos grasos libres. Iy: índice de yodo. Ac: aceite crudo. Ip: índice de peróxido. Dc: dienos conjugados. H: humedad almendra. Ir: índice de refracción.

El diagrama del árbol construido según el método de *Ward* y la distancia *Euclídea* como criterio de similaridad muestra la conformación de cinco clústers. Según los parámetros fisicoquímicos evaluados en los aceites crudos de sacha inchi, los conglomerados fueron los siguientes:

- Clúster I* Clúster constituido por dos subgrupos, SMSM y PinSM (San Miguel del Río Mayo y Pinto recodo, ambos de San Martín), con TabSM2, TabSM1 y PichaJ (Fundo 2 y 1 de Tabalosos de San Martín y Pichanaki de Junín), todos *P. volubilis*. El clúster se caracteriza por presentar valores intermedios de aceite crudo, grasa total, bajos contenidos de ácidos grasos libres, valores intermedios de índice de saponificación, bajos contenidos de dienos conjugados, K_{268} , y valores intermedios de índice de peróxido,
- Clúster II* Clúster constituido por tres subgrupos, ShaSM y MayLo (Shanao de San Martín y Maynas de Loreto), subgrupo LamSM (Lamas de San Martín), subgrupo ShapSM y ChazSM con JuajSM y CaVeU2 (Shapaja y Chazuta de San Martín con Juanjuí de San Martín y fundo 2 de Campoverde de Ucayali), todos *P. volubilis*. El clúster presenta valores intermedios de aceite crudo, grasa total, bajos contenidos de ácidos grasos libres, índice de saponificación, dienos conjugados, K_{268} , e índice de peróxido,
- Clúster III* Clúster constituido por LuyHu (Luyando de Huánuco), correspondiente a *P. volubilis*. El clúster se caracteriza por presentar bajos contenidos de aceite crudo, valores intermedios de grasa total, ácidos grasos libres, índice de saponificación, bajos valores de dienos conjugados, K_{268} , e índice de peróxido,
- Clúster IV* Clúster constituido por aceites crudos de los dos fondos de Cochamal de la región Amazonas (CochA1 y CochA2) y corresponden a *P. huayllabambana*. El clúster presenta valores superiores en aceite crudo, grasa total, ácidos grasos libres, índice de saponificación y bajos valores de dienos conjugados, K_{268} , e índice de peróxido,
- Clúster V* Clúster conformado por dos subgrupos, aceites crudos de los fondos de Tocache (ToSM3, ToSM1) con CaVeU1 (fundo 1 de Campoverde de Ucayali) y el subgrupo formado por PereJ con ToSM2 y BellSM (Perené de Junín con aceites crudos del fundo 2 de Tocache y Bellavista de la región San Martín).

El clúster presenta valores intermedios de aceite crudo, bajos contenidos de grasa total y ácidos grasos libres, valores intermedios de índice de saponificación; y en relación a dienos conjugados, K_{268} , e índice de peróxido, los aceites crudos de *P. volubilis* presentaron los valores más altos.

Con respecto a los parámetros, humedad de aceite, densidad, índice de refracción, e índice de yodo, en los clústers del análisis de conglomerados no se observaron diferencias. El PCA distingue los cinco (5) clústers del análisis de conglomerados, así como la distribución de los 21 aceites crudos evaluados en los cuadrantes, la distinción de los aceites crudos de las especies *P. volubilis* y *P. huayllabambana*, y la asociación entre la muestra y el parámetro evaluado (ver Figura 38, caso de *P. huayllabambana* asociados a los parámetros aceite crudo, grasa total, índice de saponificación, ácidos grasos libres y el índice de yodo, identificados en el análisis de conglomerados para el clúster IV). La conformación de los clústers y la distribución de las muestras y los parámetros fisicoquímicos en el PCA, se explican por la constitución genética de las especies *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, las condiciones medioambientales de los lugares de producción en las regiones estudiadas, las interacciones genotipo x ambiente, y sobre todo por las condiciones de manejo pos cosecha de las semillas en los lugares de producción, que se observaron en los parámetros fisicoquímicos evaluados. Al respecto, Ramos Escudero (2014), en su estudio de 27 aceites comerciales de *P. volubilis* con los parámetros fisicoquímicos de acidez libre, índice de peróxido, dienos y trienos conjugados, y valor de ΔK , identificó tres clústers para los aceites comerciales estudiados según PCA (ver Figura 36).

3.3 Ácidos grasos de los aceites crudos de sachá inchi

Dentro de la sección se presentan y discuten los resultados de los contenidos de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados de las especies *P. huayllabambana* y *P. volubilis*. Se concluye la sección con el análisis de diversidad de los aceites crudos de las regiones Amazonas, Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali, en base a su composición de ácidos grasos.

3.3.1 Ácido palmítico, C16:0

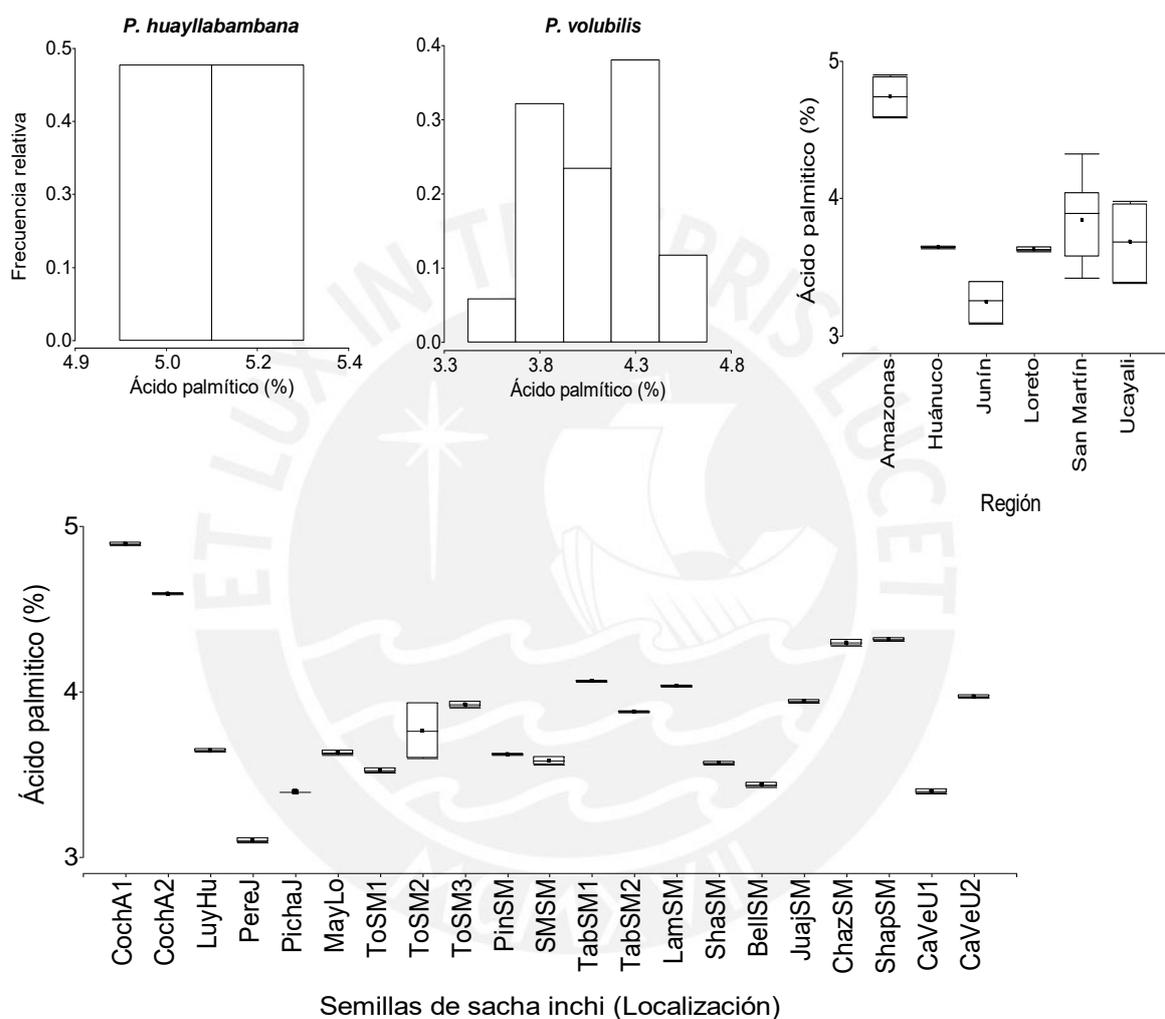
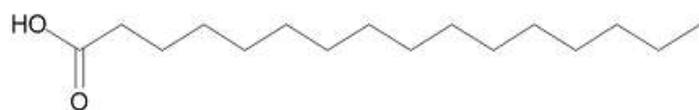


Figura 39. Estructura química, distribución del ácido palmítico (%) y diagramas de caja del ácido graso según las regiones estudiadas y localización de colecta en aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

P. huayllabambana en la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). Las evaluaciones fueron realizadas por duplicado.

El ácido graso saturado de dieciseis átomos de carbono (ácido hexadecanoico) de cadena larga es el principal ácido graso que se encuentra en el cuerpo humano, así como en su dieta. El análisis de distribución del ácido graso en los aceites crudos de *P. huayllabambana* revela una distribución simétrica, mientras que en *P. volubilis*, asimétrica. La investigación reveló que la expresión del ácido graso fue superior para *P. huayllabambana* de la región Amazonas. En el caso de *P. volubilis* se observó una mayor dispersión del ácido palmítico en la región San Martín, los valores más bajos se encontraron en los aceites crudos de la región Junín, valores intermedios se encontraron en aceites crudos de las regiones Huánuco, Loreto, San Martín y Ucayali, ver Figura 39.

El ácido palmítico en los aceites crudos de *P. huayllabambana* presentó contenidos promedio de 5,27 % para el fundo 1 (CochA1) y 4,96 % para el fundo 2 (CochA2), de la localidad de Cochamal de la región Amazonas. En comparación con esta investigación, Ruiz *et al.* (2013), en el análisis de ácidos grasos de las semillas AI-RM-05 de *P. huayllabambana*, reportaron valores de 5,3 % para las semillas y 6,1 % para su torta, similares a los encontrados en la investigación. Por su parte Chasquibol *et al.* (2014), en el estudio de catorce (14) ecotipos de la región Amazonas de la misma especie en dos cosechas, encontraron concentraciones entre 4,3 – 4,9 % y 4,4 – 5,7 % de ácido palmítico, similares a los valores encontrados en la presente investigación. En el caso de Muñoz Jáuregui *et al.* (2013), los resultados promedio fueron de 5,36 % para 01-A y 5,16 % para 02-A, con valores parecidos a los encontrados en la presente investigación.

Para los aceites crudos de *P. volubilis*, la evaluación de ácido palmítico reveló diferencias altamente significativas entre las muestras, alcanzando concentraciones superiores los aceites crudos de la localidad de Shapaja (4,67 %, ShapSM) y Chazuta (4,65 %, ChazSM) de la región San Martín, y las menores concentraciones los aceites crudos de Pichanaki (3,71 %, PichaJ) y del Perené (3,41 %, PereJ) de la región Junín. Al respecto Ramos Escudero (2014), en la evaluación de 27 aceites de las regiones Loreto, Amazonas, San Martín, Huánuco, Ucayali, Junín y Madre de Dios, reportó valores superiores de ácido palmítico a los encontrados en la investigación 3,70 – 9,01 %. Mientras, que Zuloeta Arias (2014) y Chirinos *et al.* (2013), en el estudio de 16 cultivares de semillas del INIA

Perú cosechadas en la región San Martín, reportaron valores entre 1,6 – 2,13 g/100g de semilla de ácido palmítico, para las accesiones PER000422 y PER000421, respectivamente. Ayala Martínez (2016), en el estudio del cultivo de sachá inchi en la localidad de Cundinamarca de Bogotá en Colombia con los cultivares INCA-1, CATIO-2 y NUKAK-3 en la extracción del aceite por prensado y con solventes, reportó contenidos de ácido palmítico de 4,26 %, 4,41 % y 4,27 % para los aceites crudos de INCA-1, CATIO-2 y NUKAK-3, respectivamente, y para la extracción con solventes los valores fueron de 4,98 %, 5,50 % y 5,15 %, respectivamente. Rodríguez *et al.* (2021), en semillas de Lamas de la región San Martín en Perú, reportaron valores bajos de ácido palmítico ($3,0 \pm 0,1$ %) en su investigación. Por otro lado, do Prado *et al.* (2011), Gorriti *et al.* (2010), Follegatti-Romero *et al.* (2009), y Hamaker *et al.* (1992), en las investigaciones con aceite de sachá inchi, reportaron contenidos de ácido palmítico en *P. volubilis*, con valores similares a los encontrados en la presente investigación.

Las diferencias observadas del ácido graso entre *P. huayllabambana* y *P. volubilis* se deben a la constitución genética de las especies, las condiciones medioambientales de los lugares de producción y las interacciones genotipo x ambiente (ver Figura 39). Al respecto Xianzhi Wang *et al.* (2012), en el análisis cuantitativo de locus (QTL) asociados a ácidos grasos saturados de líneas puras recombinantes de soya, los investigadores identificaron 8 QTL para ácido palmítico con altos niveles de consistencia y repetitibilidad en múltiples ambientes, indicando que los QTL podrían ser utilizados en estrategias de mejoramiento genético de ácidos grasos saturados en soya. Bajo esas consideraciones, se precisa implementar estudios similares en el sachá inchi.

En comparación con otras oleaginosas, Cuppett (2001) reportó valores superiores de ácido palmítico para el aceite de maíz (7 %), algodón (22 %), linaza (6 %), oliva (7 – 16 %), palma (32 – 45 %), maní (6 – 11,4 %), sésamo (7,2 – 7,7 %), soya (2,3 – 10,6 %) y girasol (3,5 – 6,5 %), menores y similares contenidos para la colza (1 – 4,7 %). En cuanto a otras oleaginosas nativas de nuestra amazonía, Quispe Jacobo *et al.* (2009), en aceites crudos de aguaje y unguurahui, reportaron rendimientos de 0,55 – 0,50 % y 0,13 – 0,29 % de aceite extraídos en 25 y 60 °C. Por otro lado, Pascual y Molina, (2007), en aceites crudos de maní, reportan contenidos de 10,43 y 9,46 % para Maní Casma Italiano y Maní colec I-95/50, respectivamente, en accesiones del INIA Perú.

3.3.2 Ácido esteárico, C18:0

El ácido esteárico es un ácido graso saturado de dieciocho (18) átomos de carbono (ácido octadecanoico) que se encuentra presente en aceites y grasas de animales y vegetales. En la presente investigación, el ácido esteárico presentó distribución simétrica en *P. huayllabambana* y asimétrica en *P. volubilis*, ver Figura 40.

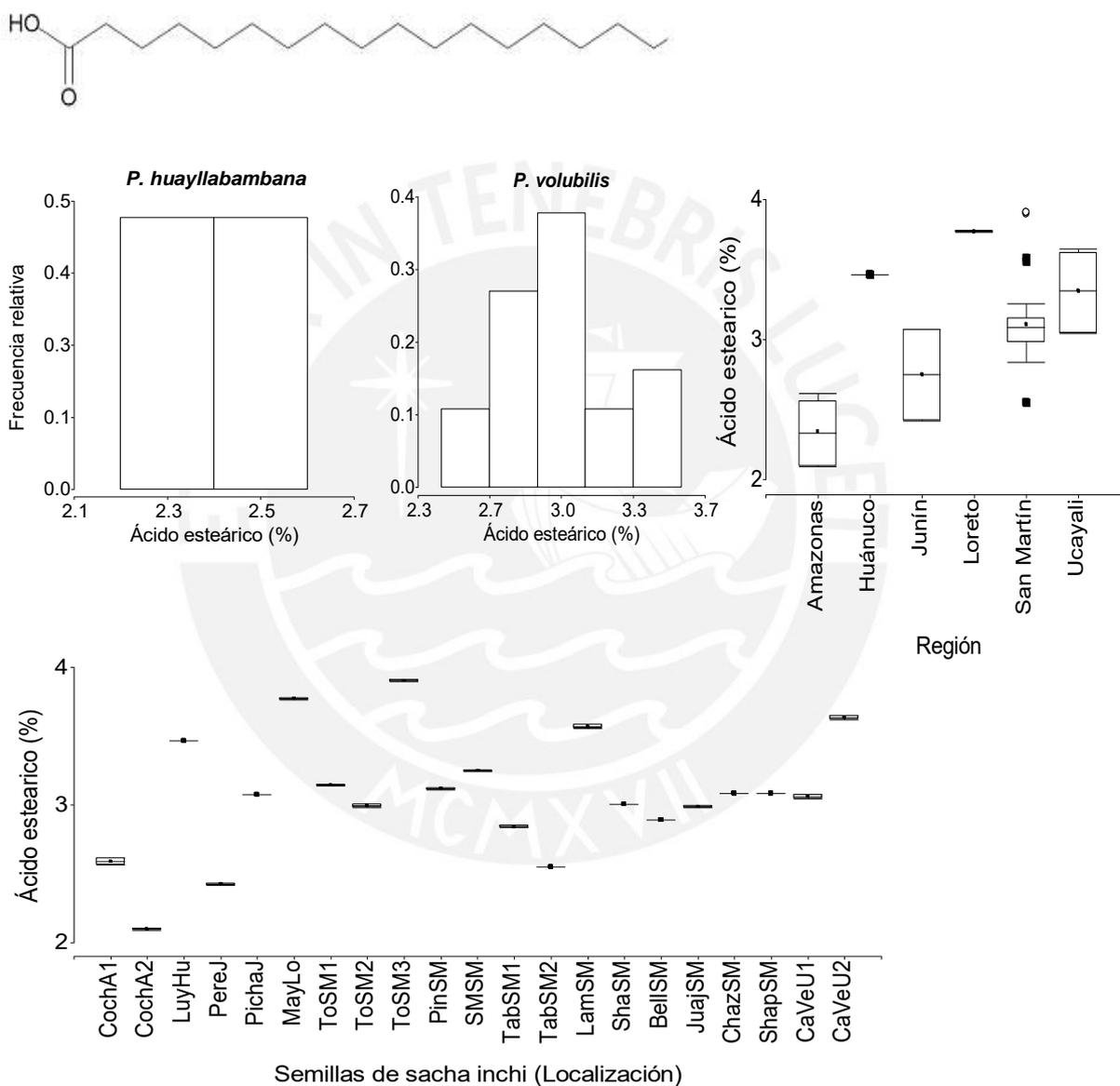


Figura 40. Estructura química, distribución del ácido esteárico (%) y diagramas de caja del ácido graso según las regiones estudiadas y localizaciones de colecta en aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

P. huayllabambana de la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). Las evaluaciones fueron realizadas por duplicado.

Las evaluaciones del ácido graso según las regiones estudiadas, revelan que los aceites crudos de la región Amazonas presentaron bajos contenidos de ácido esteárico, estos aceites corresponden a *P. huayllabambana*; a diferencia de los aceites de las regiones Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali que presentaron los contenidos más elevados y corresponden a *P. volubilis*. Los aceites crudos de Loreto y San Martín presentaron los valores más altos (ver Figura 40)

Los contenidos promedio de ácido esteárico en los aceites crudos de *P. huayllabambana* fueron de 2,19 % para el fundo 2 (CochA2) y 2,59 % para el fundo 1 (CochA1) de la localidad de Cochamal de la región Amazonas, ver Figura 40. Muñoz Jáuregui *et al.* (2013), en la investigación con semillas de *P. huayllabambana* encontraron resultados promedio de 2,41 % para 01-A y 2,17 % para 02-A, similares a los encontrados en la presente investigación. Chasquibol *et al.* (2014), en la evaluación de ácidos grasos de catorce (14) ecotipos de la región Amazonas en *P. huayllabambana*, encontraron concentraciones entre 1,5 – 2,0 % de ácido esteárico en los aceites de la primera cosecha y entre 1,3 y 2,1 % para segunda cosecha, que fueron inferiores a los encontrados en la presente investigación.

En relación a *P. volubilis*, las evaluaciones de ácido esteárico en los aceites crudos de las regiones Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali, se encontraron entre 2,44 y 3,55 %. Los aceites crudos del fundo 3 de Tocache (3,57 %) de San Martín, Maynas (3,47 %) de Loreto, fundo 2 de Campoverde (3,36 %) de Ucayali, Lamas (3,31 %) de San Martín y Luyando (3,23 %) de Huánuco, presentaron los contenidos más altos del ácido graso saturado. Los contenidos más bajos se encontraron en los aceites crudos del Perené (2,44 %) de Junín y del fundo 2 de Tabalosos (2,53 %), ver Figura 40. Zuloeta Arias (2014) y Chirinos *et al.* (2013), en el estudio de 16 cultivares de *P. volubilis* del INIA de la región San Martín, reportaron ácido esteárico entre 1,1 – 1,3 g/100g semilla.

Ayala Martínez (2016), en el estudio en Colombia de los cultivares INCA-1, CATIO-2 Y NUKAK-3, reportó, repectivamente, contenidos de 3,07, 3,12 y 3,00 % de ácido esteárico, para los aceites crudos de los tres cultivares de *P. volubilis*, y la extracción por solventes de las semillas de los tres cultivares produjo contenidos entre 3,57 y 3,82 %

de ácido esteárico, todos parecidos a los encontrados en la presente investigación. Ramos Escudero (2014), en el estudio de 27 aceites de sachá inchi de *P. volubilis* de las regiones Loreto, Amazonas, San Martín, Huánuco, Ucayali, Junín y Madre de Dios, reportó valores entre 2,63 y 4,26 % de ácido esteárico, similares a los encontrados en la investigación. Por su parte Ruiz *et al.* (2013) reportaron el valor de 2,3 % para las semillas AI-SM-06 de *P. volubilis* y 1,9 % para su torta, ligeramente inferiores a los encontrados en la presente investigación. Gorriti *et al.* (2010), en su investigación reportaron para el aceite crudo de sachá inchi el valor promedio de 2,97 % para el ácido esteárico, similar al encontrado en la presente investigación. Otra investigación con extracción de fluido supercrítico del aceite de sachá inchi presentó 2,5 %, similar a esta investigación (Follegatti-Romero *et al.*, 2009). Hamaker *et al.* (1992) reportaron el valor de 3,2 % para aceite de *P. volubilis* de las semillas del sachá inchi.

Las diferencias de expresión del ácido graso entre *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, mostrados en la Figura se deben a la constitución genética de las especies, las condiciones medioambientales de los lugares de producción y las interacciones genotipo x ambiente. Teniendo en consideración las expresiones fenotípicas y genotípicas en oleaginosas, la selección de caracteres y expresión de ácidos grasos se estudian a través de la selección asistida por marcadores moleculares (MAS). Bajo esas consideraciones, Xianzhi Wang *et al.* (2012), en el germoplasma de soya en la Universidad del Estado de Dakota, identificaron cinco (5) QTL asociados al ácido esteárico, que se aprovechan en estrategias de mejoramiento genético de la soya. En el caso del sachá inchi se pueden implementar similares estudios.

Otras oleaginosas reportan para el ácido graso saturado, contenidos de 3 % en maíz, 5 % en algodón, 4 % en linaza, 1,4 – 3,3 % para oliva, 4 – 6,3 % para palma, 3 – 6 % en maní, 1 – 3,5 % para colza, 7,2 – 7,7 % para sésamo, 2,4 – 6 % en soya y 1,3 – 3 % en girasol (Cuppett, 2001). En relación a las oleaginosas amazónicas como el unguurahui, el contenido de ácido esteárico fue ligeramente inferior al sachá inchi con valores de 2,75 y 2,10 %, para los aceites extraídos a 25 y 60 °C. En el caso del aguaje, otra oleaginosa nativa de nuestra selva, los contenidos fueron de 1,68 y 1,89 % del ácido graso a 25 y 60 °C (Quispe Jacobo *et al.*, 2009).

3.3.3 Ácido oleico, C18:1

Ácido graso monoinsaturado de dieciocho (18) átomos de carbono de la serie omega 9 (ácido *cis*-9-octadecenoico, C₁₈H₃₄O₂, 18:1 *cis*-9) que se consume habitualmente en la dieta humana. La evaluación del ácido oleico en los aceites crudos de sacha inchi reveló una distribución simétrica en *P. huayllabambana* y asimétrica en *P. volubilis*.

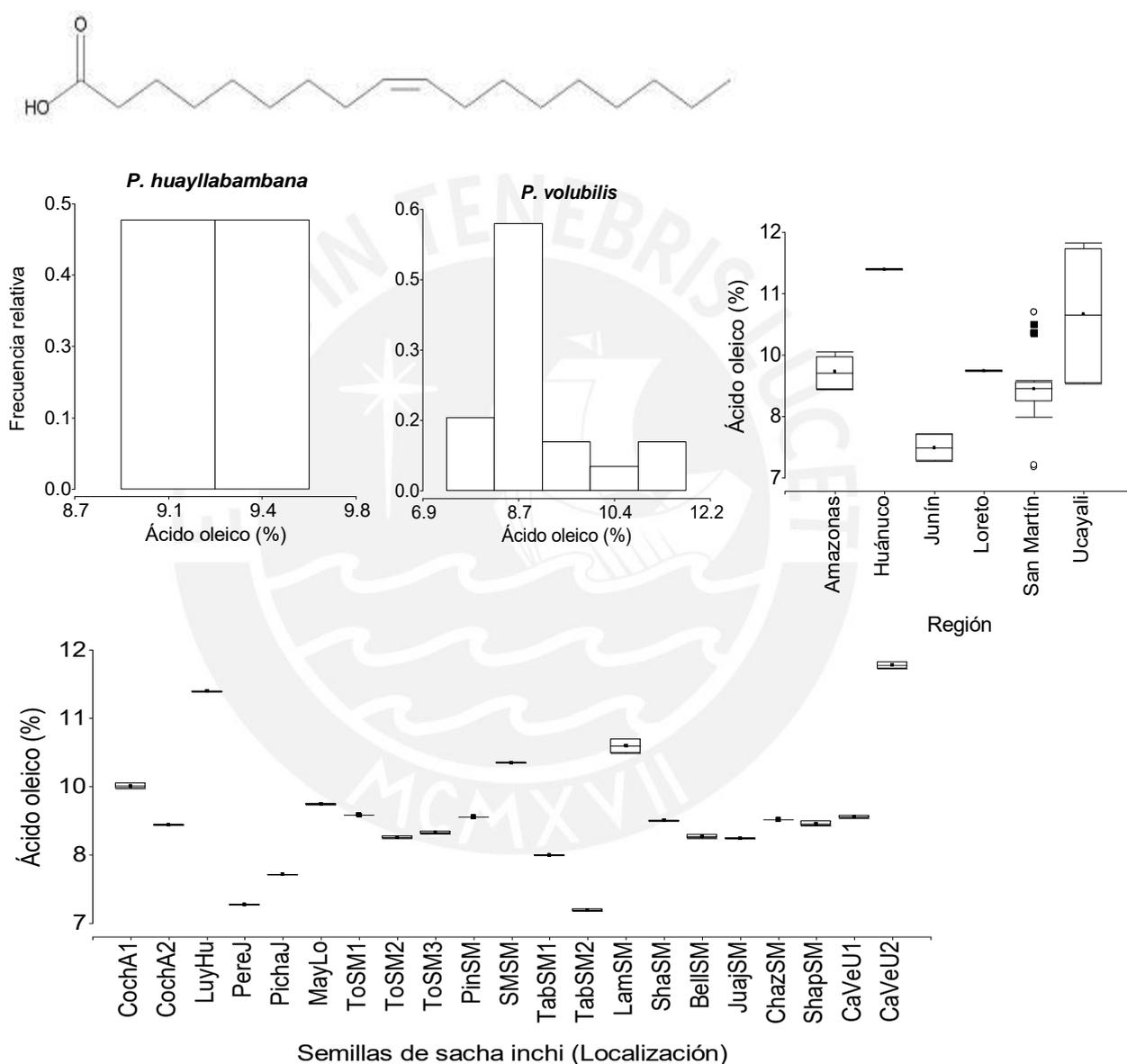


Figura 41. Estructura química, distribución del ácido oleico (%) y diagramas de caja del ácido graso según las regiones estudiadas y localizaciones de colecta en aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

P. huayllabambana de la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). Las evaluaciones fueron realizadas por duplicado.

Los contenidos del ácido graso se encontraron entre los 7,34 y 11,73 % para todos los aceites crudos. Los diagramas de caja del ácido oleico según las regiones estudiadas para las dos especies, revelan que no existen diferencias entre las dos especies, ver Figura 41. Los contenidos de ácido oleico en los aceites crudos de la región Amazonas del fundo 1 de Cochamal (CochA1) y del fundo 2 (CochA2) fueron, respectivamente, 9,57 y 8,87 %, para *P. huayllabambana*. Muñoz Jáuregui *et al.* (2013), en la investigación con semillas de *P. huayllabambana*, encontraron contenidos promedio de 9,80 % para los aceites 01-A y 9,33 % para 02-A, valores que fueron similares a los encontrados en la presente investigación. Ruiz *et al.* (2013), por su parte, en la investigación de *P. huayllabambana* reportaron el valor de 9,65 de ácido oleico en las semillas AI-RM-06, parecidos a los encontrados en la presente investigación. Chasquibol *et al.* (2014), en el estudio de catorce (14) ecotipos de *P. huayllabambana* de la región Amazonas, encontraron contenidos de ácido oleico entre 8,2 – 10,4 % para la primera cosecha y entre 6,8 – 8,8 % para la segunda cosecha, cuyos valores se encontraron dentro de los valores hallados en la presente investigación. Por su parte la NTP indica valores de 7,9 % como valor mínimo, inferior a los encontrados en *P. huayllabambana* dentro de la presente investigación.

En la evaluación del ácido oleico en los aceites crudos de *P. volubilis* de las regiones de Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali, los resultados muestran diferencias altamente significativas, los valores se encontraron entre 7,34 y 11,73 %. Los contenidos más altos se encontraron para los aceites crudos del fundo 2 de Campoverde (11,73 %, CaVeU2) de Ucayali y de la localidad de Luyando (11,27 %, LuyHu) de Huánuco, mientras que los valores más bajos fueron para las semillas del Perené (7,44 %, PereJ) de Junín y del fundo 2 de Tabalosos (7,34 %, TabSM2) de la región San Martín, que estuvieron dentro de los valores indicados por la NTP (ver Figura 41).

Ayala Martínez (2016), en la investigación del cultivo de los ecotipos de *P. volubilis* en Colombia, encontró contenidos de 9,98, 10,10 y 9,81 % de ácido oleico en los aceites crudos prensados de INCA-1, CATIO-2 y NUKAK-3, respectivamente; en el caso de la extracción con solventes los resultados se encontraron entre 10,61 y 11,74 % para los tres ecotipos estudiados, cuyos resultados estuvieron dentro de los encontrados en la

presente investigación. Ramos Escudero (2014), por su parte en el estudio de 27 aceites comerciales de *P. volubilis* de diferentes regiones de la amazonia peruana reportó valores relativamente altos de ácido oleico (C18:1 ω 9+ ω 7) en relación a los encontrados en la presente investigación. Estos valores se encontraron entre 9,61 % para IP-003 y 23,98 % correspondiente a IP-001. Por otro lado, el estudio de ácido oleico en 16 cultivares de *P. volubilis* del INIA de la región San Martín reportó valores entre 3,5 – 4,7 g/100g de semilla del ácido graso (Chirinos *et al.*, 2013; Zuloeta Arias, 2014). Otros investigadores que estudiaron la composición de los ácidos grasos de sachá inchi en la especie *P. volubilis* dentro de sus investigaciones reportaron valores similares a los encontrados en la presente investigación, así los valores encontrados fueron 9,01 % para Gorriti *et al.* (2010), 8,41 % para Follegatti-Romero *et al.* (2009), y 9,6 % para Hamaker *et al.* (1992). En todos estos casos los valores fueron superiores a los indicados por la NPT de 7,9 % para *P. volubilis*.

Las diferencias de expresión del ácido oleico entre *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, observadas en la Figura 41, se deben a la constitución genética de ambas especies, las condiciones medioambientales de los lugares de producción y las interacciones genotipo x ambiente. En ese sentido Zhang *et al.* (2022), sobre su estudio de las condiciones geográficas y fertilidad del suelo sobre los compuestos fenólicos y ácidos grasos del cultivar Leccino de olivo (*Olea europea* L.) en China, mostraron correlaciones positivas de la altitud con el ácido oleico, ácido heptadecenoico y el ácido eicosenoico, así como, contenidos elevados del ácido graso en suelos, que presentaron entre 51-100 mg/kg de nitrógeno disponible en campo.

Con respecto a otras oleaginosas, el ácido graso presenta contenidos superiores a los encontrados en la presente investigación: maíz (43 %), algodón (19 %), linaza (13-37 %), oliva (64,5-84,5 %), palma (38-53 %), maní (42,3-61 %), colza (13-38 %), sésamo (35-46 %), soya (23,5-30,8 %) y girasol (14-43 %), (Cuppett, 2001). En relación a los aceites crudos de oleaginosas nativas peruanas, como el ungurahui y aguaje, estos presentaron contenidos de 78,87-78,45 % y 78,40 y 74,61 %, superiores al sachá inchi (Quispe Jacobo *et al.*, 2009), así como de los maníes, que presentaron valores de 40,76 % para maní Casma Italiano y 51,68 % para Maní Colec I-95/50 (Pascual y Molina, 2007).

3.3.4 Ácido *cis*-vaccénico, C18:1 ω 7

Ácido graso isómero del ácido oleico, cuya composición en las semillas de sacha inchi se encuentra en contenidos bajos, por debajo del 0,8 %. Presenta distribución simétrica con respecto a *P. huayllabambana* y asimétrica con respecto a *P. volubilis* donde se observa la diversidad de su contenido entre las muestras evaluadas, ver Figura 42.

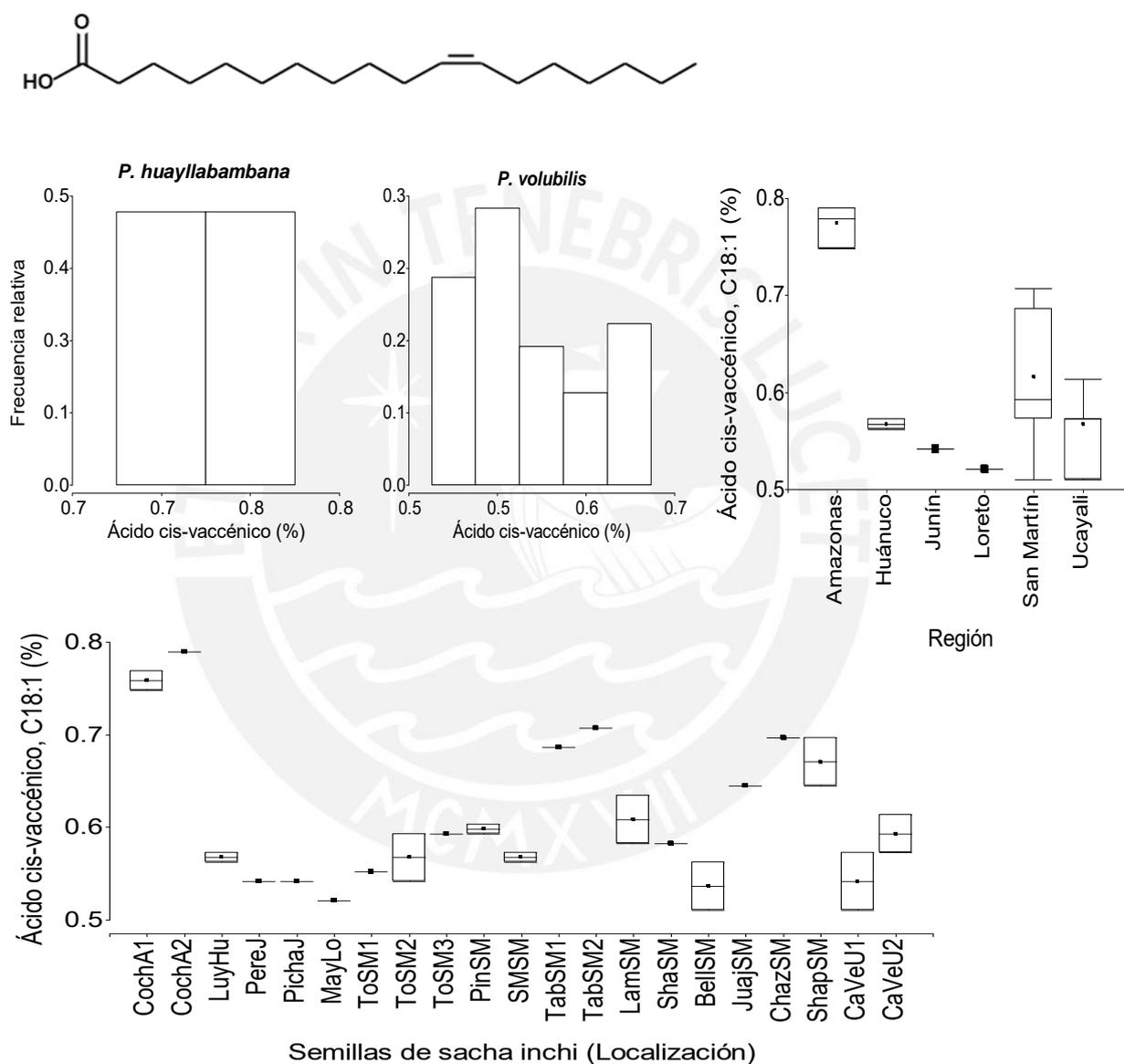


Figura 42. Estructura química, distribución del ácido *cis*-vaccénico (%) y diagramas de caja del ácido graso según las regiones estudiadas y localizaciones de colecta en aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

P. huayllabambana de la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). Las evaluaciones fueron realizadas por duplicado.

Comparando los contenidos en ambas especies, el ácido graso fue superior para *P. huayllabambana* de la región Amazona. El diagrama de cajas en la especie *P. volubilis*, revela que los aceites crudos de la región San Martín presentan la mayor dispersión de su contenido, ver Figura 42. El ácido *cis*-vaccénico en los aceites crudos de los dos fundos de la región Amazonas en *P. huayllabambana* no presentaron diferencias significativas (0,73 y 0,76 %). Al respecto, Chasquibol *et al.* (2014), en la investigación de 14 ecotipos de *P. huayllabambana* de la región Amazonas en dos cosechas, encontraron, respectivamente, 0,9 – 1,0 % y 0,8 – 1,1 % para la primera y segunda campaña, superiores a los reportados en la presente investigación.

En relación a la especie *P. volubilis*, los contenidos más altos se encontraron en los aceites crudos del fundo 2 de Tabalosos (0,68 %, TabSM2) y Chazuta (0,67 %, ChazSM), ambos de la región San Martín. El contenido más bajo del ácido graso se encontró en el aceite del fundo de Maynas de la región Loreto (0,50 %, MayLo), ver Figura 42. Rodríguez *et al.* (2021), en la investigación de cambios en la estabilidad de tocóferoles, ácidos grasos y capacidad antioxidante en *P. volubilis*, no reportaron contenidos del ácido graso en su investigación. Por su parte Chirinos *et al.* (2015), en la investigación comparativa de las características fisicoquímicas y fitoquímicas de las dos especies de *Plukenetia* (*P. huayllabambana* y *P. volubilis*) no reportaron contenidos del ácido *cis*-vaccénico en los aceites de ambas especies. Por su parte Ramos Escudero (2014) reportó el contenido de ácido oleico como la suma de $\omega_9 + \omega_7$ y cuyos contenidos se encontraron entre 9,61 % para IP-003 y 23,98 % para IP-001, en los 27 aceites de *P. volubilis* investigados. Otros estudios relacionados con el ácido *cis*-vaccénico indican su presencia en contenidos no apreciables en las semillas de *P. volubilis* como valores entre 0,23 y 0,29 g/100 g semilla, para los aceites de 16 accesiones de sachá del INIA Perú (Chirinos *et al.*, 2013; Zuloeta Arias, 2014); y similares a los encontrados en la presente investigación (0,58 %; Gorriti *et al.*, 2010). Con respecto a otras especies, Fatima *et al.* (2012) encontraron el ácido graso en bayas de *Hippophae rhamnoides* L. en contenidos similares al isómero ácido oleico, durante el estudio transcriptómico de semillas maduras.

Las diferencias de expresión del ácido vaccénico entre *P. huayllabambana* y *P. volubilis* se deben a la constitución genética de las especies, las condiciones medioambientales de los lugares de producción y las interacciones genotipo x ambiente (ver Figura 42). Popova *et al.* (2021), en referencia al ácido graso, en la investigación del impacto de las condiciones hídricas en los años 2016 – 2018 sobre la composición bioquímica del aceite de oliva, encontraron diferentes contenidos del ácido *cis*-vaccénico en veinte cultivares de olivo en la provincia de Tomsk de la Federación Rusa. El análisis de varianza mostró que los contenidos del ácido *cis*-vaccénico fueron significativamente controlados por las condiciones hídricas, los efectos de la variación al azar, que incluyen las interacciones genotipo x ambiente, fueron altamente elevados en los experimentos (53 %).

3.3.5 Ácido linoleico, C18:2

Ácido graso insaturado que presenta un rol fisiológico importante en el mantenimiento del tejido epitelial en el ser humano. A nivel bioquímico es el precursor del ácido araquidónico, que produce principalmente metabolitos activos llamados eicosanoides. Estos eicosanoides regulan procesos fisiológicos estructurales y la biosíntesis de prostaglandinas (tromboxano A₂, prostaciclina I₂, entre otros), leucotrienos (leucotrieno B₄, entre otros) y anandamida.

Ácido graso esencial de la serie omega 6 (ω -6, ácido (9Z, 12Z)-9,12-octadecadienóico, C₁₈H₃₂O₂) cuyos contenidos presentaron distribución simétrica para *P. huayllabambana* y asimétrica para *P. volubilis*. En la presente investigación, el ácido linoleico presentó cantidades significativas entre los 28,50 y 41,21 % en los aceites crudos estudiados de las diferentes regiones. El análisis de ácido linoleico en *P. huayllabambana* y *P. volubilis* reveló contenidos inferiores para *P. huayllabambana* de la región Amazonas. En el caso de *P. volubilis* se observó una mayor variabilidad del ácido graso en los aceites crudos de la región San Martín y mayor contenido con respecto a las regiones Ucayali, Loreto, Junín y Huánuco (ver Figura 43).

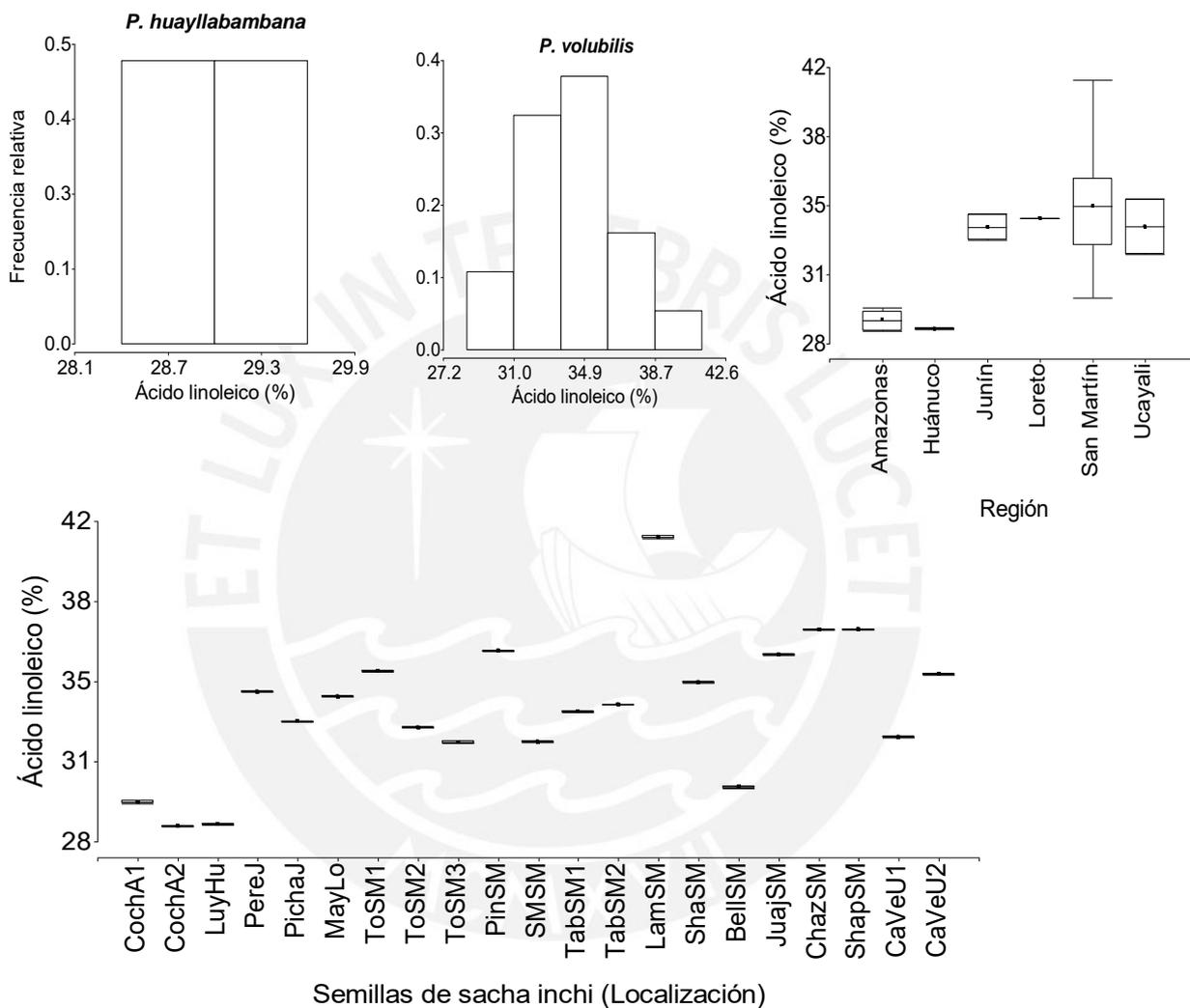
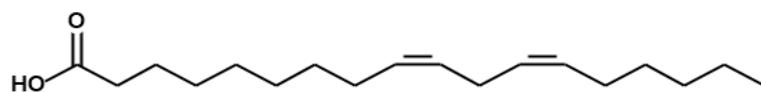


Figura 43. Estructura química, distribución del ácido linoleico (%) y diagramas de caja del ácido graso según las regiones estudiadas y localizaciones de colecta en aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

P. huayllabambana de la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). Las evaluaciones fueron realizadas por duplicado.

Chirinos *et al.* (2015), en el estudio de las características fisicoquímicas y fitoquímicas de *P. volubilis* y *P. huayllambana*, reportaron contenidos promedio de 26,67 % para *P. huayllabambana*, inferiores al encontrado en la presente investigación y 32,66 % para *P. volubilis*. Por su parte Ruiz *et al.* (2013), en el estudio de las semillas AI-RM-05 de *P. huayllabambana*, reportaron contenidos de 29,3 % de ácido linoleico para las semillas y 28,4 % para su torta, similares a los encontrados en la presente investigación. Al respecto, Muñoz Jauregui *et al.* (2013), en el estudio de las semillas 01-A y 02-A de *P. huayllabambana*, reportaron contenidos promedio de 28,47 % y 28,09 %, respectivamente, similares a los encontrados en la presente investigación para la especie. Según los resultados reportados por los investigadores y los encontrados en la esta investigación, todos superaron los 24 % de ácido linoleico presentado como valor mínimo por la NTP.

En referencia a la especie *P. volubilis*, el ácido linoleico en los aceites crudos de las diferentes regiones colectadas se encontró entre 28,50 y 41,21 %, las semillas de Lamas (41,21 %, LamSM), Shapaja (37,14 %, ShapSM) y Chazuta (37,13 %, ChazSM) de la región San Martín presentaron los mayores contenidos, mientras que las semillas de Bellavista (30,15 %, BellSM) de San Martín y Luyando (28,50 %, LuyHu) de Huánuco presentaron los valores más bajos del ácido graso (ver Figura 43). Rodríguez *et al.* (2021), en el estudio de estabilidad, tofocoferoles, ácidos grasos y capacidad antioxidante del aceite de *P. volubilis*, reportaron valores de 33,4 % de ácido linolénico. Ayala Martínez (2016), en el estudio de los ecotipos INCA-I, CATIO-2 y NUKAK-3, reportó, respectivamente, contenidos de 33,19 %, 33,84 % y 33,56 %, para los aceites crudos. En el caso de los aceites obtenidos por solvente, los contenidos fueron, respectivamente, 36,55 %, 35,76 % y 36,72 % para los ecotipos estudiados, valores que fueron similares a los encontrados en la presente investigación. Por su parte Chirinos *et al.* (2013) y Zuloeta Arias (2014), en otro estudio con catorce (14) ecotipos de sachá inchi de *P. volubilis* de la EEA El Porvenir del INIA San Martín, reportaron contenidos de ácido linoleico entre 12,4 y 14,1 g/100 g semilla, que correspondieron a las accesiones PER000420, y PER000403, PER017597, respectivamente. Ramos Escudero (2014), en el estudio de veintisiete (27) aceites de *P. volubilis* de diferentes regiones de la amazonia peruana, reportó valores de ácido linoleico entre 21,26 y 53,59 %, que fueron superiores a los

encontrados en la presente investigación. Gorriti *et al.* (2010), en la investigación de ácidos grasos, encontraron el valor de 36,19 %, Follegatti-Romero *et al.* (2009), en otra investigación con *P. volubilis*, reportaron el valor de 34,08 % y Hamaker *et al.* (1992) reportaron contenidos de 36,80 %. Todos estos investigadores reportaron valores similares de ácido linoleico a los encontrados en esta investigación para *P. volubilis*.

Las diferencias de expresión del ácido linoleico entre *P. huayllabambana* y *P. volubilis* se deben a la constitución genética de las especies, las condiciones medioambientales de los lugares de producción y las interacciones genotipo x ambiente (ver Figura 43). Popova *et al.* (2021), en su estudio del impacto de las condiciones hídricas entre los años 2016 y el 2018 en la provincia de Tomsk (Rusia) sobre la composición del ácido graso en diferentes genotipos de linaza, observaron composiciones sobresalientes para los genotipos *cv. Amon* (63 %) y la accesión *i-620805* (58 %). El valor más bajo se observó en la *cv. Kinelsky 2000*, con 12 %. El anova del ácido graso mostró dependencias significativas para el genotipo, alcanzando efectos del 93,42 %, siendo superior al alcanzado en la presente investigación donde la variabilidad fue de 9,06 % para *P. huayllabambana* y *P. volubilis* (ver Tabla 16). En relación a las variabilidades entre las especies, en *P. huayllabambana* se encontró alrededor de 2,15 % mientras que para *P. volubilis* fue de 8,06 %. A nivel regional se observó la mayor variabilidad en la región San Martín (8,05 %, ver Figura 43). Otro estudio relacionado con el efecto de la genética y las condiciones medioambientales para la expresión de ácidos grasos se realizó por Brock, Scott, Lee, Mosyakin, y Olsen (2020), donde los investigadores concluyen que la genética, condiciones medioambientales y las interacciones genotipo x ambiente contribuyen a la variación de ácidos grasos en especies de *Camelina* (*C. hispida*, *C. laxa*, *C. microcarpa*, *C. rumelica*), estos hallazgos confirman lo encontrado en la presente investigación con las especies *P. huayllabambana* y *P. volubilis* para el ácido linoleico.

Con respecto a otras oleaginosas, Cuppett (2001), en el reporte sobre las cualidades de aceites menciona contenidos parecidos para el maíz (39 %), superiores para el algodón (50 %); inferiores para la linaza (5 – 23 %), el aceite de oliva (4 – 15 %), palma (6-12 %), maní (13 – 33,5 %) y colza (9,25 – 22 %); y superiores para el sésamo (35 – 48 %), la soya (49 – 51,5 %) y el girasol (44 – 68 %).

3.3.6 Ácido linolénico, C18:3

Ácido graso esencial de dieciocho (18) átomos de carbono de la serie omega-3 ($C_{18}H_{30}O_2$, ácido (9Z, 12Z, 15Z)-octadeca-9,12,15-trienoico), $18:3\Delta^{9,12,15}$, $18:3\omega-3$, $18:3n-3$, ALA, cuyo consumo debe incorporarse dentro de la dieta para el desarrollo y función del cerebro, así como otros órganos en el ser humano, presenta actividad neuroprotectora, antiinflamatoria y antidepresiva (Blondeau *et al.*, 2015). El análisis del ácido graso en los aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* reveló contenidos significativos en las semillas de sacha inchi estudiados en la presente investigación. La distribución fue simétrica para los contenidos de ácido α -linolénico en *P. huayllabambana* y asimétrica en los aceites crudos de *P. volubilis*, revelando la diversidad del ácido graso en las muestras estudiadas (ver Figura 44).

La evaluación del ácido graso en los aceites crudos de *P. huayllabambana* de la localidad de Cochamal muestra contenidos de 52,11 % para el fundo 1 (CochA1) y 54,55 % para el fundo 2 (CochA2) de la región Amazonas, cuyos contenidos fueron significativamente diferentes entre sí, y superiores que *P. volubilis*. Al respecto, Chirinos *et al.* (2015), en la investigación sobre las características fisicoquímicas y fitoquímicas del sacha inchi, reportaron contenidos de ácido α -linolénico de 51,34 % para *P. huayllabambana*, que fueron inferiores a los encontrados en la presente investigación. Por su parte Chasquibol *et al.* (2014), en el estudio de catorce (14) ecotipos de *P. huayllabambana* de la región Amazonas, reportaron contenidos entre 55,5 y 60,40 % de ácido α -linolénico para la primera cosecha y contenidos entre 55,9 – 60,4 % para la segunda cosecha, superiores a los encontrados en esta investigación. Entre las localidades de procedencia del material genético se encontraron: Rodríguez de Mendoza (M1), Nueva Esperanza (M2), Shucshu (M3, Distrito de Longar), Shucshu (M4, Distrito de Longar), Parcela la Loma (M5, Distrito de Longar), Parcela la Banda (M6, Distrito Santa R.), Challayacu (M7), Nueva Luz (M8), Nueva Esperanza (M9), Nueva Esperanza (M10), Chontapampa (M11), Cochamal (M12), Plan Grande (M13) y Las Palmeras (M14). Muñoz Jáuregui *et al.* (2013), en la investigación del ácido α -linolénico de los ecotipos 01-A y 02-A de *P. huayllabambana* de la provincia Rodríguez de Mendoza de la región Amazonas, reportaron contenidos de 52,67 % para 01-A y 54,00 % para el ecotipo 02-A, con valores similares a los encontrados en la presente investigación. Ruiz *et al.* (2013),

en otra investigación referida a la investigación nutricional, antinutrientes y ácidos grasos en *P. volubilis* y *P. huayllabambana*, determinaron contenidos de 53,95 % para las semillas y 54,6 % para la torta, del ecotipo AI-RM-05 de *P. huayllabambana* de la provincia de Rodríguez de Mendoza de la región Amazonas, cuyos valores estuvieron dentro de los encontrados en esta investigación. En el caso de la NTP para los contenidos mínimos del ácido α -linolénico en *P. huayllabambana* el documento indica 55 %, que fueron superiores a los encontrados en la presente investigación y los reportados por otros investigadores que evaluaron el aceite en la especie (INDECOPI, 2010).

Las semillas de *P. volubilis* estudiadas dentro de esta investigación, presentaron contenidos de ácido α -linolénico entre los 39,97 y 53,84 %. Las semillas de las regiones Huánuco, Junín y San Martín presentaron los contenidos más altos de ácido α -linolénico con respecto a las regiones de Ucayali y Loreto. Los aceites crudos de las localidades de Bellavista de San Martín (53,84 %, BellSM), Luyando de Huánuco (52,10 %, LuyHu), Pichanaki de Junín (51,52 %, PichaJ) y del Perené de Junín (51,48 %, PereJ) presentaron los contenidos significativamente más elevados de ácido α -linolénico en los aceites crudos. Sin embargo, los aceites crudos de la localidad de Lamas de la región San Martín presentaron el valor promedio más bajo de ácido α -linolénico (39,97 %, LamSM). Resultados que muestran la diversidad del contenido del ácido graso en las semillas de sachá inchi en una misma región (ver Figura 44).

Rodríguez *et al.* (2021), en la investigación relacionada con la estabilidad, ácidos grasos, tocoferoles y capacidad antioxidante, de *P. volubilis* reportaron contenidos de $53,8 \pm 0,3$ % de ácido α -linolénico, similares a los encontrados en esta investigación. Otros estudios relacionados con la caracterización del ácido graso en la misma especie reportaron contenidos similares a los encontrados en esta investigación. Ayala Martínez (2016), en su investigación en Colombia con los ecotipos INCA-1, CATIO-2, NUKAK-3 utilizando prensado en frío y solventes para la extracción de los aceites, presenta valores del ácido α -linolénico de 47,13 % (INCA-1), 46,78 % (CATIO-2) y 46,98 % (NUKAK-3) para los aceites crudos, mientras que para los aceites extraídos con solvente los contenidos fueron de 43,27 % (INCA-1), 42,13 % (CATIO-2) y 41,68 % (NUKAK-3).

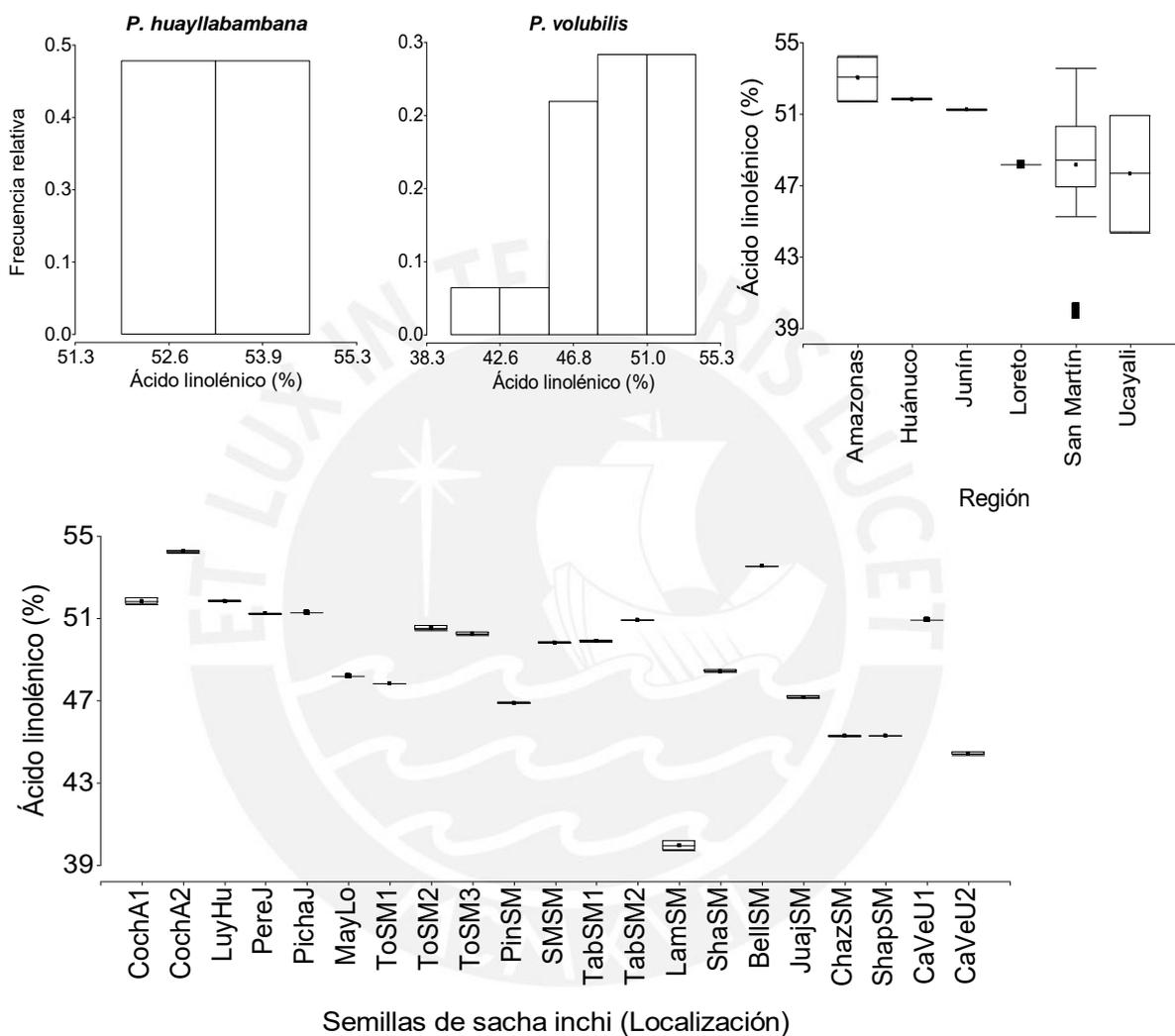
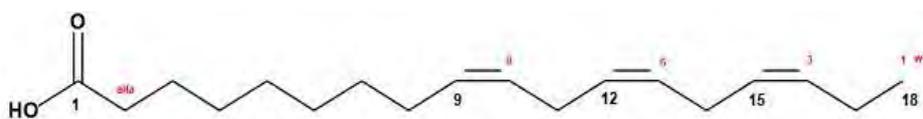


Figura 44. Estructura química, distribución del ácido α -linolénico (%) y diagramas de caja del ácido graso según las regiones estudiadas y localizaciones de colecta en aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

P. huayllabambana de la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). Las evaluaciones fueron realizadas por duplicado.

Chirinos *et al.* (2015), por su parte, en su investigación con una muestra de *P. volubilis* colectada en la localidad de Lamas de la región San Martín, reportan el valor promedio de $45,62 \pm 0,29$ %. Otros autores, en el estudio de dieciséis (16) accesiones del INIA Perú cosechados en la región San Martín, PER000394, PER000395A, PER000401, PER000403, PER000405, PER000406A, PER000406B, PER000408B, PER000416, PER000417, PER000418, PER000420, PER000421, PER000422, PER017597, PER017598, reportaron contenidos de ácido linolénico entre 12,8 g/100 g semilla, correspondiente a PER000403 y los 16,0 g/100 g de semilla de sacha inchi para PER000401, inferiores a los encontrados en esta investigación (Zuloeta Arias, 2014; Chirinos *et al.*, 2013). Otro estudio realizado por Ramos Escudero (2014), en la caracterización de 27 aceites comerciales de *P. volubilis* de diferentes regiones en nuestro país, reporta contenidos diversos de ácido α -linolénico entre 10,06 % para el aceite IP-006 que no se ajusta a los contenidos de la especie y 55,10 % para el aceite IP-020. Por su parte Gorriti *et al.* (2010), en el estudio de la toxicidad del aceite crudo de sacha inchi en comparación con el aceite de linaza, reportaron contenidos de 47,06 % para el ácido α -linolénico similares a los encontrados en la presente investigación. Follegatti-Romero *et al.* (2009), en otra investigación con *P. volubilis* encontraron el valor de 50,41 %, y Hamaker *et al.* (1992) reportaron el valor de 45,20 %, cuyos resultados se encontraron dentro de los valores encontrados en esta investigación para *P. volubilis*. De acuerdo al documento de la NTP el contenido mínimo de ácido α -linolénico en *P. volubilis* es de 44,70 % (INDECOPI, 2010), cuyo valor es superior para ciertos aceites crudos evaluados en la presente investigación y por otros investigadores que se muestran en la Tabla 1.

Las similitudes y diferencias de la expresión del ácido α -linolénico entre *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, de la Figura 44, se deben:

- i) Constitución genética de las especies, al respecto, el estudio transcriptómico de las semillas de *P. volubilis* de la región San Martín en el Centro Experimental del Sur de China en Zhanjiang en cinco estados de desarrollo fenológico de las semillas (Liu *et al.*, 2020) revela la identificación de enzimas involucradas en la síntesis del ácido α -linolénico y de triacilglicerolos. El estudio valida 12 unigenes codificados como enzimas clave para la acumulación de ácidos grasos en las semillas, según técnicas de reacción en cadena de la polimerasa en tiempo real (qRT-PCR).

- ii) Condiciones medioambientales de los lugares de producción de las semillas, representa otro factor importante en la expresión del ácido graso. La Figura 44 muestra diferencias significativas de la expresión del ácido graso para la misma especie, en una misma localidad, como es el caso de *P. huayllabambana* en el distrito de Cochamal en Amazonas y, para *P. volubilis*, la localidad de Campo Verde en Ucayali. Diferencias, las cuales también se observan dentro de la misma región, como se observa en San Martín y, su expresión diferencial con las condiciones medioambientales de las diferentes regiones (Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali).
- iii) Interacciones genotipo x ambiente donde se precisan mayores estudios. En comparación con otros estudios de oleaginosas, Popova *et al.* (2021), en su estudio de las condiciones hídricas sobre la composición de ácidos grasos, encontraron diferentes expresiones para el ácido α -linolénico en diferentes genotipos cultivados en la Provincia de Tomsk (Rusia). Los investigadores mencionan que las peculiaridades de la complejidad ambiental juegan un rol importante en la síntesis de ácidos grasos en las semillas de linaza. Donde, los resultados del anova mostraron dependencias significativas para el genotipo (92,56 %), los cuales explican los diferentes valores encontrados en las semillas.

En la presente investigación se alcanzó una variabilidad total del ácido graso del 6,91 % para *P. volubilis* y *P. huayllabambana*, inferior a los encontrados en las semillas de linaza (Popova *et al.*, 2021). A nivel de especie, la variabilidad fue superior para *P. volubilis* (6,69 %) en comparación con *P. huayllabambana* (2,65 %). En relación a las regiones estudiadas, se observó variabilidades superiores en la región Ucayali (8,02 %) y la región San Martín (7,04 %). El estudio de Brock *et al.* (2020), sobre la composición del aceite de semillas de *Camelina*, con las especies *C. hispida*, *C. laxa*, *C. microcarpa*, *C. rumelica* y *C. sativa* revelaron contenidos sobresalientes del ácido α -linolénico, así como, la distinción de los ácidos grasos estudiados, entre los grupos que presentan diferencias genéticas en la especie *Camelina*. El estudio apoya los resultados del presente estudio, donde las condiciones medioambientales y las genéticas determinan los fenotipos y las poblaciones responden a las diferentes condiciones ambientales a través de las interacciones genotipo x ambiente.

El ácido α -linolénico es un ácido graso esencial para el ser humano. Se encuentra en diferentes fuentes vegetales, pero los aceites crudos del sacha inchi constituyen fuentes excepcionales para el ácido graso, comparado con los contenidos de otras fuentes, ver Tabla 14.

Tabla 14. Ácido α -linolénico en diferentes aceites de fuentes vegetales.

| Nombre común del aceite | Nombre científico | g/100 g aceite | Referencia |
|-------------------------|----------------------------------|----------------|------------------------------------|
| Aceite de linaza | <i>Linum usitatissimum</i> | 54,1 – 58,3 | Guillén <i>et al.</i> (2003) |
| Aceite de perilla | <i>Perilla frutescens</i> | 52,58 – 61,98 | Ding <i>et al.</i> (2012) |
| Aceite de chia | <i>Salvia hispanica</i> | 59,84 | Ghafoor <i>et al.</i> (2020) |
| Aceite de camelina | <i>Camelina sativa</i> | 38,15 – 38,37 | Sáez-Bastante <i>et al.</i> (2015) |
| Aceite de nuez | <i>Juglans regia</i> | 9,1 – 13,6 | Rabrenovic <i>et al.</i> (2011) |
| Aceite de colza | <i>Brassica napus</i> | 9,2 | Kodahl (2020) |
| Aceite de soya | <i>Glycine max</i> | 3,43 – 12,76 | Abdelghany <i>et al.</i> (2020) |
| Aceite de grosella | <i>Ribes nigrum</i> | 11,9 – 15 | Kochhar (2011) |
| Aceite de cártamo | <i>Carthamus tinctorius</i> | 2,0 | Kochhar (2011) |
| Aceite de Argán | <i>Argania spinosa</i> | 1,4 | Kochhar (2011) |
| Aceite de sacha inchi | <i>Plukenetia huayllabambana</i> | 52,11 – 54,55 | Presente Investigación |
| | <i>Plukenetia volubilis</i> | 39,97 – 53,84 | Presente Investigación |

Gibson *et al.* (2013), en su investigación sobre la síntesis de ácido docosahexanoico desde α -linolénico en animales de experimentación, ratas, con diferentes niveles de grasa en las dietas, llegaron a la conclusión de que es posible mejorar la conversión de DHA en los animales con dietas que sólo contengan ácido α -linolénico como la única fuente de omega-3. La ruta biosintética del ácido graso hacia EPA y DHA se presenta en la Figura 45.

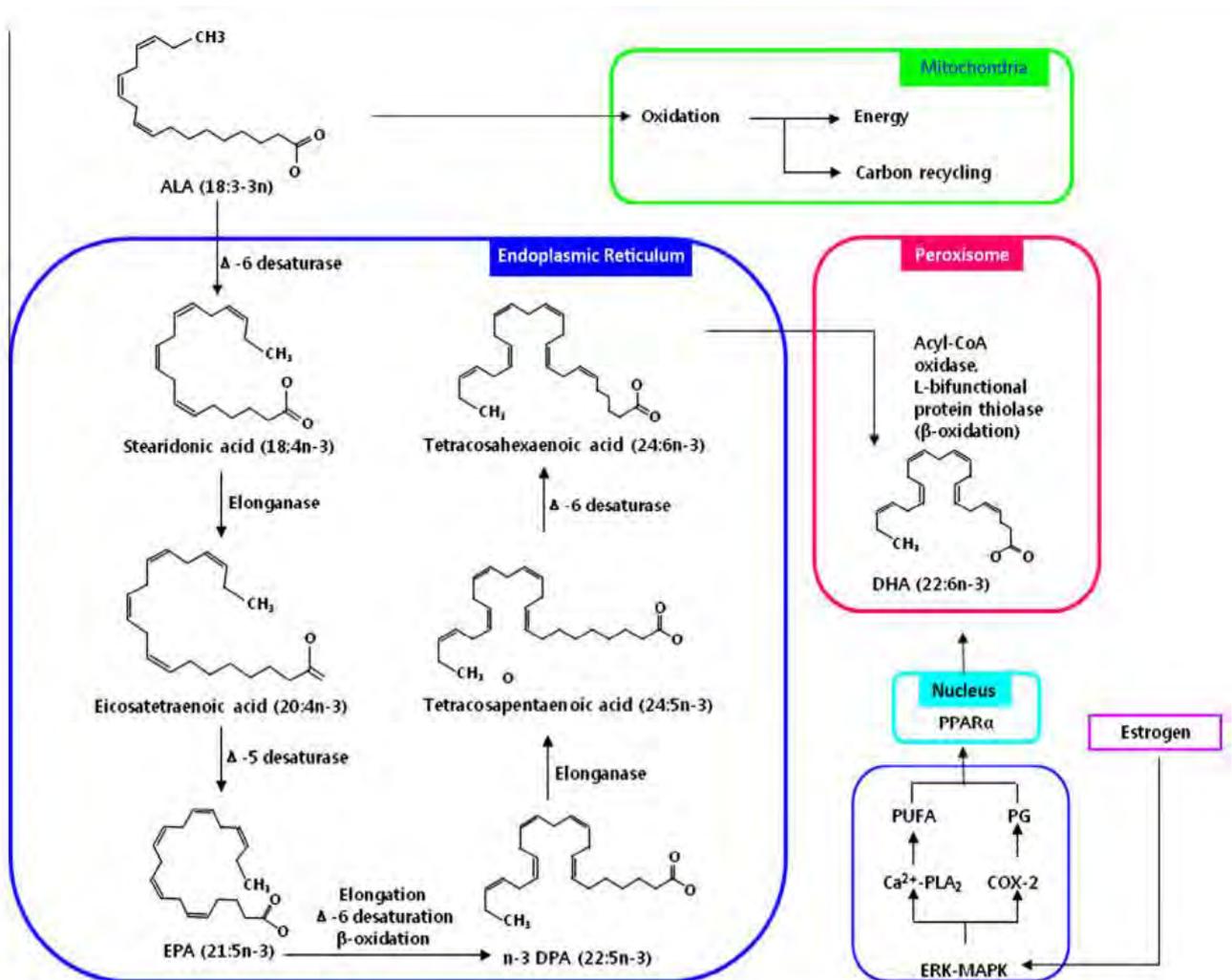


Figura 45. Ruta bioquímica de conversión de ALA hacia EPA y DHA.

Abreviación: ALA, ácido α -linolénico; EPA, ácido eicosapentaenoico; DPA, ácido docosapentaenoico; DHA, ácido docosahexaenoico; ERK-MAPK, receptor extracelular quinasa-proteínas quinasa activadas por mitógeno; PPAR α , receptor activado por proliferador de peroxisomas α .

Fuente: Kim *et al.* (2014).

Nguemni *et al.* (2013), en la revisión sobre el ácido α -linolénico como un nutraceutico promisorio para la prevención de accidentes cerebrovasculares, mencionan la importancia de la suplementación del ácido α -linolénico en la dieta, sus efectos beneficiosos en salud, el rol importante que juega el ácido α -linolénico en la unidad neurovascular, así como en modelos experimentales relacionados con accidente cerebrovascular isquémico focal, su suplementación y neurogenesis, y la prevención

contra los accidentes cerebrovasculares. Los investigadores mencionan que el límite máximo de ácido omega-3 aceptado en Estados Unidos es de 3 g/día en complementos nutricionales, siendo las recomendaciones más comunes para el ácido α -linolénico de 1 g/día, 250 mg/día para EPA y 250 mg/día para DHA en condiciones normales, mientras que en pacientes con riesgo cardiovascular se recomiendan 1 g/día de ácido α -linolénico y 0,75-1 g/día de EPA+DHA.

Kim *et al.* (2014), en la revisión del ALA como nutracéutico, propiedades farmacológicas y toxicología, presentan su metabolismo, farmacocinética, efectos nutracéuticos, efectos farmacológicos, efectos toxicológicos, estudios en humanos y su estado de regulación en diferentes países. Concluyen que el ácido α -linolénico puede ser beneficioso como nutracéutico con propiedades farmacológicas y seguro para su consumo. Diversas investigaciones presentan estudios asociados a efectos cardiovasculares protectores, efectos neuroprotectores, efectos antiinflamatorios y antioxidantes, y prevención de cáncer, entre otros. Entre las fuentes utilizadas por Kim *et al.* (2014) en su revisión consideran al aceite de linaza y otras fuentes importantes de ácido α -linolénico.

Además de los estudios presentados por Kim *et al.* (2014), otros investigadores evaluaron la toxicidad, como Bushita *et al.* (2018), que estudiaron la toxicidad a dosis repetida por 90 días del consumo de diacilgliceroles de ALA en ratas. Los animales fueron alimentados con ALA-DAG (ALA-diacilglicerol) con dietas de 1,375 %, 2,75 % y 5,5 %, que se compararon con aceite de colza o aceite de linaza (ALA-triacilgliceroles). Los resultados no mostraron efectos toxicológicos significativos después de los análisis del cuerpo de los animales, peso, consumo de alimento, ojos, orina, sangre, peso de órganos, necropsia e histopatología de tejidos.

Con respecto al aceite de sachá inchi, que presenta cantidades significativas de ALA, ver Tabla 14, en la actualidad los estudios preclínicos son limitados. Entre estos encuentran la toxicidad a dosis repetida en 60 días del aceite sachá inchi comparado al aceite de linaza (Gorriti *et al.*, 2010). Recomendaciones del uso terapéutico y nutricional de aceite de sachá inchi descritos por Hanssen y Schmitz-Hübsch (2011). Aplicaciones como

adherente en explantes sobre la piel humana y queratinocitos en ensayos *in vitro* son descritos por Gonzalez-Aspajo *et al.* (2015). Seguro para su consumo con evaluaciones de su toxicidad aguda y efecto antiinflamatorio de *P. volubilis* y *P. huayllambana* (Dávila Paico, 2015). Precursor de EPA y DHA con incrementos significativos de los niveles hepáticos de los ácidos grasos n-3 poliinsaturados en animales (Rincón-Cervera *et al.*, 2016). Aplicaciones en farmacia y cosmética con la evaluación de emulsiones del aceite para su uso cosmético y farmacéutico (Saengsorn y Jimtaisong, 2017). Seguro según ensayos de genotoxicidad, a través del ensayo de morfología de cabeza de espermatozoide en ratas albino (Aranda-Ventura *et al.*, 2019). Antioxidante y antiinflamatorio según resultados de evaluaciones de estrés oxidativo, óxido nítrico e inflamación en ratas obesas con el aceite de *P. huayllabambana* (Ambulay *et al.*, 2020, 2021), (ver Tabla 3).

Los estudios en humanos con el aceite de sacha inchi son escasos. Entre estos se encuentra el estudio asociado a trigliceridemia posprandial en 12 individuos (Huamán *et al.*, 2008). El estudio realizado por Garmendia *et al.* (2011) en 24 pacientes de 35 a 75 años con hiperlipoproteinemia, donde se observaron efectos positivos. Finalmente, el estudio de Gonzales y Gonzales (2014) para la aceptabilidad, seguridad y eficacia del aceite de sacha inchi en ensayo aleatorizado, doble ciego controlado por placebo sobre la aceptabilidad de administración de 10 o 15 mL en 30 sujetos adultos durante 4 meses. Cuyos resultados presentaron disminuciones significativas de colesterol total y LDL en los sujetos evaluados (ver Tabla 3).

3.3.7 Ácido eicosenoico, C20:1

Ácido graso monoinsaturado que presenta bajos contenidos en las especies *P. volubilis* y *P. huayllabambana*. La distribución del ácido fue asimétrica para ambas especies (ver Figura 46). En relación a su contenido dentro de las especies estudiadas, su contenido fue superior para *P. volubilis* en comparación a *P. huayllabambana*. A nivel de regiones, los valores encontrados en los aceites crudos de la región Pucallpa fueron superiores a las otras regiones estudiadas, ver diagramas de caja de la Figura 46.

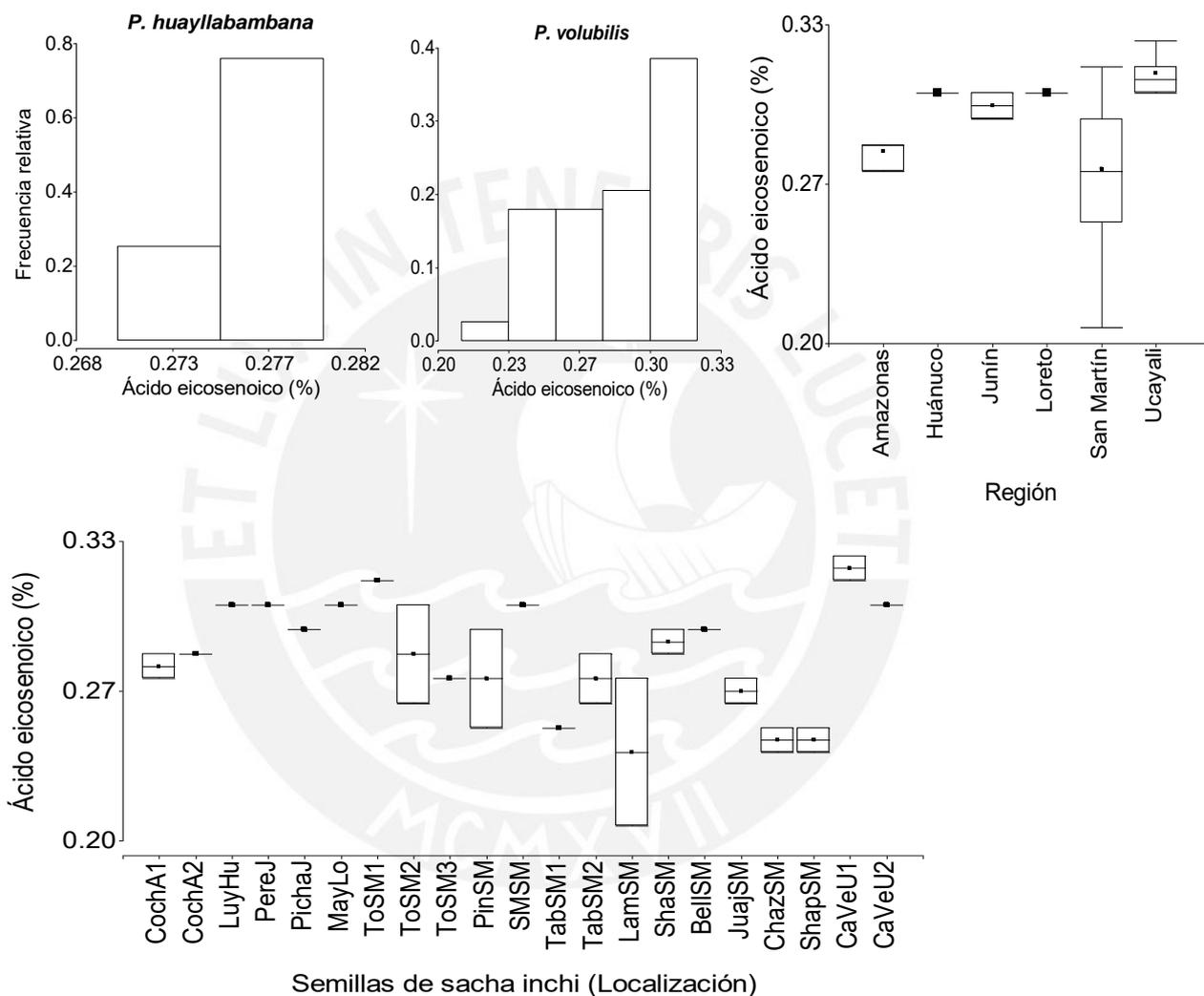
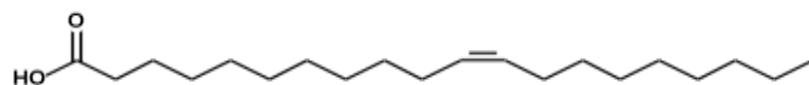


Figura 46. Estructura química, distribución del ácido eicosenoico (%) y diagramas de caja del ácido eicosenoico según las regiones estudiadas y localizaciones de colecta de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

P. huayllabambana de la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). Las evaluaciones fueron realizadas por duplicado.

Para los aceites crudos de *P. huayllambana*, los valores promedio del ácido graso fueron cercanos a 0,28 % y no hubo diferencias estadísticas en los aceites crudos de los dos fundos de la localidad de Cochamal (CochA1 y CochA2) de la región Amazonas. Chasquibol *et al.* (2014), en la evaluación de 14 muestras de *P. huayllabambana* de la región Amazonas, encontraron el ácido graso saturado C20:0 con valores para la primera cosecha entre 0,20 – 0,30 %, y para la segunda cosecha de las semillas contenidos entre 0,21 – 0,44 %. Por su parte Muñoz Jáuregui *et al.* (2013), en la investigación con *P. huayllabambana* para el ácido graso C20:1, determinaron contenidos de 0,27 % para la muestra 01-A y 0,27 % para la muestra 02-A de Amazonas; y para C20:0 los valores fueron de 0,10 y 0,09 %, respectivamente.

En relación a *P. volubilis*, el ácido eicosenoico se encontró entre 0,24 y 0,32 %, presentando diferencias significativas. El aceite crudo del fundo 1 de Campoverde de la región Ucayali presentó el contenido más alto (0,32 %) con el aceite del fundo 1 de Tocache (0,31%) de la región San Martín. Los valores más bajos se encontraron en las muestras de los aceites de Chazuta (0,25%, ChazSM) y Lamas (0,24 %, LamSM) de la región San Martín. Estos contenidos representan la diversidad del ácido graso en las semillas de sachá inchi de la región San Martín (ver Figura 46). Bondioli *et al.* (2006), en una muestra de *P. volubilis*, reportaron contenidos de 0,26 %. Mientras que Gorriti *et al.* (2010), en el estudio toxicológico del aceite de sachá inchi, reportaron contenidos de 0,27 %. Hurtado Ordoñez (2013), en otro estudio, reportó contenidos de 0,23 % del ácido graso, C20:1. Las diferencias encontradas del contenido de aceite en las diferentes especies se deben a su constitución genética; por ejemplo la variabilidad encontrada en *P. huayllabambana* fue de 1,80 % para el ácido graso, mientras que en *P. volubilis* alcanzó los 8,99 %. Las condiciones medioambientales afectaron también la expresión del ácido graso cuya variabilidad fue superior para las regiones de San Martín (9,16 %) y Ucayali (3,11 %), (ver Figura 46).

Otros ácidos grasos reportados en *P. volubilis* incluyen al ácido mirístico (0,02 – 0,10 %, C14:0), ácido palmitoleico (0,07 – 0,63 %, C16:1 ω 9+ ω 7), ácido margárico (0,07 – 0,11 %, C17:0), ácido margaroleico (0,06 – 0,03 %, C17:1), ácido araquídico (0,02 – 0,31 %, C20:3, y ácido behémico (0,02 – 0,29 %), reportados en el estudio de 27 aceites comerciales realizado por Ramos Escudero (2014).

3.3.8 Ácidos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados en sachá inchi

La distribución de omega-3 (ácido α -linolénico), omega-6 (ácido linoleico), ácidos grasos monoinsaturados (M) y ácidos grasos saturados (S), de los 21 aceites crudos de sachá inchi se presenta en la Figura 47.

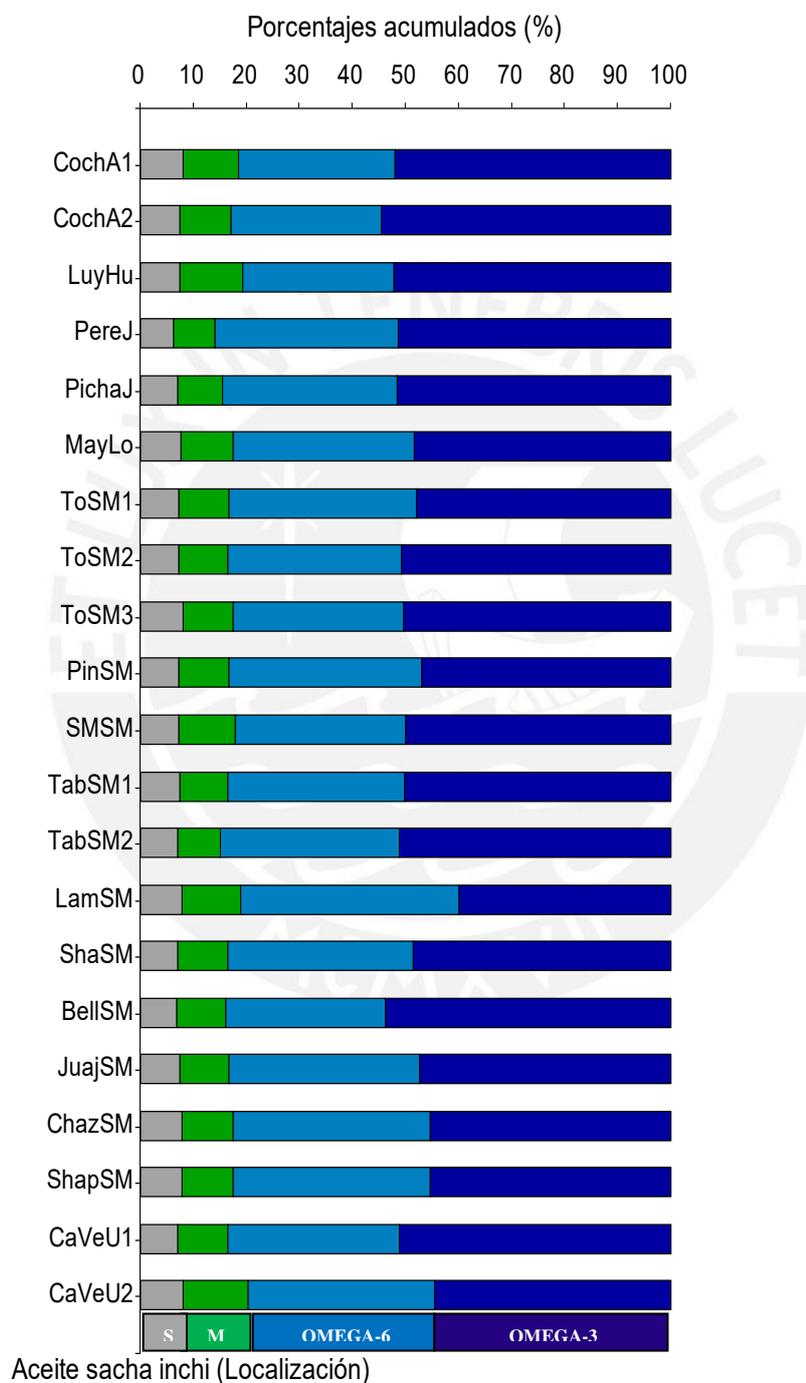


Figura 47. Distribución de omega-3 (ácido α -linolénico), omega-6 (ácido linoleico), ácidos grasos monoinsaturados (M) y ácidos grasos saturados (S), en los 21 aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

Ácidos grasos saturados

Los ácidos grasos saturados (ácido palmítico y ácido esteárico) en los aceites crudos de la especie *P. huayllabambana* mostraron contenidos superiores en las muestras del fundo 1 de Cochamal (7,83 %, CochA1), en comparación con el fundo 2 de Cochamal (7,14 %, CochA2) de la región Amazonas (ver Figuras 47 y 48). En relación a *P. volubilis*, los ácidos grasos saturados se encontraron entre 5,84 – 7,83 %, donde el aceite crudo del fundo 3 de Tocache de la región San Martín (7,83 %, ToSM3) presentó los contenidos más altos. Los contenidos más bajos de ácidos grasos saturados se encontraron en el aceite crudo de Perené (5,84 %, PereJ) de la región Junín (ver Figuras 47 y 48). Otros investigadores en aceite de sacha inchi encontraron valores similares en ácidos grasos saturados: 7,04 % (do Prado *et al.*, 2011), 6,91 % (Gorriti *et al.*, 2010), 6,74 % (Follegatti-Romero *et al.*, 2009), 7,70 % (Hamaker *et al.*, 1992), o ligeramente superiores (8,93 – 10,48 %) como los reportados en *P. volubilis* en Colombia (Ayala Martínez, 2016). Otras oleaginosas nativas de la amazonía peruana, como el ungurahui y aguaje, presentaron valores superiores para sus ácidos grasos saturados (SFAs). Con respecto a *P. volubilis*, por ejemplo, el ungurahui reporta contenidos de 15,54 y 14,67 % a 25 y 60 °C, mientras que el aguaje 17,00 y 20,48 % a los 25 y 60 °C (Quispe Jacobo *et al.*, 2009).

Ácidos grasos monoinsaturados

Los ácidos grasos monoinsaturados (MUFAs) son componentes importantes de numerosas oleaginosas. Para el caso de los 21 aceites crudos de sacha inchi, los MUFAs se encuentran constituidos por ácido oleico, ácido cis-vaccénico y ácido eicosenoico. Sus contenidos promedio estuvieron entre 8,26 y 12,60 % (ver Figuras 47 y 48). Los MUFAs en *P. huayllabambana* presentaron diferencias en los aceites crudos, y los contenidos fueron superiores para el fundo 1 de Cochamal (10,58 %, CochA1), en comparación con el aceite crudo del fundo 2 de Cochamal (9,91 %, CochA2). En relación a *P. volubilis*, los aceites crudos del fundo 2 de Campoverde (12,60 %, CaVeU2) de la región Ucayali y de Luyando en la región Huánuco (12,11 %, LuyHu) presentaron los contenidos más altos de MUFAs. Las muestras del fundo 2 de Tabalosos en la región San Martín (8,29 %, TabSM2) y del Perené en la región Junín (8,26 %, PereJ) presentaron los

contenidos más bajos de MUFAs, ver Figuras 47 y 48. Otros investigadores reportaron contenidos similares a los encontrados en la presente investigación: 10,71 % (do Prado *et al.*, 2011), 9,86 % (Gorriti *et al.*, 2010), 8,57 % (Follegatti-Romero *et al.*, 2009) y 9,60 % en el caso de Hamaker *et al.* (1992) en *P. volubilis* (ver Figuras 47 y 48). Con respecto a otras oleaginosas nativas como el unguahui y el aguaje, los contenidos promedio estuvieron alrededor del 80 %, siendo superiores al sachá inchi (Quispe Jacobo *et al.*, 2009).

Ácidos grasos poliinsaturados

Los ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs), constituidos por ácido linoleico (omega-6) y ácido α -linolénico (omega-3), se encuentran en cantidades significativas en los aceites crudos de sachá inchi. En la presente investigación los contenidos promedio de PUFAs para las dos especies estudiadas se encontraron entre los 79,67 y 85,86 % (ver Figuras 47 y 48). En la especie *P. huayllabambana* se observaron diferencias significativas en los dos fundos de Cochamal en Amazonas, siendo superior para los aceites crudos del fundo 2 de Cochamal (82,96 %, CochA2) con respecto al fundo 1 (81,59 %, CochA1), (ver Figura 48). En relación a *P. volubilis*, los PUFAs fueron superiores para los aceites crudos del Perené de la región Junín (85,86 %, PereJ), del fundo 2 de Tabalosos de la región San Martín (84,98 %, TabSM2) y de Pichanaki de la región Junín (84,58 %, PichaJ). Los contenidos promedio más bajos se encontraron en los aceites crudos de Luyando en la región Huánuco (80,60 %, LuyHu) y el fundo 2 de Campoverde de la región Ucayali (79,67 %, CaVeU2), (ver Figura 48). Otras investigaciones realizadas con aceite de sachá inchi señalan contenidos de PUFAs similares a los encontrados dentro de la investigación (do Prado *et al.*, 2011; Follegatti-Romero *et al.*, 2009; Gorriti *et al.*, 2010; Hamaker *et al.*, 1992). Los estudios de PUFAs en otras oleaginosas nativas de la Amazonía peruana, como el unguahui y el aguaje, señalan niveles bajos de PUFA dentro de su composición: 4 % en sus aceites crudos, que son menores en relación con el aceite de sachá inchi (Quispe Jacobo *et al.*, 2009).

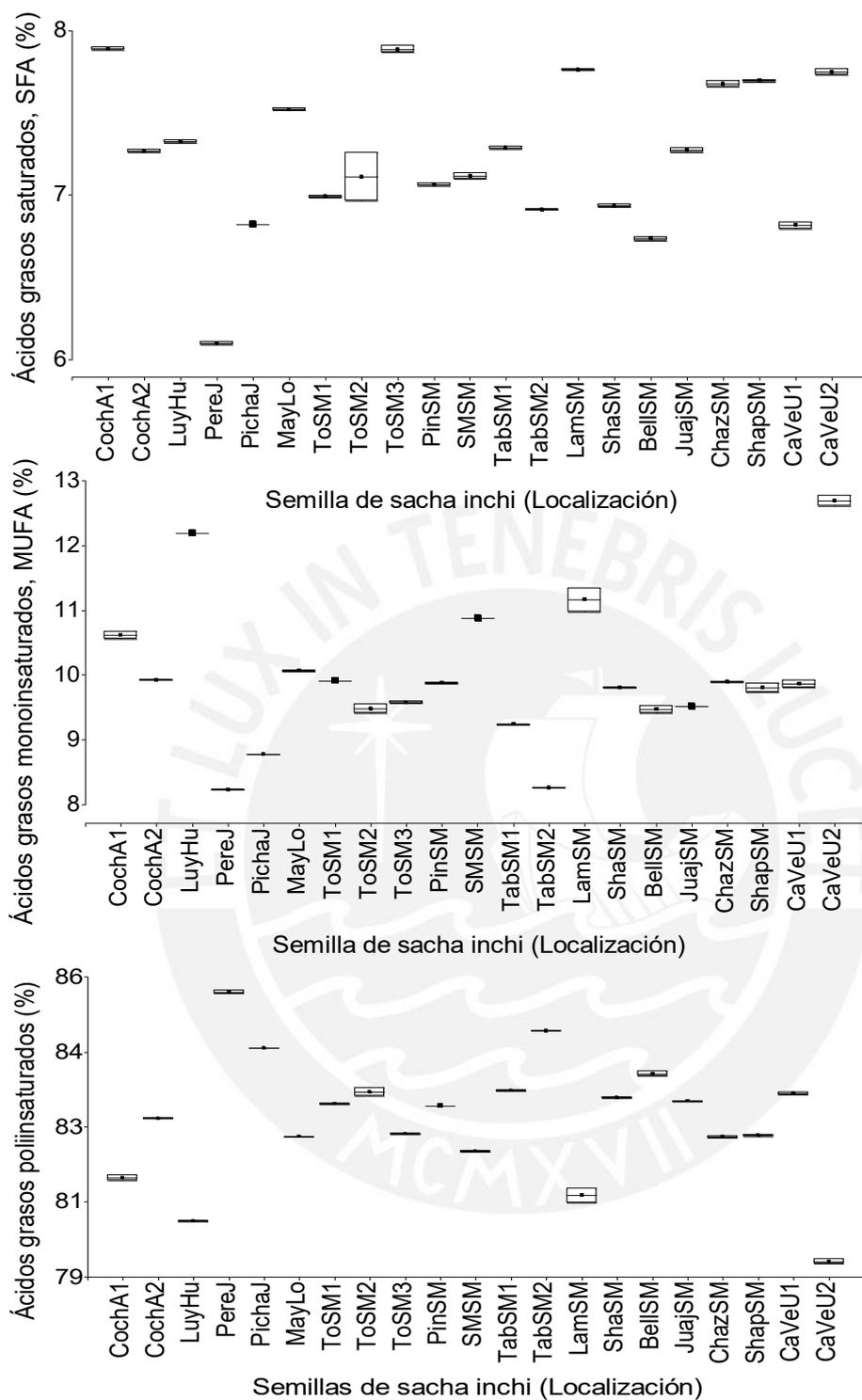


Figura 48. Diagramas de caja de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados de 21 aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* según localización de colecta.

P. huayllabambana de la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). Las evaluaciones fueron realizadas por duplicado.

La expresión de los SFAs, MUFAs y PUFAs en las especies *P. huayllabambana* y *P. volubilis* es diferente y varía según la localidad de colecta, ver Figuras 47 y 48. En ese sentido se precisan de estudios repetidos bajo condiciones controladas de temperatura, altitud, precipitación, radiación, suelo, entre otros factores, y que evalúen la expresión y los cambios que se produzcan a nivel de SFAs, MUFAs y PUFAs en las especies estudiadas. Brock *et al.* (2020), en el estudio de las interacciones genéticas y medio ambientales sobre la composición del aceite de especies de *Camelina*, encontraron según modelos experimentales, respuestas diferenciales para las síntesis de aceites y ácidos grasos entre los 12 °C y los 30 °C. Los resultados mostraron que la composición de los ácidos grasos varía significativamente para cada accesión estudiada entre los diferentes tratamientos. Los modelos experimentales revelaron que los PUFAs y los contenidos de grasa total disminuyen a temperaturas elevadas (30 °C), mientras que los contenidos de SFAs se incrementaron significativamente. Con respecto a los MUFAs, estos ácidos grasos se incrementaron ligeramente, pero de manera significativa con el incremento de la temperatura ($p=0,075$). Estos comportamientos según la temperatura explican de manera preliminar los valores de SFAs, MUFAs y PUFAs observados en los aceites crudos de las semillas del fundo 2 de la localidad de Campo Verde en la región Ucayali (CaVeU2) y de la localidad de Luyando en la región Huánuco (LuyHu), ver Figura 48. En Otro estudio realizado con 182 accesiones de *Jatropha curcas* de Asia (91), África (35), América del Sur (9) y América Central (47), para conocer la biodiversidad molecular y fenotípica, los investigadores concluyen que las accesiones estudiadas presentaron grandes variaciones genéticas, y las accesiones presentaron altas variaciones fenotípicas. A nivel de SFAs, MUFAs y PUFAs, se observaron diferencias significativas para accesiones de Asia, África, América del Sur y América Central.

En la presente investigación, se observaron variabilidades regionales entre 0,19 – 8,36 % para SFAs, 0,00 – 14,22 % para MUFAs y entre 0,03 – 2,73 % para PUFAs, sobresaliendo en los tres casos la región Ucayali. A nivel de especie, las variabilidades de SFAs, MUFAs y PUFAs fueron superiores en *P. volubilis* y, a nivel general en el estudio se observaron variabilidades de 7,01 % para SFAs, 10,58 % para MUFAs y 1,70 % para PUFAs.

3.3.9 Relación omega-3/omega-6

En la industria existen diferentes ingredientes de origen oleaginoso cuya composición de ácido linoleico (LA, omega-6) y ácido α -linolénico (ALA, omega-3) es variable. Estos ingredientes son parte de nuestra alimentación y dieta. El consumo de estos PUFAs es importante porque su metabolismo permite la biosíntesis de otros PUFAs con mayor número de carbonos que son esenciales para nuestro organismo. A nivel celular la concentración de omega-6/omega-3 es 1:1,5 y representa un óptimo nivel homeostático. Sin embargo, esta proporción es difícil alcanzar debido a los procesos enzimáticos competitivos del LA y ALA, que limitan, por ejemplo, la conversión de ALA en ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA), así como a la dieta occidental, que se caracteriza por el consumo de omega-6, el cual es usualmente superior en diez veces al omega-3. Esto, aunado al consumo de procesados donde los niveles de azúcares, grasas saturadas, entre otros, limitan la actividad enzimática para la conversión del ALA, así como su estabilidad, hace necesario un consumo extra de omega-3 para balancear la proporción de omega-3/omega-6 (Huerta-Yépez, Tirado-Rodriguez, y Hankinson, 2016).

Otros autores mencionan que los patrones actuales de consumo cambiaron significativamente la relación omega-6/omega-3 (ω_6/ω_3) en la dieta desde el Paleolítico. Al respecto, Fedacko *et al.* (2012), en la investigación sobre la relación de muertes por enfermedades no transmisibles en zonas urbanas del norte de la India, indican las siguientes relaciones de consumo de ω_6/ω_3 : 0,79 para el Paleolítico; relaciones entre 1 - 2 hacia el año 1960 en referencia al país Grecia. Relaciones actualizadas del consumo, ω_6/ω_3 , hacia el año 2012 de 4 en el país Japón; relaciones de 5 - 6,1 para las zonas rurales de la India; relaciones de 15 en Reino Unido y el norte de Europa; relaciones de 16,74 para los Estados Unidos de América y, valores entre 38 - 50 para las zonas urbanas de la India. Estas relaciones de consumo de ω_6/ω_3 de las zonas urbanas de la India, se asociaron positivamente, con valores cercanos al 50 % de las muertes debidas a enfermedades no transmisibles. Entre las que se encontraron: el cáncer, enfermedades del sistema circulatorio, enfermedades pulmonares, enfermedades renales, diabetes mellitus, entre otros en hombres y mujeres. (Huerta-

Yépez *et al.*, 2016). Por su parte, Chaves *et al.* (2018), en su estudio muestran asociación positiva entre los incrementos de enfermedades no transmisibles con el consumo elevado de alimentos con contenidos elevados de ω_6/ω_3 , cuya evolución de su consumo en el tiempo se presenta en la Figura 49.

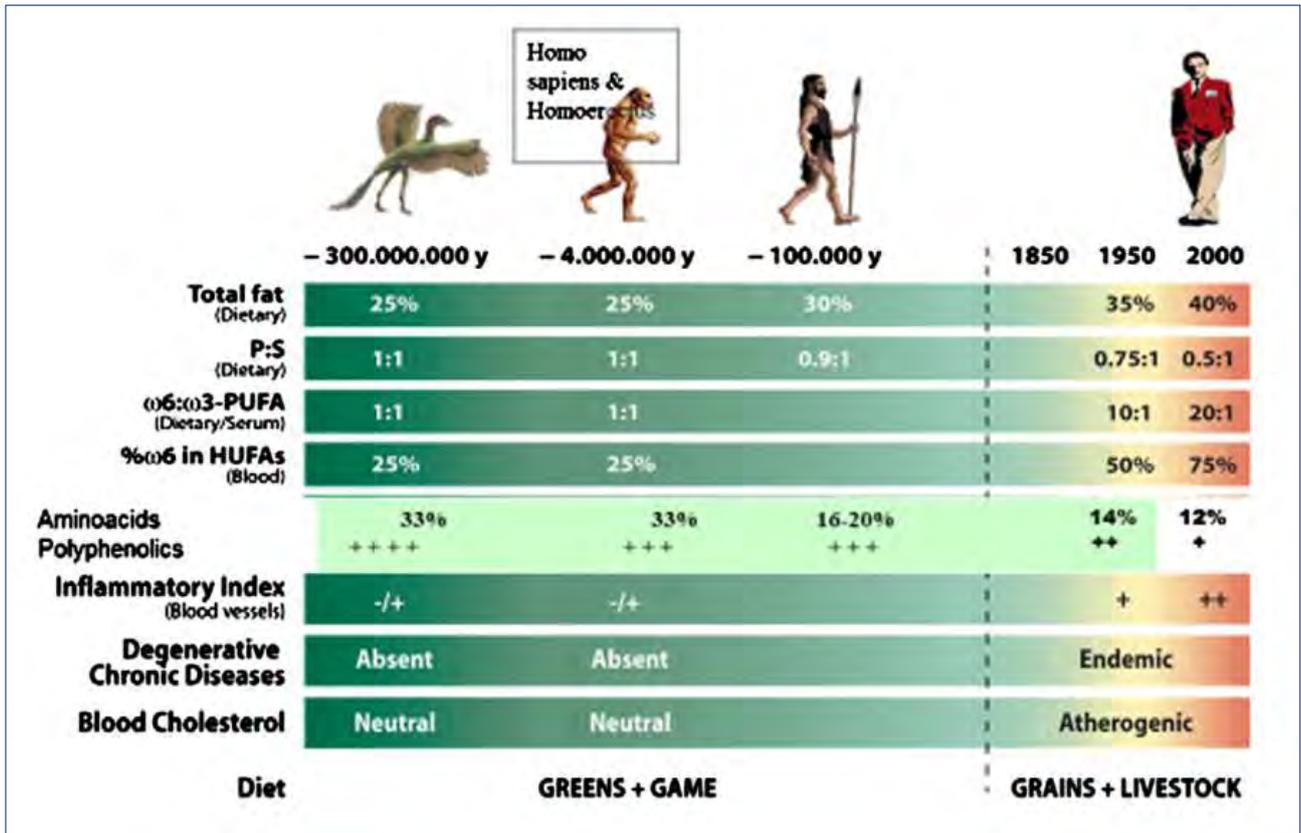


Figura 49. Evolución de la dieta y el consumo de $\omega_6:\omega_3$, durante diferentes periodos del desarrollo del ser humano.

Fuente: Chaves *et al.* (2018).

En relación a los niveles de ω_3/ω_6 de los aceites que actualmente se consumen en la industria alimentaria y consumo doméstico, en muchos de los casos, los contenidos de ω_3 se encuentran como ausentes o presentan valores muy bajos, verificándose los niveles reportados en diferentes investigaciones y su relación con enfermedades no transmisibles (Chaves *et al.*, 2018; Fedacko *et al.*, 2012; Huerta-Yépez *et al.*, 2016; Saini y Keum, 2018). Estos niveles se describen a continuación en la Tabla 15.

Tabla 15. Contenidos de ácido linoleico (18:2, ácido linolénico (18:3) y ω 3/ ω 6 de aceites comestibles de origen vegetal.

| Ingrediente (g/100 g) | 18:2, ω 6 | 18:3, ω 3 | ω 3/ ω 6 |
|--|------------------|------------------|------------------------|
| Aceite de linaza, prensado en frío | 14,327 | 53,368 | 3,72 |
| Aceite de germen de trigo | 54,8 | 6,9 | 0,13 |
| Aceite de maní | 32 | 0 | 0,00 |
| Aceite de coco | 1,69 | 0,02 | 0,01 |
| Aceite de oliva | 9,762 | 0,761 | 0,08 |
| Aceite de sésamo | 41,3 | 0,3 | 0,01 |
| Aceite de algodón | 51,5 | 0,2 | 0,00 |
| Aceite de girasol | 65,7 | 0 | 0,00 |
| Aceite de cártamo | 12,724 | 0,096 | 0,01 |
| Aceite de nuez | 52,9 | 10,4 | 0,20 |
| Aceite de maíz | 53,515 | 1,161 | 0,02 |
| Aceite de almendra | 17,4 | 0 | 0,00 |
| Aceite de canola | 19,005 | 9,137 | 0,48 |
| Aceite de soya | 50,952 | 6,789 | 0,13 |
| Aceite de soya parcialmente hidrogenado | 45,3 | 2,8 | 0,06 |
| Aceite industrial de soya, bajo linolénico | 55,967 | 2,965 | 0,05 |
| Aceite industrial de soya, ultra bajo linolénico | 50,906 | 1,243 | 0,02 |
| *Aceite de <i>Plukenetia huayllabambana</i> | 28,95 ± 0,62 | 53,33 ± 1,41 | 1,84 |
| *Aceite de <i>Plukenetia volubilis</i> | 28,50 – 34,79 | 47,84 – 52,10 | 1,40 – 1,83 |

Fuente: USDA, Food and Nutrient Database for Dietary Studies. 2017-2018. <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/search>. Actualizado y modificado de Saini y Keum (2018).

*Presente estudio

Con respecto a los contenidos de ω 3 y ω 6 evaluados dentro de la presente investigación en los 21 aceites crudos de sacha inchi, se identificaron semillas con relaciones óptimas de ω 3/ ω 6. Estos materiales pueden ser destinados a programas de mejoramiento genético, así como su incorporación en programas de la seguridad alimentaria nacional y, convertir su producción en una oportunidad de consumo saludable en nuestro país, con respecto a los aceites que se consumen. En la Tabla 15 y la Figura 50 se muestran las semillas de sacha inchi y sus relaciones ω 3/ ω 6.

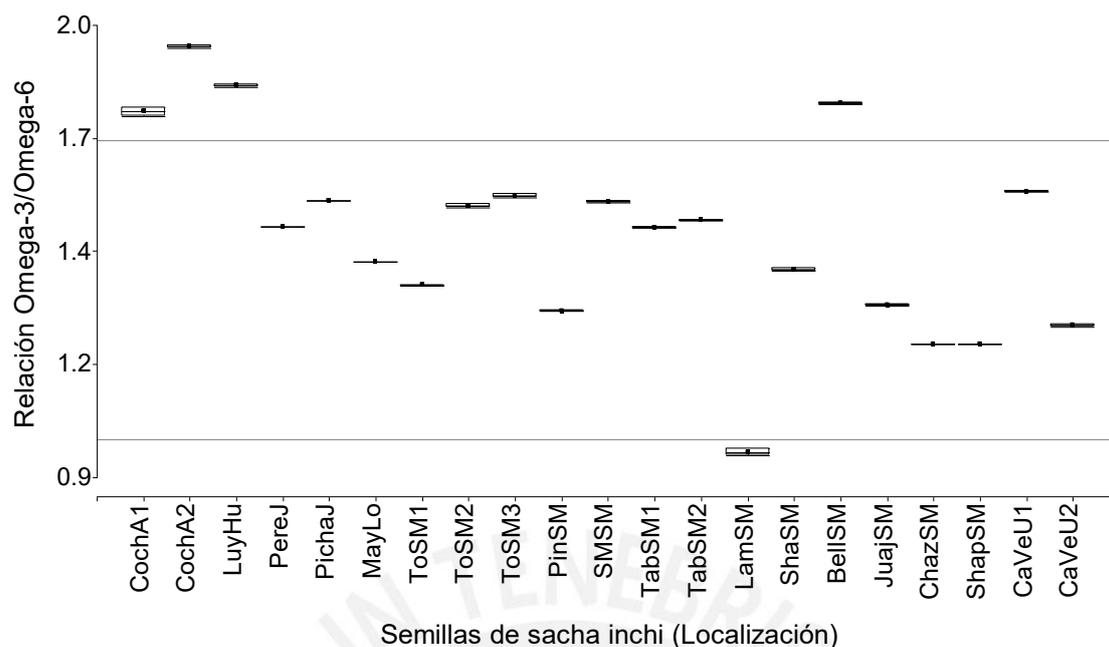


Figura 50. Diagramas de caja de relaciones ω_3/ω_6 de 21 aceites crudos de sachá inchi según localización de colecta.

P. huayllabambana de la región Amazonas (A), y *P. volubilis* de las regiones de Huánuco (Hu), Junín (J), Loreto (Lo), San Martín (SM) y Ucayali (U). Las evaluaciones fueron realizadas por duplicado.

De acuerdo a la expresión diferencial de ω_3/ω_6 en las semillas de sachá inchi, se identifican semillas y ámbitos de producción con relaciones aceptables para su procesamiento industrial, para lo cual se propone en la presente investigación la clasificación de los aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* según sus relaciones de ω_3/ω_6 (ver Figura 50):

- i) Aceites con relaciones sobresalientes de ω_3/ω_6 superiores a 1,70: Aceites crudos de *P. huayllabambana*, fundo 1 (Cocha1, 1,77) y fundo 2 (Cocha2, 1,92), de la región Amazonas; aceite crudo de Luyando de la región Huánuco (LuyHu, 1,83) y del distrito de Bellavista de la región San Martín (BellSM, 1,79), para *P. volubilis*,
- ii) Aceites con relaciones normales de ω_3/ω_6 entre 1 y 1,70: Aceites crudos de *P. volubilis* correspondientes al fundo 1 de Campoverde de la región Ucayali (CaVeU1, 1,58), fundo 3 de Tocache de San Martín (ToSM3, 1,57), fundo de

Pichanaki de la región Junín (PichaJ, 1,56), fundo de San Miguel del Río Mayo de San Martín (SMSM, 1,56), fundo 2 de Tocache de San Martín (ToSM2, 1,55), fundo 2 de Tabalosos de San Martín (TabSM2, 1,51), fundo de Perené de Junín (PereJ, 1,50), fundo 1 de Tabalosos de San Martín (TabSM1, 1,50), fundo de Maynas de Loreto (MayLo, 1,42), fundo de Shapaja de San Martín (ShaSM, 1,40), fundo 1 de Tocache de San Martín (ToSM1, 1,36), fundo de Juanjui de San Martín (JuajSM, 1,31), fundo de Pinto Recodo de San Martín (PinSM, 1,30), fundo 2 de Campoverde de Ucayali (CaVeU2, 1,27), fundo de Shapaja de San Martín (ShapSM, 1,22), y del fundo de Chazuta de San Martín (ChazSM, 1,22),

- iii) Aceites con relaciones deficientes de ω_3/ω_6 menores e iguales a 1: Aceites crudos de *P. volubilis* correspondientes al fundo de Lamas de San Martín (LamSM, 0,97).

Las relaciones de ácidos grasos son importantes en oleaginosas y dependen de la especie y su aplicación en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. Andersen y Gorbet (2002), en su estudio de la influencia de los años de producción y datos del cultivo sobre ácidos grasos en genotipos promisorios de maní con altos valores en ácido oleico, encontraron relaciones de oleico a linoleico (O/L) entre 18:1 hasta 51:1 para genotipos con altos valores de ácido oleico y entre 1,7:1 hasta 3,5:1 para genotipos normales. Los investigadores concluyen que la calidad del aceite puede ser mejorada según los años de producción y la elección del genotipo de maní. Por otra parte, Poiana y Mincione (2004), en su estudio sobre la evolución y composición de aceites de nueve (09) cultivares de oliva de diferentes áreas de Calabria, encontraron relaciones de oleico/linoleico (O/L) entre 7,15 para el genotipo Cassanese y 25,19 para el genotipo Itrana. Los investigadores concluyen que estos caracteres son importantes para su clasificación en el mercado del aceite de oliva. En el caso de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, la propuesta para la clasificación según la relación linolénico/linoleico es útil para la identificación de genotipos promisorios de sacha inchi destinados a su mejoramiento genético y el mercado nacional e internacional.

Altitud y expresión de ácidos grasos

La expresión de ácidos grasos y otros metabolitos en oleaginosas depende del origen genético y factores ambientales. En la presente investigación, ciertos ácidos grasos, SFAs, MUFAs, PUFAs y $\omega 3/\omega 6$, de los 21 aceites crudos de sachá inchi de las diferentes regiones de nuestra Amazonía se correlacionaron con la altitud, ver Figura 51.

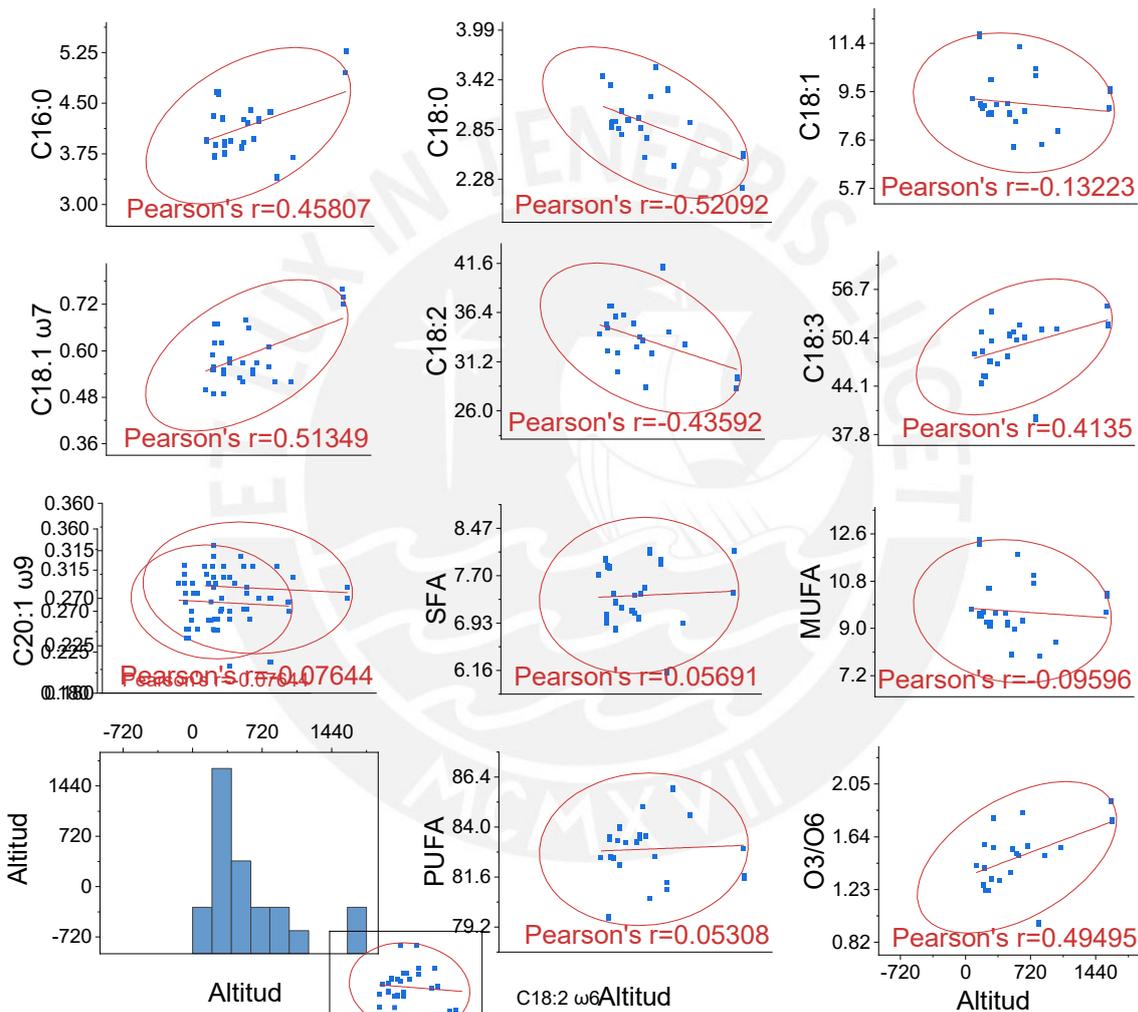
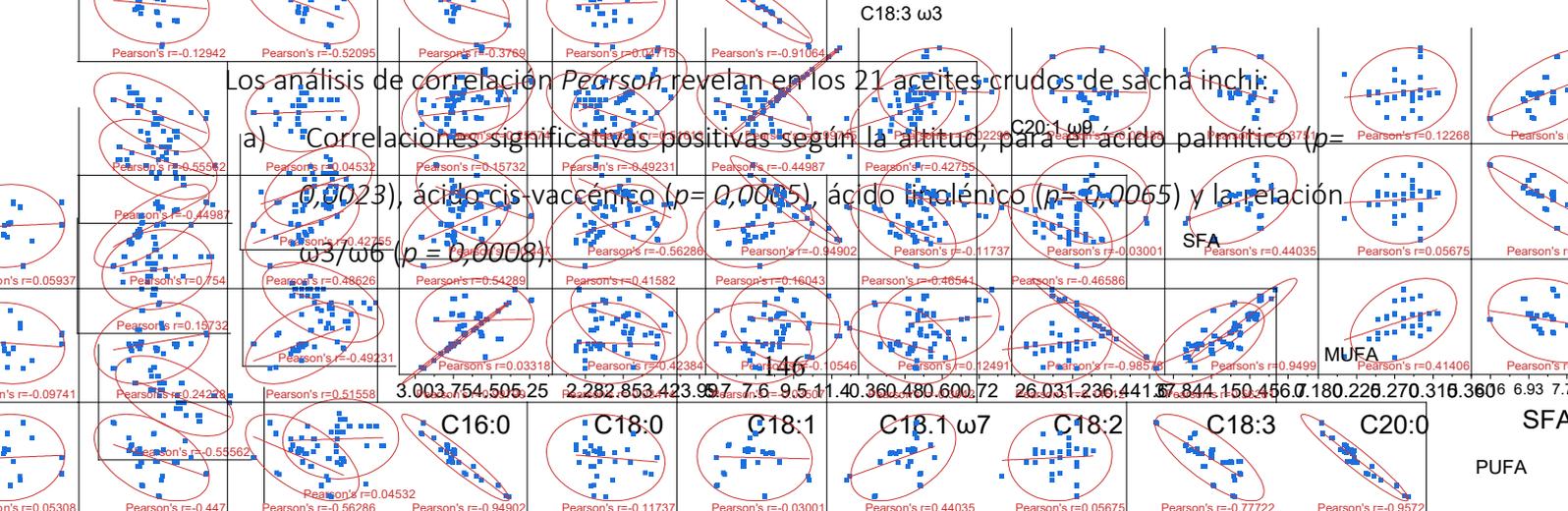


Figura 51. Diagramas de dispersión de las correlaciones Pearson de los ácidos grasos de los 21 aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* con la altitud.

Los análisis de correlación Pearson revelan en los 21 aceites crudos de sachá inchi:

- a) Correlaciones significativas positivas según la altitud, para el ácido palmítico ($p=0,0023$), ácido cis-vaccénico ($p=0,0005$), ácido linoléico ($p=0,0065$) y la relación $\omega 3/\omega 6$ ($p=0,0008$).



- b) Correlaciones significativas negativas según la altitud, para el ácido esteárico ($p=0,0004$) y ácido linoleico ($p=0,0039$)
- c) No se observaron correlaciones con la altitud, para el ácido oleico, ácido eicosenoico, ácidos grasos saturados (SFA), ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) y ácidos grasos poliinsaturados (PUFA).

Worku, Heslop-Harrison y Adugna (2015), en el estudio de la diversidad de 198 accesiones de linaza (*Linum usitatissimum*) en Etiopia, identificaron caracteres que pueden ser explotados como líneas de mejoramiento para la pequeña agricultura y comercial en ese país. Los resultados mostraron que las condiciones regionales y altitudinales afectan los caracteres morfológicos y la maduración de las semillas de linaza. Los investigadores encontraron cierta asociación entre la altitud y el contenido de aceite. Por su parte Zhang *et al.* (2022), en la investigación de los efectos geográficos y fertilidad del suelo sobre fenólicos y ácidos grasos en el aceite virgen de oliva en China, encontraron correlaciones significativas del ácido palmitoleico y ácido palmítico con la latitud. El ácido heptadecenoico se correlacionó con la altitud y la latitud. El ácido oleico se correlacionó con la altitud y el valor del pH. El ácido esteárico se correlacionó con la latitud. El ácido eicosenoico se correlacionó con la altitud y el ácido docosanoico se correlacionó positivamente con la latitud y negativamente con la longitud. Mientras que, para el ácido linoleico, el ácido nonadecanoico y el ácido eicosanoico no se encontraron correlaciones significativas con la latitud, la longitud, la altitud o el pH. Las muestras de olivo del cultivar *Leccino* en la investigación de Zhang *et al.* (2022), fueron colectadas en 59 lugares/puntos de muestreo de la ciudad de Longnan en China, cuyos hallazgos son importantes para identificar las condiciones geográficas y manejo de la fertilización en campo.

Las actividades de producción y conservación del sacha inchi en nuestro país son claves para el desarrollo del biocomercio y su aprovechamiento sostenible. En ese sentido, las correlaciones significativas del ácido palmítico, ácido cis-vaccénico, ácido linoléico y la relación ω_3/ω_6 , con la altitud de las zonas productoras para *P. huayllabambana* y *P. volubilis* identifican zonas productoras que pueden coadyuvar a la implementación de proyectos con enfoque territorial sostenible para la producción de aceite de sacha inchi con altos contenidos de omega-3 y relaciones óptimas de ω_3/ω_6 (ver Figuras 50 y 51).

3.3.10 Diversidad de ácidos grasos de los aceites crudos de sachá inchi

Los promedios, desviación estándar (DE), coeficiente de variabilidad (CV), valor mínimo, valor máximo y mediana, de los ácidos grasos de los 21 aceites crudos de sachá inchi correspondientes a las muestras colectadas en las regiones de Amazonas, Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16. Medidas resumen de los ácidos grasos evaluados en los 21 aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

| Ácido graso | n | Media | DE | CV (%) | Mínimo | Máximo | Mediana |
|------------------------|----|-------|------|--------|--------|--------|---------|
| C16:0 (%) | 42 | 4,17 | 0,44 | 10,66 | 3,39 | 5,28 | 4,10 |
| C18:0 (%) | 42 | 2,93 | 0,33 | 11,40 | 2,18 | 3,57 | 2,93 |
| C18:1 ω 9 (%) | 42 | 9,07 | 1,05 | 11,60 | 7,32 | 11,79 | 8,95 |
| C18:1 ω 7 (%) | 42 | 0,59 | 0,08 | 12,77 | 0,49 | 0,76 | 0,57 |
| C18:2 ω 6 (%) | 42 | 33,71 | 3,06 | 9,06 | 28,38 | 41,28 | 33,82 |
| C18:3 ω 3 (%) | 42 | 49,24 | 3,40 | 6,91 | 39,73 | 54,59 | 50,11 |
| C20:1 ω 9 (%) | 42 | 0,28 | 0,02 | 8,57 | 0,21 | 0,32 | 0,29 |
| SFA (%) | 42 | 7,10 | 0,50 | 7,01 | 5,83 | 7,85 | 7,13 |
| MUFA (%) | 42 | 9,94 | 1,05 | 10,58 | 8,25 | 12,68 | 9,85 |
| PUFA (%) | 42 | 82,94 | 1,41 | 1,70 | 79,62 | 85,90 | 83,24 |
| ω 3/ ω 6 | 42 | 1,48 | 0,23 | 15,29 | 0,96 | 1,92 | 1,50 |

| Ácido graso | Media | | CV (%) | | Mínimo | | Máximo | | NTP | |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | <i>P. h</i> | <i>P. v</i> |
| C16:0 (%) | 5,11 | 4,07 | 3,56 | 8,16 | 4,95 | 3,39 | 5,28 | 4,68 | - | - |
| C18:0 (%) | 2,37 | 2,99 | 9,15 | 9,62 | 2,18 | 2,43 | 2,58 | 3,57 | - | - |
| C18:1 ω 9 (%) | 9,22 | 9,06 | 4,44 | 12,15 | 8,86 | 7,32 | 9,62 | 11,79 | 7,90 | 8,90 |
| C18:1 ω 7 (%) | 0,75 | 0,57 | 2,57 | 10,06 | 0,72 | 0,49 | 0,76 | 0,68 | - | - |
| C18:2 ω 6 (%) | 28,95 | 34,21 | 2,15 | 8,06 | 28,38 | 28,46 | 29,57 | 41,28 | 24,00 | 32,10 |
| C18:3 ω 3 (%) | 53,33 | 48,81 | 2,65 | 6,69 | 51,95 | 39,73 | 54,59 | 53,85 | 55,00 | 44,70 |
| C20:1 ω 9 (%) | 0,28 | 0,28 | 1,80 | 8,99 | 0,27 | 0,21 | 0,28 | 0,32 | - | - |
| SFA (%) | 7,49 | 7,06 | 5,32 | 7,00 | 7,13 | 5,83 | 7,84 | 7,85 | - | - |
| MUFA (%) | 10,24 | 9,91 | 3,80 | 11,06 | 9,90 | 8,25 | 10,63 | 12,68 | - | - |
| PUFA (%) | 82,28 | 83,01 | 0,96 | 1,74 | 81,52 | 79,62 | 82,97 | 85,90 | - | - |
| ω 3/ ω 6 | 1,84 | 1,44 | 4,80 | 13,94 | 1,76 | 0,96 | 1,92 | 1,83 | - | - |

CV: Coeficiente de variabilidad. NTP: Norma Técnica Peruana, valores mínimos según INDECOPI (2010). *P. h*: *P. huayllabambana*; *P. v*: *P. volubilis*. Las evaluaciones fueron realizadas por duplicado.

Los ácidos grasos de las oleaginosas se utilizan en diversos estudios para conocer su origen, identidad, similaridad, diferencias, trazabilidad y diversidad. En ese sentido Zarrouk *et al.* (2009), sobre el estudio de 18 variedades de olivo procedentes de España, Francia, Italia, Grecia y Argelia, evaluaron el rendimiento y composición de ácidos grasos para conocer las variedades estudiadas, asociación y su clasificación. Según análisis de clústers, clasificaron las variedades en tres grandes grupos y subgrupos según similitudes/disimilitudes, así como identificaron variedades según condiciones medio ambientes con las mejores cualidades en ácido palmítico, oleico y linoléico. Otros investigadores como Cicutelli *et al.* (2013), en la investigación de composición del aceite de oliva y diversidad genética de variedades y accesiones en Italia, evaluaron 51 olivos colectados durante los años 2009 – 2011. Los resultados mostraron que las diferencias en ácidos grasos se vincularon a variedades típicas de Cilento (Salella, Pisciotana, Frantoiana) y el PCA identificó correlaciones significativas entre ácidos grasos y variedades, y distinciones de las variedades según la composición de ácidos grasos.

Otra investigación, relacionada, con el estudio de la diversidad de composición del aceite de oliva en la Colección de variedades de la región de Valencia en España, evaluó parámetros fisicoquímicos, fenólicos y ácidos grasos en 45 variedades de la región Mediterránea de Valencia. Los resultados del análisis discriminante permitieron una correcta clasificación de las variedades estudiadas, mostrando que los perfiles de ácidos grasos en el aceite de oliva constituyen una poderosa herramienta para la selección y mejoramiento genético de las variedades de olivo. Las variables estudiadas a nivel de ácidos grasos, propiedades fisicoquímicas y fenólicos totales se distribuyeron según PC1 con 31,1 % y PC2 con 18,6 %, para las 45 variedades de olivo. La Figura 52 presenta las relaciones entre los parámetros evaluados (Ruiz-Domínguez *et al.*, 2013).

Por su parte El Riachy *et al.* (2019), en el estudio del contenido de aceite, ácidos grasos y fenólicos en 11 variedades de olivo en el Líbano, identificaron el tiempo óptimo de cosecha de las variedades locales e introducidas y, en base a los contenidos de aceite y sus ácidos grasos, clasificaron las muestras según PCA con varianza para PC1 y PC2 del 78 %. En relación a los resultados, los hallazgos de la investigación en el olivo valorizan

las cualidades del germoplasma conservado en el Líbano y su autenticación como aceite de oliva. Similares estudios multivariantes se presentan para la misma especie (L. Yu *et al.*, 2021), u otras especies (He, Li, y Tian, 2021; Abdelghany *et al.*, 2020).

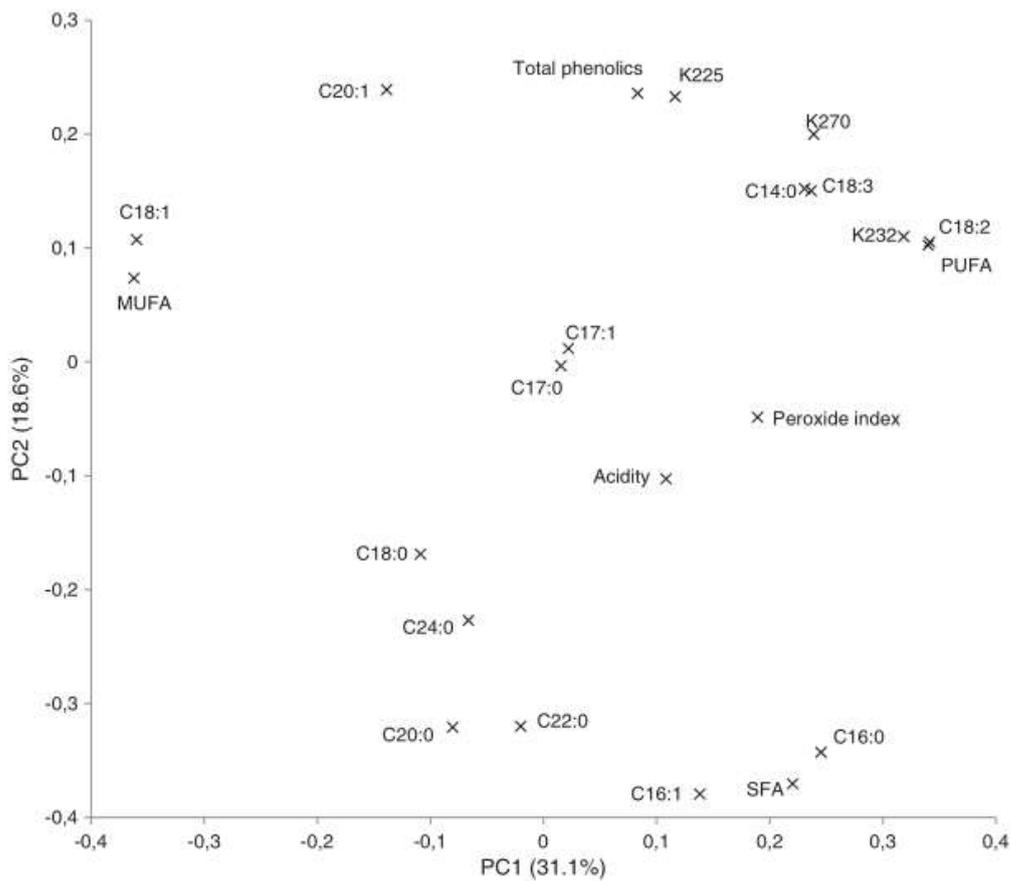


Figura 52. PCA de 22 variables en 45 variedades de olivo de la región Mediterránea de Valencia en España.

Ácidos grasos: C14:0, C16:0, C16:1, C17:0, C17:1, C18:0, C18:1, C18:2, C18:3, C20:0, C20:1, C22:0, C24:0, ácidos grasos saturados (SFA), ácidos grasos monoinsaturados (MUFA), ácidos grasos poliinsaturados (PUFA). Propiedades fisicoquímicas: índice de peróxido, acidez, constantes asociados a parámetros de oxidación (K225, K232, K270), y fenólicos totales.

Fuente: Ruiz-Domínguez *et al.* (2013).

Con respecto al sacha inchi, Ramos Escudero (2014), en el estudio de caracterización y trazabilidad del aceite de sacha inchi, encontró correlaciones significativas positivas y

negativas entre los ácidos grasos mayoritarios de los 27 aceites comerciales de sachá inchi, ver Figura 53.

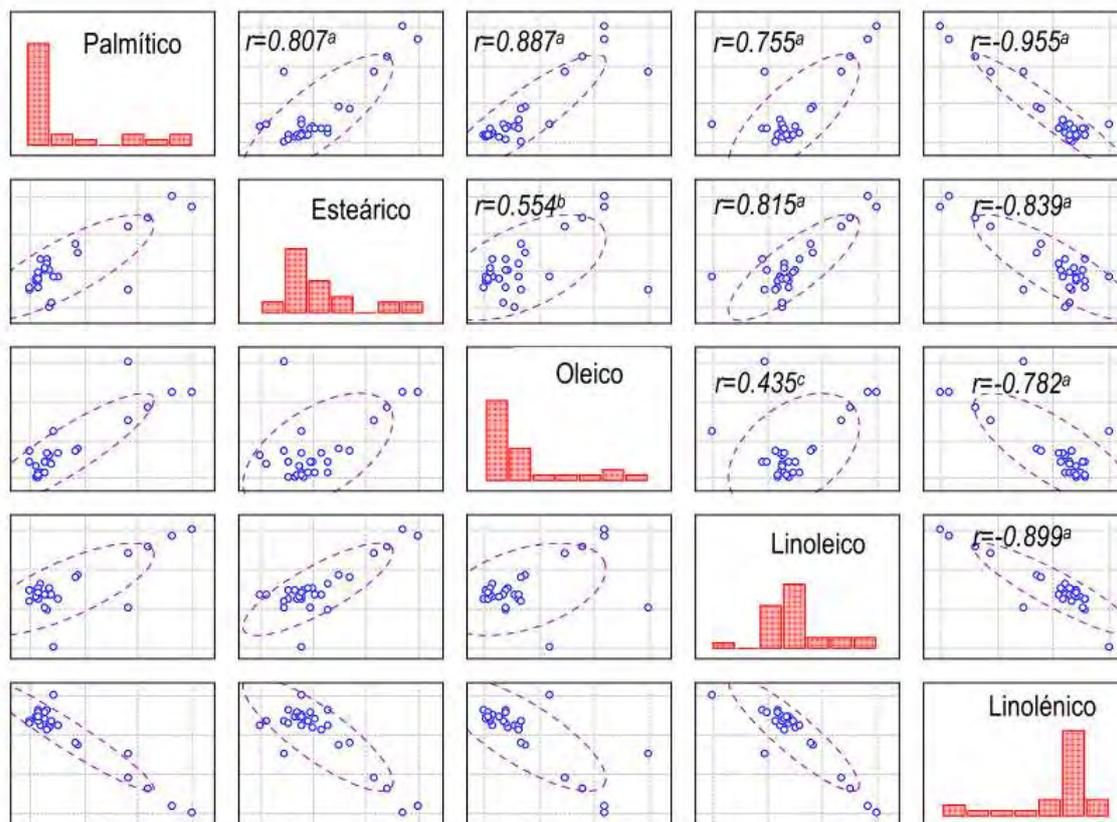


Figura 53. Matriz de correlación Pearson entre los contenidos de ácidos grasos mayoritarios de los 27 aceites comerciales de sachá inchi.

Fuente: Ramos Escudero (2014).

En la presente investigación con los 21 aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, los resultados de los ácidos grasos y los otros parámetros como SFAs, MUFAs, PUFAs y la relación $\omega 3/\omega 6$ presentan correlaciones significativas y no significativas (ver Tabla 17 y Figura 54). En muchos de los casos las correlaciones no fueron similares a los resultados encontrados por Ramos Escudero (2014), ver Figura 53.

Tabla 17. Correlación según Pearson de ácidos grasos de aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

| | C16:0 | C18:0 | C18:1 | C18:1 ω7 | C18:2 | C18:3 | C20:1 | SFAs | MUFAs | PUFAs | ω3/ω6 |
|---------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C16:0 | | ns | ns | *** | ns | ns | *** | *** | ns | ** | ns |
| C18:0 | -0,21 | | *** | *** | * | *** | ns | ** | *** | *** | ** |
| C18:1 | 0,19 | 0,55 | | ns | ns | * | ns | *** | *** | *** | ns |
| C18:1ω7 | 0,86 | -0,53 | -0,09 | | ns | ns | *** | ** | ns | ns | ns |
| C18:2 | -0,06 | 0,32 | -0,02 | -0,11 | | *** | ** | ns | ns | ns | *** |
| C18:3 | -0,13 | -0,52 | -0,38 | 0,05 | -0,91 | | ** | ** | * | ** | *** |
| C20:1 | -0,56 | 0,05 | 0,16 | -0,49 | -0,45 | 0,43 | | ** | ns | ns | ** |
| SFAs | 0,74 | 0,49 | 0,54 | 0,42 | 0,16 | -0,47 | -0,47 | | *** | *** | ns |
| MUFAs | 0,26 | 0,52 | 1,00 | -0,03 | -0,04 | -0,36 | 0,15 | 0,56 | | *** | ns |
| PUFAs | -0,45 | -0,56 | -0,95 | -0,12 | -0,03 | 0,44 | 0,06 | -0,78 | 0,96 | | ns |
| ω3/ω6 | 0,03 | -0,42 | -0,11 | 0,12 | -0,99 | 0,95 | 0,41 | -0,25 | -0,09 | 0,16 | |

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns: no significativo.

C16:0: Ácido palmítico, C18:0: Ácido esteárico, C18:1: Ácido oleico, C18:1 ω7: Ácido cis-vaccénico, C18:2: Ácido linoleico, C18:3: Ácido linolénico, C20:0: Ácido eicosenoico, SFA: Ácidos grasos saturados, MUFA: Ácidos grasos monoinsaturados, PUFA: Ácidos grasos poliinsaturados, ω3/ ω6: relación omega-3/omega-6.

Ramos Escudero (2014) identificó correlaciones significativas de *Pearson* para C16:0 vs C18:0, C16:0 vs C18:1, C16:0 vs C18:2, C16:0 vs C18:3, C18:1 vs C18:2. En el presente estudio con las 21 muestras no se observaron las correlaciones mencionadas por el investigador (ver Tabla 17 y Figura 54).

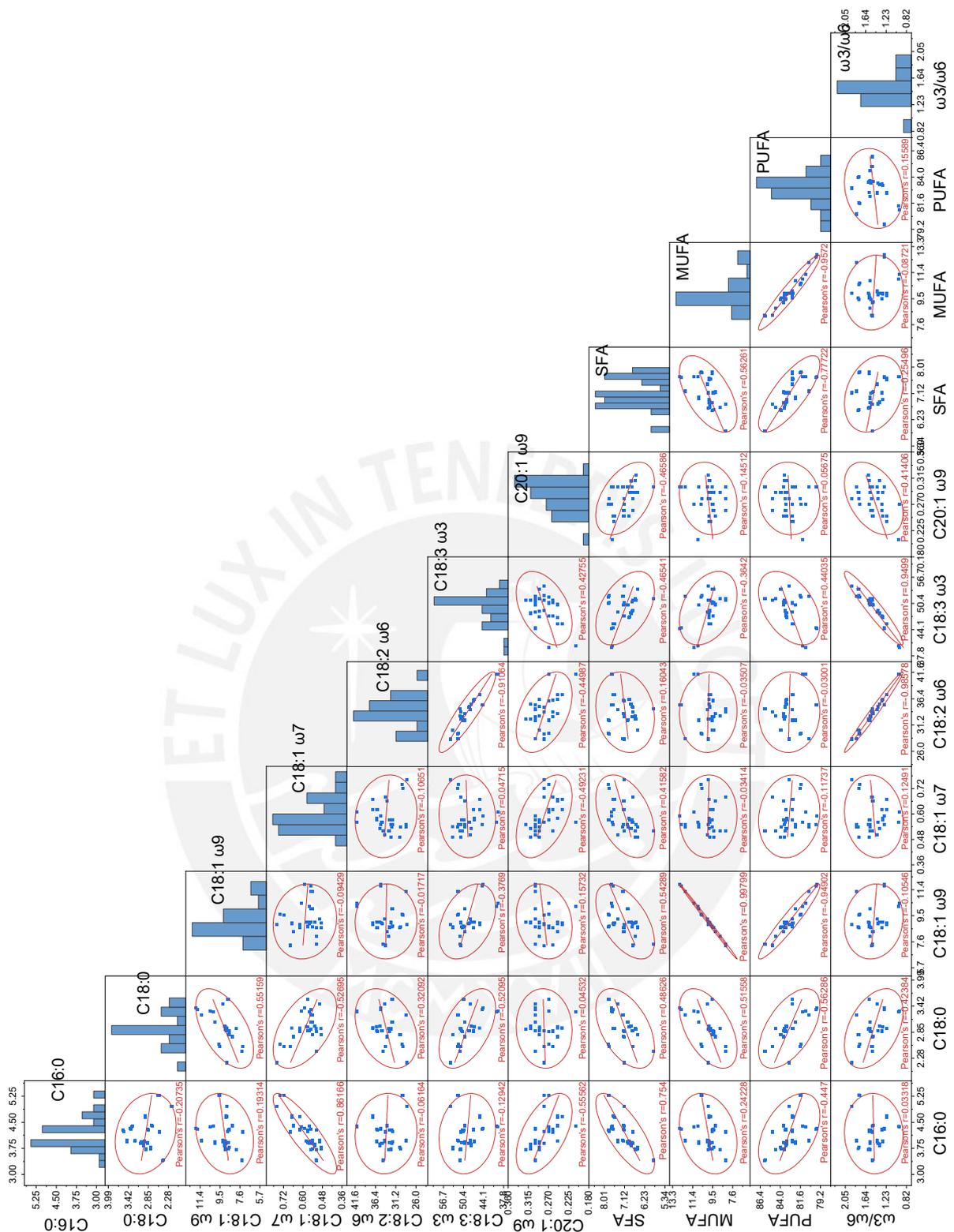


Figura 54. Diagramas de dispersión de las correlaciones Pearson de los ácidos grasos de los 21 aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

C16:0: Ácido palmítico, C18:0: Ácido esteárico, C18:1: Ácido oleico, cis-C18:1: Ácido cis-vaccénico, C18:2: Ácido linoleico, C18:3: Ácido linolênico, C20:1: Ácido eicosenoico, SFA: Ácidos grasos saturados, MUFA: Ácidos grasos monoinsaturados, PUFA: Ácidos grasos poliinsaturados, ω3/ω6: relación omega-3/omega-6.

Ramos Escudero (2014), con los ácidos grasos y los parámetros fisicoquímicos realizó el análisis discriminante factorial para los 27 aceites comerciales de sachá inchi, generando un espacio bidimensional del PCA. Donde el investigador presentó las relaciones que existen entre los ácidos grasos, relaciones de ácido grasos (O/L, L/L), ácidos grasos saturados (SFAs), ácidos grasos monoinsaturados (MUFAs), ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) y relación MUFAs/PUFAs. El PCA se construyó con los factores, 1: 64,60 % y 2: 18,75, el cual identifica a los parámetros 10 (C18:3) y 16 (PUFAs) de los otros parámetros, ver Figura 55.

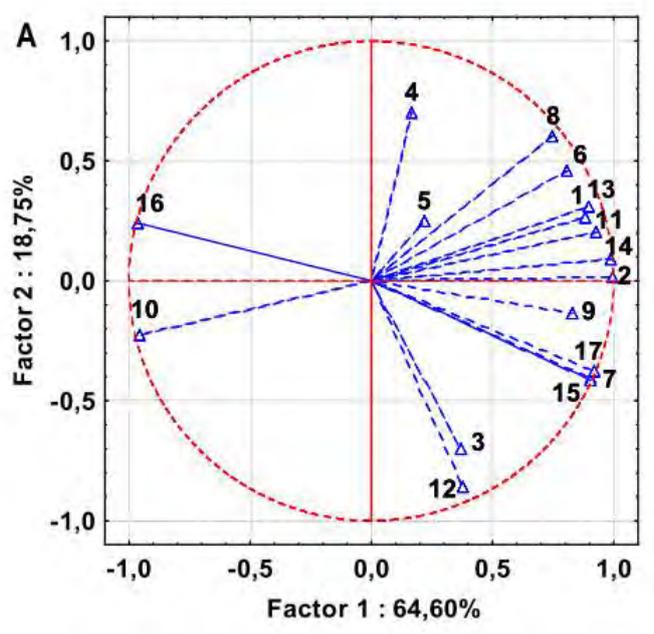


Figura 55. PCA de ácidos grasos (11) y parámetros (06) de 27 aceites comerciales de sachá inchi.

Factor 1: 64,60 % y Factor 2: 18,75 %. Los números representan: 1=C14:0, 2=C16:0, 3=C16:1, 4=C17:0, 5=C17:1, 6=C18:0, 7=C18:1, 8=C18:2, 9=C20:0, 10=C18:3, 11=C22:0, 12=O/L, 13=L/L, 14=SFAs, 15=MUFAs, 16=PUFAs, 17=MUFAs/PUFAs.

Fuente: Ramos Escudero (2014).

Con respecto a la presente investigación, con los perfiles de ácidos grasos, SFAs, MUFAs, PUFAs, $\omega 3/\omega 6$ evaluados en los 21 aceites crudos de sachá inchi de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, se construyeron el dendrograma y el gráfico del PCA. Los gráficos representan la diversidad y asociación entre los parámetros evaluados, ver Figura 56.

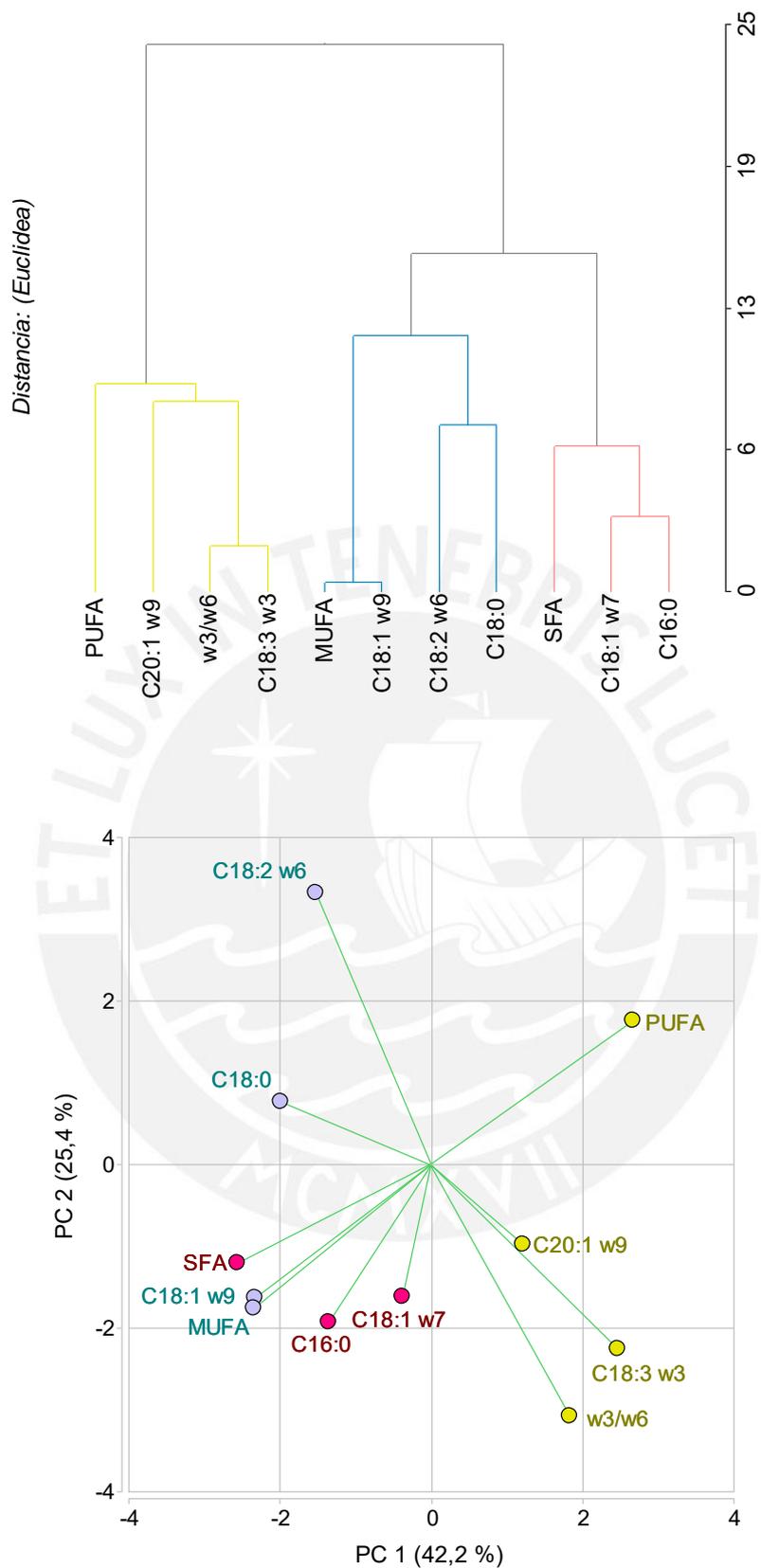


Figura 56. Análisis de conglomerados y PCA de los parámetros evaluados en los 21 aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

El análisis clúster de los perfiles de ácidos grasos y otros parámetros evaluados en los 21 aceites crudos de sachá inchi (ver Figuras 56 y 57, Tablas 18 y 19) revela tres clústers, según el método de *Ward* y la distancia *Euclidea*:

- i) Clúster formado por C16:0 y C18:1 ω 7, con SFA,
- ii) Clúster constituido por dos subgrupos: a) MUFA y C18:1, y b) subgrupo de C18:0 y C18:2,
- iii) Clúster conformado por: PUFA, C20:1, C18:3 y ω 3/ ω 6.

Los clústers constituidos se identifican en el PCA compuesto por PC1 con valor 42,2 % y el PC2 con 25,4 %. La probabilidad total descrita para el PCA fue de 67,6 % (ver Figura 56). En el caso de Ramos Escudero (2014) con los aceites comerciales de sachá inchi, la probabilidad reportada fue de 83,35 % y construyó el PCA con C14:0, C16:0, C16:1, C17:0, C17:1, C18:0, C18:1, C18:2, C20:0, C18:3, C22:0, O/L, L/L, SFAs, MUFAs, PUFAs, MUFAs/PUFAs, ver Figura 55. Para el PCA de la Figura 56, los autovalores, autovectores y correlaciones de los ácidos grasos y sus parámetros se describen en la Tabla 18.

Tabla 18. Autovalores, autovectores y correlaciones de los ácidos grasos de 21 aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* según PCA.

| Autovalores | | | | Autovectores | | | | Correlaciones | | |
|-------------|---------|---------|------|------------------------|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| L | V | P | PA | Variable | e1 | e2 | e3 | PC1 | PC2 | PC3 |
| 1 | 4,64 | 0,42 | 0,42 | C16:0 | -0,21 | -0,29 | 0,44 | -0,44 | -0,49 | 0,73 |
| 2 | 2,80 | 0,25 | 0,68 | C18:0 | -0,30 | 0,12 | -0,33 | -0,65 | 0,19 | -0,55 |
| 3 | 2,76 | 0,25 | 0,93 | C18:1 | -0,35 | -0,25 | -0,27 | -0,76 | -0,41 | -0,45 |
| 4 | 0,57 | 0,05 | 0,98 | C18:1 ω 7 | -0,06 | -0,24 | 0,53 | -0,13 | -0,41 | 0,87 |
| 5 | 0,19 | 0,02 | 1,00 | C18:2 | -0,23 | 0,50 | 0,10 | -0,49 | 0,84 | 0,17 |
| 6 | 0,04 | 3,8E-03 | 1,00 | C18:3 | 0,37 | -0,34 | -0,04 | 0,80 | -0,57 | -0,07 |
| 7 | 4,8E-03 | 4,4E-04 | 1,00 | C20:1 | 0,18 | -0,15 | -0,48 | 0,39 | -0,25 | -0,79 |
| 8 | 1,4E-04 | 1,3E-05 | 1,00 | SFA | -0,39 | -0,18 | 0,17 | -0,83 | -0,31 | 0,29 |
| 9 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | MUFA | -0,35 | -0,27 | -0,24 | -0,76 | -0,45 | -0,40 |
| 10 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | PUFA | 0,40 | 0,27 | 0,12 | 0,87 | 0,44 | 0,21 |
| 11 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | ω 3/ ω 6 | 0,28 | -0,47 | -0,06 | 0,60 | -0,78 | -0,10 |

L: lambda. V: valor. P: proporción. PA: proporción acumulada. e1: Valor propio 1. e2: valor propio 2. PC1: componente principal 1. PC2: componente principal 2. PC3: componente principal 3. Correlación cofenética= 0,896.

La matriz de correlaciones del PCA de los ácidos grasos y los parámetros SFAs, MUFAs, PUFAs y ω 3/ ω 6, se presenta en la Tabla 19.

Tabla 19. Matriz de correlación/probabilidades del PCA de ácidos grasos y otros parámetros evaluados en 21 aceites crudos *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

| | C16:0 | C18:0 | C18:1 | C18:1 ω 7 | C18:2 | C18:3 | C20:1 | SFA | MUFA | PUFA | ω 3/ ω 6 |
|------------------------|---------|--------|---------|------------------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|------------------------|
| C16:0 | | | | | | | | | | | |
| C18:0 | 0,3664 | | | | | | | | | | |
| C18:1 | 0,3977 | 0,0095 | | | | | | | | | |
| C18:1 ω 7 | <0,0001 | 0,0120 | 0,6627 | | | | | | | | |
| C18:2 | 0,7894 | 0,1562 | 0,9405 | 0,6398 | | | | | | | |
| C18:3 | 0,5763 | 0,0155 | 0,0924 | 0,8319 | <0,0001 | | | | | | |
| C20:1 ω 9 | 0,0047 | 0,8359 | 0,4798 | 0,0049 | 0,0232 | 0,0314 | | | | | |
| SFA | 0,0001 | 0,0248 | 0,0106 | 0,0516 | 0,4865 | 0,0332 | 0,0223 | | | | |
| MUFA | 0,2841 | 0,0167 | <0,0001 | 0,8522 | 0,8792 | 0,1047 | 0,5368 | 0,0075 | | | |
| PUFA | 0,0418 | 0,0079 | <0,0001 | 0,6151 | 0,8979 | 0,0459 | 0,7732 | <0,0001 | <0,0001 | | |
| ω 3/ ω 6 | 0,8847 | 0,0556 | 0,6497 | 0,5817 | <0,0001 | <0,0001 | 0,0388 | 0,2940 | 0,6764 | 0,5005 | |

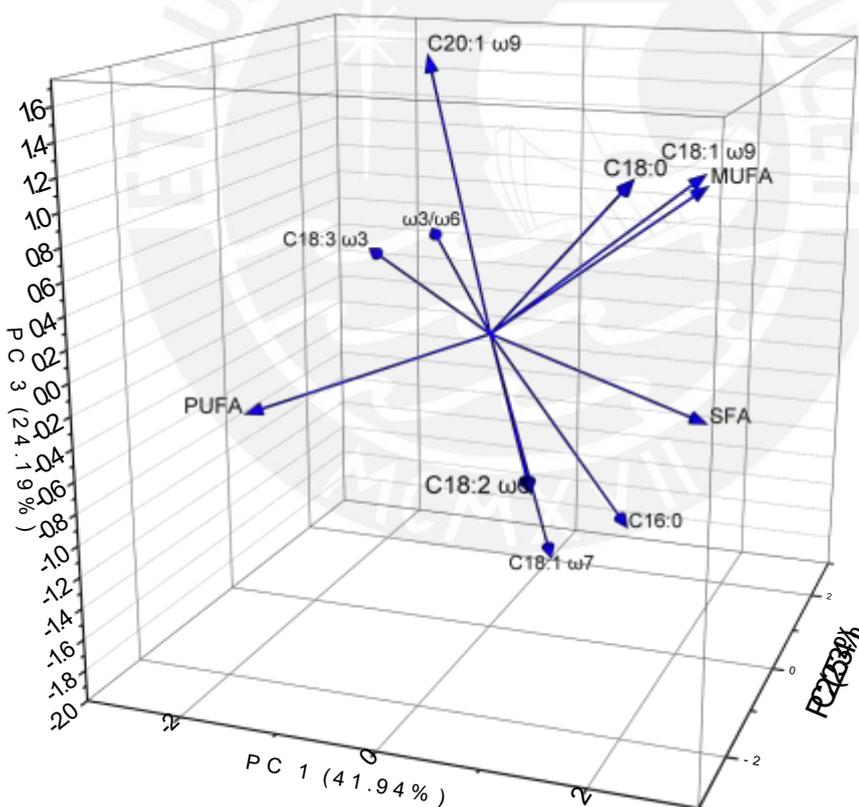


Figura 57. PCA con PC1, PC2 y PC3, de los ácidos grasos y sus parámetros en los 21 aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* (92,65 %).

El análisis de los PCs de la Tabla 8 correspondiente a los ácidos grasos y los parámetros SFAs, MUFAs, PUFAs y ω 3/ ω 6 se puede extender a tres PCs. Su representación se

describe en la Figura 57, donde los tres clústers descritos en el análisis de conglomerados y PCA de la Figura 56 se describen de manera inequívoca. La probabilidad total asociada al PCA fue de 92,65 %, cuyo valor es superior a estudios similares de diversidad en aceites de oleaginosas de alto valor comercial como el olivo (Ruiz-Domínguez *et al.*, 2013; Grasso *et al.*, 2016).

3.3.11 Diversidad de los aceites crudos de sachá inchi

Con respecto a la diversidad de los 21 aceites crudos de sachá inchi, su distribución, asociación, similaridades y disimilaridades se evalúan en la presente sección. El análisis de conglomerados se evaluó con método de *Ward* y la distancia *Euclidea* como criterio de asociación. Los parámetros considerados fueron los ácidos grasos C16:0, C18:0, C18:1, C18:1 ω 7, C18:2, C18:3, C20:1 ω 9, SFA, MUFA, PUFA, y la relación ω 3/ ω 6 evaluados en los aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, de las diferentes regiones de nuestro país. Los conglomerados/clústers identificados fueron (ver Figura 58):

Clúster I Conglomerado constituido por 4 subgrupos de *P. volubilis*:

- a) El primer subgrupo está conformado por aceites crudos de los 2 fundos de Tabalosos (TabSM2 y TabSM1) de la región San Martín,
- b) Segundo subgrupo conformado por aceites crudos de las semillas de los fundos de Shanao (ShaSM) y Pinto recodo (PinSM), con Juanjuí (JuajSM), todos de la región San Martín,
- c) Tercer subgrupo formado sólo por el aceite crudo del Perené (PereJ) de la región Junín,
- d) Cuarto subgrupo conformado por aceites crudos de semillas del fundo 2 de Tocache (ToSM2) de San Martín y del fundo Pichanaki (PichaJ) de Junín, con el aceite crudo de las semillas del fundo de Bellavista (BellSM) de la región San Martín.

El clúster de manera general se caracteriza por presentar altos niveles de PUFAs y C20:1 ω 9, valores intermedios de C18:0, C18:1 ω 7, C18:2 ω 6, C18:3 ω 3 y ω 3/ ω 6; valores bajos de C16:0, C18:1 ω 9, SFAs y MUFAs.

- Clúster II* Conglomerado constituido por 2 subgrupos de *P. volubilis*.
- a) Primer subgrupo constituido por el aceite crudo de las semillas del fundo 3 de Tocache (ToSM3) de la región San Martín,
 - b) Segundo subgrupo conformado por aceites crudos de las semillas de los fundos de San Miguel del Río Mayo (SMSM) de la región San Martín y Maynas (MayLo) de la región Loreto, con aceites crudos de las semillas del fundo 1 de Tocache de la región San Martín (ToSM1) y el fundo 1 de Campoverde (CaVeU1) de la región Ucayali.

El clúster se caracteriza por presentar altos niveles de C18:0, valores intermedios de C18:1 ω 9, C18:2 ω 6, C18:3 ω 3, C20:1 ω 9, SFAs, MUFAs, PUFAs y ω 3/ ω 6; valores bajos de C16:0 y C18:1 ω 7.

- Clúster III* Conglomerado formado por muestras de *P. volubilis* del fundo de Luyando (LuyHu) de la región Huánuco y fundo 2 de Campoverde (CaVeU2) de la región Ucayali.

El clúster se caracteriza por presentar altos valores de C18:0, C18:1 ω 9, C20:1 ω 9 y MUFAs; valores intermedios de C18:1 ω 7, C18:2 ω 6, C18:3 ω 3, SFAs y ω 3/ ω 6; y valores bajos de C16:0 y PUFAs.

- Clúster IV* Conglomerado formado por 2 subgrupos de la región San Martín de *P. volubilis*.

- a) Primer subgrupo formado por las semillas del fundo Lamas (LamSM),
- b) Segundo subgrupo constituido por las semillas del fundo Shapaja (ShapSM) y del fundo Chazuta (ChazSM).

El clúster se caracteriza por presentar valores elevados de C18:2 ω 6 y SFAs; valores intermedios de C16:0, C18:0, C18:1 ω 7, C18:1 ω 9, MUFAs y PUFAs; y valores bajos de C18:3 ω 3, C20:1 ω 9 y ω 3/ ω 6.

Clúster V Conglomerado formado por aceites crudos de las semillas de *P. huayllambana* de los fundos de Cochamal (Cocha1 y Cocha2) de la región Amazonas.

El clúster se caracteriza por presentar los valores más elevados de C16:0, C18:1 ω 7, C18:3 ω 3 y ω 3/ ω 6; los valores más bajos en C18:0 y C18:2 ω 6. Los valores intermedios en C18:1 ω 9, C20:1 ω 9, SFAs, MUFAs y PUFAs.

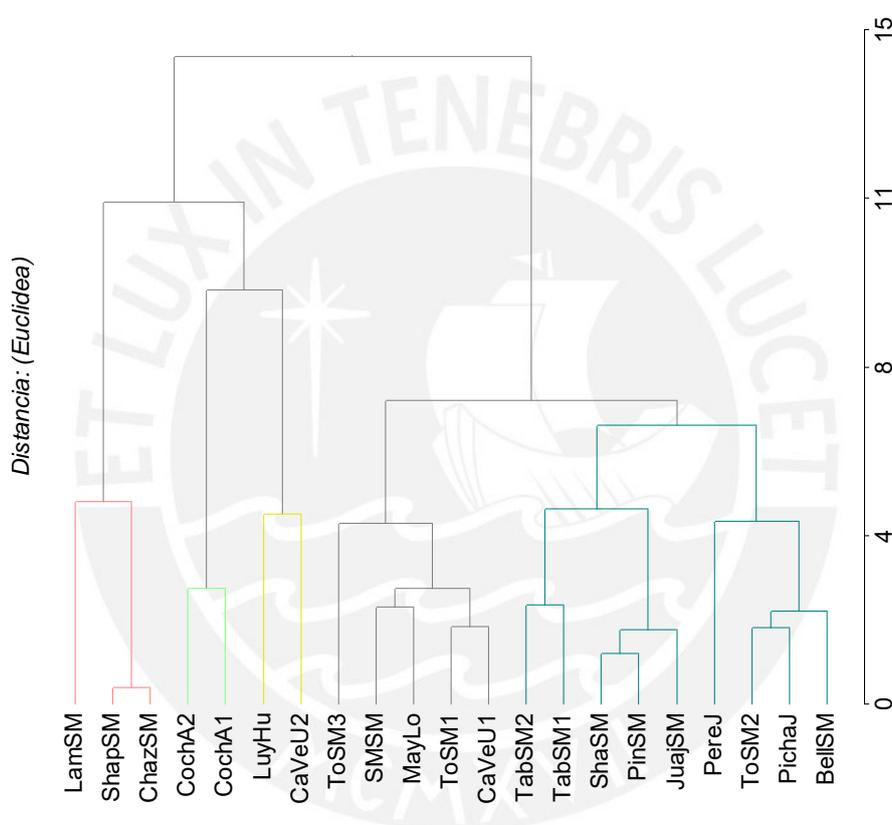


Figura 58. Dendrograma de los 21 aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, según método de Ward y distancia Euclídea.

Los resultados del análisis de conglomerados, construido sobre los once (11) parámetros evaluados a nivel de perfiles de ácidos grasos, permitieron distinguir los aceites crudos de *P. huayllabambana* de la región Amazonas, y la diversidad de aceites crudos de sacha inchi de las otras regiones correspondientes a *P. volubilis*. Desde los clústers de la Figura 58, los aceites crudos de Shapaja y Chazuta de la región San Martín presentan parecidos perfiles de ácidos grasos (*distancia Euclídea*= 0,36), los que asocian

al aceite crudo de las semillas de Lamas, compartiendo triglicéridos con parecida composición de ácidos grasos y los otros parámetros (*Clúster IV*). Bajo esta consideración, los aceites crudos de Cochamal en *P. huayllambana* presentan similares perfiles, según su distancia *Euclídea* de 2,58 entre las muestras (*Clúster V*).

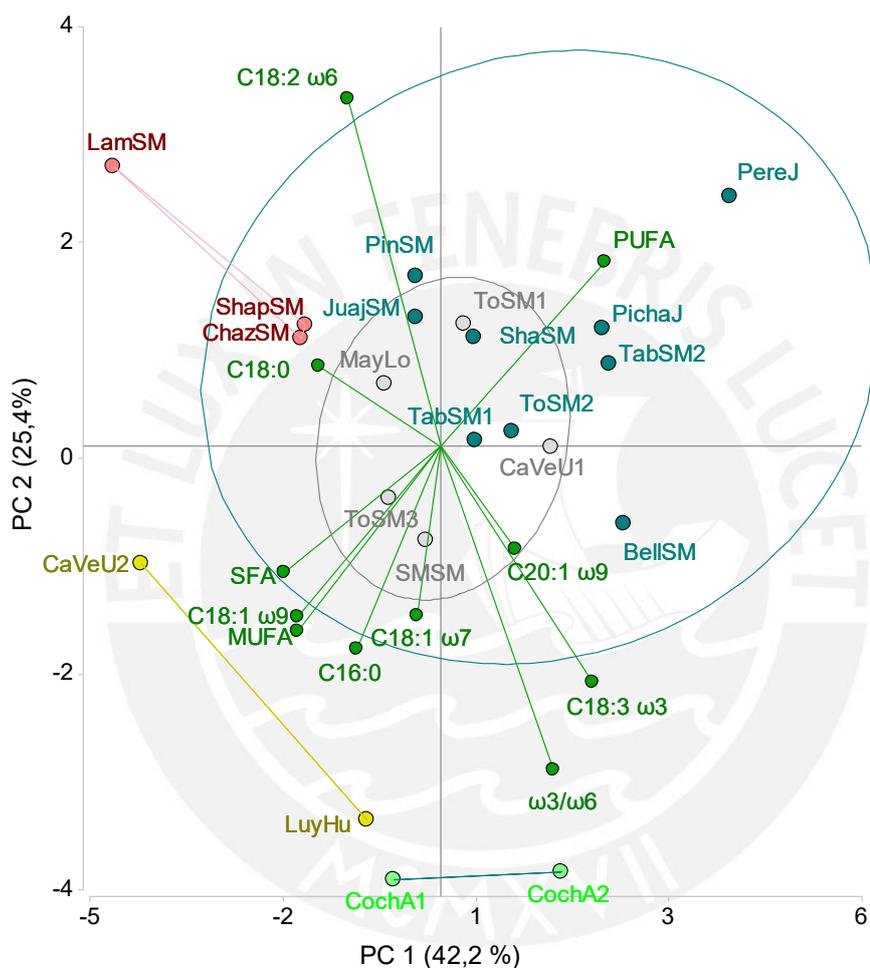


Figura 59. PCA de los 21 aceites crudos *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, según perfiles de ácidos grasos y sus parámetros.

El PCA de los aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, según los perfiles de ácidos grasos, SFAs, MUFAs, PUFAs y la relación $\omega3/\omega6$, de las diferentes regiones colectadas de la Amazonía, se construye en un biplot con los componentes principales PC1 (42,2 %) y PC2 (25,4 %), ver Figura 59. A diferencia del análisis clúster, el PCA ubica la distribución de los diferentes aceites crudos y los parámetros evaluados en el plano

(PC1, PC2) y el espacio (PC1, PC2, PC3). Por ejemplo, para los aceites crudos de *P. huayllabambana* se observan su ubicación relativa entre cuadrantes positivo y negativo de PC1 y valor negativo para PC2, y estos se asocian a las variables ω_3/ω_6 , C18:3 ω_3 , y además se relacionan con el aceite crudo de Luyando de la región Huánuco de *P. volubilis*. Los autovalores, autovectores y correlaciones del PCA se presentaron en la Tabla 18. En la Figura 60 se representa los componentes PC1, PC2 y PC3, que se construyó para conocer las relaciones entre las muestras y variables. La probabilidad total del PCA fue del 92,65 %, y asegura la ubicación de las muestras CochA2, CochA1, BellSM y LuyHu, y su asociación con la relación ω_3/ω_6 y C18:3 ω_3 , confirmando su ubicación en el biplot de la Figura 59. Al respecto no se dispone de antecedentes con aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

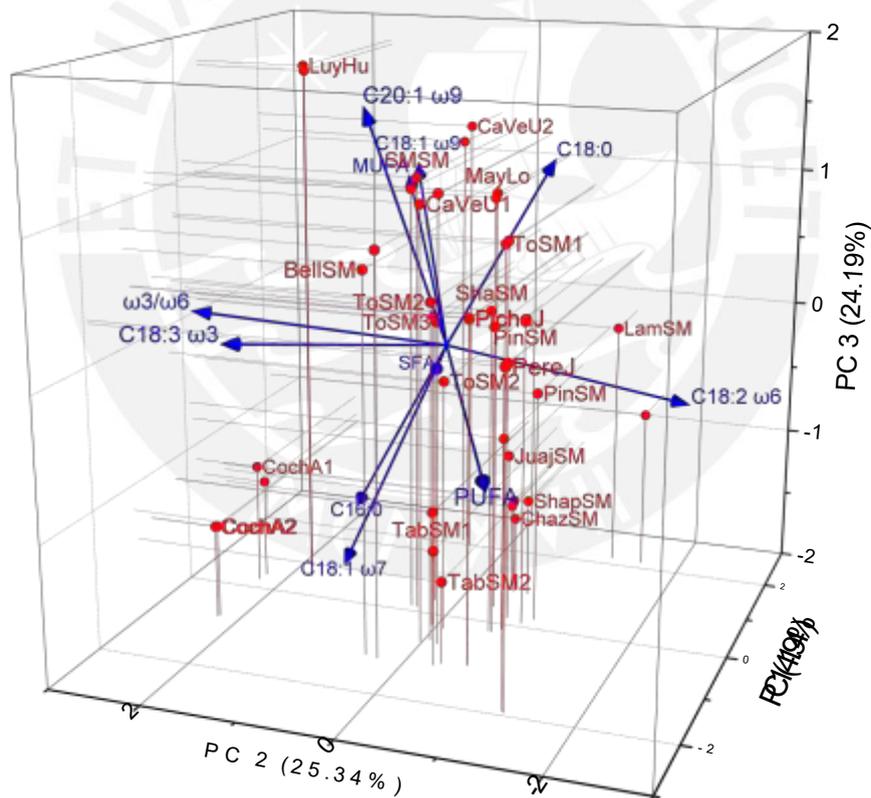


Figura 60. PCA de los 21 aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* (92,65 %).

P. huayllabambana y *P. volubilis* son recursos estratégicos en nuestro país, fuentes importantes de omega-3 que se aprovechan en la actualidad para promover el

desarrollo local y regional de las zonas productoras en nuestra amazonía. Conocer la diversidad de los perfiles de ácidos grasos, SFAs, MUFAs, PUFAs, y relación ω_3/ω_6 de las poblaciones de sachá inchi es importante para su mejoramiento genético, cultivo y sobre todo para la conservación de su diversidad genética y aprovechamiento sostenible (Pusadee *et al.*, 2017). Los análisis clúster y PCA construidos en las Figuras 56 – 60 ponen de manifiesto las relaciones existentes entre los diferentes perfiles de ácidos grasos y sus parámetros de los aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*. Según los clústers identificados (I – V), se observan muestras según localidad de colecta con perfiles de ácidos grasos y sus parámetros con características semejantes/disimilares, que se explican desde:

- i) *Características genéticas*, que se observan en las especies *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, donde los ácidos grasos y sus parámetros distinguieron en el clúster V a la especie *P. huayllabambana* de *P. volubilis*. Al respecto Bazán Cubas (2014), en el estudio de híbridos intraespecíficos en *P. volubilis* mostró la importancia de los progenitores en la obtención de híbridos F1;
- ii) *Características medioambientales*; el clúster I, constituido por las muestras de las localidades de Tabalosos, Shanao, Pinto recodo, Juanjuí, Tocache y Bellavista de la región San Martín, con las muestras del Perené y Pichanaki de la región Junín presentaron características similares a nivel de ácidos grasos y sus parámetros, formando un clúster común, cuya similitudes y diferencias se observaron en otras especies (Abdelghany *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2022). A nivel de semillas no se observaron características similares para el clúster, por lo cual se precisan de estudios complementarios a nivel de caracteres agromorfológicos y marcadores moleculares (de Oliveira *et al.*, 2020), para conocer la diversidad del clúster y su asociación entre las muestras;
- iii) *Interacciones genotipo x ambiente*; las muestras colectadas pertenecen a diferentes genotipos con características singulares cuya expresión fenotípica depende de las condiciones medioambientales. En ese sentido, para el clúster II se observaron muestras de las regiones de San Martín, Loreto y Ucayali, con niveles de ácidos grasos, SFAs, MUFAs, PUFAs y ω_3/ω_6 , con características similares. Al respecto se precisan de estudios complementarios en las regiones estudiadas para observar las interacciones genotipo x ambiente, así como estudios del efecto

de la altura de las zonas productoras sobre los ácidos grasos cuyo efecto se observó en la presente investigación. En otras especies se observaron similares interacciones medioambientales con los genotipos, los cuales afectaron la composición de sus ácidos grasos (Faghim *et al.*, 2021; Popova *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2022);

iv) *Intercambio, comercialización y traslado de semillas*; debido a las actividades productivas de los productores y comunidades. Las actividades de producción y conservación de las semillas de sachá inchi coadyuvaron por ejemplo la conformación del *clúster II*, constituido por muestras de las regiones de San Martín, Loreto y Ucayali.



4. CONCLUSIONES

El análisis de los caracteres morfológicos de las semillas; diámetro, longitud, espesor, peso, peso de cáscara, peso de almendra y rendimiento de almendra, presentó diferencias significativas entre *P. huayllabambana* (2 muestras) y *P. volubilis* (19 muestras), así como entre semillas de la misma especie, según la localización de las regiones consideradas en el estudio, siendo un claro indicador de su diversidad. Las correlaciones entre todos los caracteres fueron significativas con excepción del rendimiento de almendra. El análisis exploratorio de conglomerados y PCA discriminó objetivamente a las especies *P. huayllabambana* y *P. volubilis*. El análisis de conglomerados en *P. volubilis* identificó 5 clústers que representan su diversidad y dispersión a nivel de semillas en las regiones de Huánuco, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali.

Los rangos de rendimiento de aceite crudo estuvieron entre 29,07- 42,97 % y los de grasa total, entre 46,75- 61,02 %. Sus valores correlacionaron positivamente con la altitud, revelando la importancia de la altitud de campos productores de sachá inchi, así como su origen genético. Los valores de índice de refracción y densidad se encontraron entre los valores reportados por la Norma Técnica Peruana (NTP). Los parámetros fisicoquímicos poscosecha de acidez libre, índice de saponificación, índice de yodo, dienos y trienos conjugados, así como índice de peróxido, fueron diferentes en todos los aceites crudos, representando su diversidad, manejo poscosecha y las condiciones mediambientales productivas y genéticas. El análisis de correlación entre dienos conjugados e índice de peróxido fue significativa. El dendrograma y PCA con las variables fisicoquímicas, identificaron cinco (5) clústers, de las 21 muestras colectadas en las regiones de Amazonas, Junín, Loreto, San Martín y Ucayali, para las especies *P. huayllabambana* y *P. volubilis*. Un (01) clúster corresponde a *P. huayllabambana*. El análisis exploratorio de las variables fisicoquímicas del aceite crudo y humedad de almendra, describieron la asociación de las diferentes variables fisicoquímicas en tres (3) clústers.

El perfil y contenido de ácidos grasos en los 21 aceites crudos de sachá inchi reveló diferencias significativas en ácido palmítico, ácido esteárico, ácido *cis*-vaccénico, ácido linoleico, ácido linolénico, ácido eicosenoico, ácidos grasos saturados, ácidos grasos monoinsaturados, ácidos grasos poliinsaturados y relación omega-3/omega-6, entre todos los aceites crudos. La relación omega-3/omega-6 identificó en el estudio, semillas de sachá inchi con contenidos sobresalientes de omega-3 con relaciones superiores a 1,70 en aceites crudos de *P. huayllabamabana* (Cochamal, Amazonas) y *P. volubilis* (Luyando, Huánuco; Bellavista, San Martín), aceites crudos con relaciones entre 1,00 y 1,70 para las regiones de San Martín, Junín, Loreto, y Ucayali, todos correspondientes a *P. volubilis*, y relaciones menores a 1, deficientes en omega-3, en la región San Martín (*P. volubilis*). El análisis de correlación de los ácidos grasos no fue significativo para el ácido palmítico con los ácidos oleico, linoleico y linolénico; ácido esteárico con ácido eicosenoico; ácido oleico con los ácidos *cis*-vaccénico y ácido linoleico; y ácido *cis*-vaccénico con el ácido linolénico. Dendrograma y PCA identificaron tres (3) clústers para las 11 variables evaluadas de los perfiles de ácidos grasos de sachá inchi y parámetros SFAs, MUFAs, PUFAs y relación omega-3/omega-6. Estas variables, a través del análisis de conglomerados y PCA, identificaron la diversidad de los 21 aceites crudos de sachá inchi, en cinco (5) clústers constituidos por: i) aceites crudos de *P. volubilis* del fundo Shapaja (ShapSM) y fundo Chazuta (ChazSM) con el fundo Lamas (LamSM), región San Martín; ii) aceites crudos de *P. huayllambana* de los fundos de Cochamal (Cocha1 y Cocha2) de la región Amazonas; iii) clúster formado por muestras de *P. volubilis* del fundo Luyando (LuyHu) de la región Huánuco y fundo 2 de Campoverde (CaVeU2) de la región Ucayali; iv) clúster diverso formado por 2 subgrupos de *P. volubilis*; y v) clúster diverso y complejo formado por 4 subgrupos de *P. volubilis*. El análisis discriminante confirma la diversidad de ácidos grasos y su distribución. Las correlaciones de los ácidos grasos y sus parámetros con la altitud revelaron correlaciones significativas positivas para el ácido palmítico, ácido *cis*-vaccénico, ácido linolénico y la relación omega-3/omega-6, sugiriendo que su expresión es afectada por su origen y las condiciones medioambientales productivas.

5. RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Validar los resultados de esta investigación utilizando una mayor base genética de las diferentes regiones de nuestro país, e incluir la evaluación nutricional, composición mineral y metabolitos secundarios, para así contar con un registro actualizado de la diversidad fenotípica de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* en nuestro país.
- Implementar investigaciones y proyectos que incluyan estudios a diferentes altitudes productivas para conocer la expresión diferencial de los contenidos de aceites, ácidos grasos y otros metabolitos primarios y secundarios en las semillas de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.
- Implementar experimentos con materiales promisorios según su rendimiento en campo, rendimiento de almendra, rendimiento de aceite crudo/grasa total, alto contenido de ácido linolénico y relaciones omega-3/omega-6 superiores a 1,7; a nivel de programas de mejoramiento genético conducente a la obtención de variedades comerciales en *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.
- Estudiar la variabilidad genética según marcadores moleculares y asociar los resultados a metabolitos primarios y secundarios encontrados a nivel de semillas, realizar estudios transcriptómicos asociados a la expresión de ácido linolénico en *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.
- Actualizar los datos de la Norma Técnica Peruana (NTP) para *P. huayllabambana* y *P. volubilis*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelghany, A. M., Zhang, S., Azam, M., Shaibu, A. S., Feng, Y., Qi, J., Li, Y., Tian, Y., Hong, H., Li, B., y Sun, J. (2019). Natural Variation in Fatty Acid Composition of Diverse World Soybean Germplasms Grown in China. *Agronomy*, 10(1), 24. [https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agronomy10010024](https://doi.org/10.3390/agronomy10010024)
- Alcívar, J. L., Martínez Pérez, M., Lezcano, P., Scull, I., y Valverde, A. (2020). Technical note on physical-chemical composition of Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) cake. *Cuban J. Agric. Sci.*, 54(1), 19–23. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2079-34802020000100019&script=sci_abstract&lng=pt
- Ambulay, J. P., Rojas, P. A., Timoteo, O. S., Barreto, T. V., y Colarossi, A. (2020). Effect of the emulsion of Sacha Inchi (*Plukenetia huayabambana*) oil on oxidative stress and inflammation in rats induced to obesity. *Journal of Functional Foods*, 64(103631). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103631>
- Ambulay, J. P., Rojas, P. A., Timoteo, O. S., Barreto, T. V., Vila, Z. N., De los Santos, M. B., Eguiluz, M., y Colarossi, A. (2021). Oil emulsion from *Plukenetia huayllabambana* (Sacha inchi) modifies nitric oxide and leptin in the liver and antioxidant and inflammation markers in the adipose tissue in obese rats. *Functional Foods in Health and Disease*, 11(3), 92–103. <https://doi.org/10.31989/FFHD.V11I3.778>
- Andersen, P. C., y Gorbet, D. W. (2002). Influence of year and planting date on fatty acid chemistry of high oleic acid and normal peanut genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(5), 1298–1305. <https://doi.org/10.1021/jf0113171>
- AOAC. (1990). Official Methods of Analytical Chemistry. In *Association of Official Analytical Chemistry*. (p. 1). Washinton D. C. EUA.
- Aquino Méndez, E. M. (2015). *Optimización del proceso de extracción de las proteínas de la torta de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.)* (Universidad Nacional Agraria la Molina). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1926>
- Aranda-Ventura, J., Villacrés-Vallejo, J., y Rios-Isern, F. (2019). Composición química, características físico-químicas, trazas metálicas y evaluación genotóxica del aceite de *Plukenetia volubilis* L. (sacha inchi). *Revista Peruana de Medicina Integrativa*,

- 4(1), 4–14. <https://doi.org/10.26722/rpmi.2019.41.103>
- Arévalo, G. (1996). *El Cultivo del Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) en la Amazonia* (Instituto Nacional de investigación Agraria, Ed.). Recuperado de https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/944/1/Arevalo-El_cultivo_de_Sacha_Inchi_en_la_Amazonia.pdf
- Arfini, F., y Antonioli, F. (2013). *Sacha Inchi. Investigación sobre las condiciones para el reconocimiento de la indicación Geográfica en el Perú* (Centro de; Centro de Investigación Educación y Desarrollo - CIED, Ed.). Recuperado de <http://hdl.handle.net/11381/2699296>
- Ayala Martínez, G. A. (2016). *Análisis de crecimiento y producción de 3 variedades de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.), en el municipio de Tena Cundinamarca* (Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A). Recuperado de <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/487>
- Balta Crisologo, R. A. (2013). *Curva de absorción del nitrógeno (N) por el cultivo de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) bajo condiciones de Bello Horizonte- Tarapoto* (UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA). Recuperado de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/356>
- Bazán Cubas, J. A. (2014). *Obtención de híbridos intraespecífico F1 a partir de seis líneas autofecundadas S3 de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) mediante un análisis dialélico en la región San Martín* (Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto). Recuperado de <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3413>
- Bioversity International. (2007). Guidelines for the development of crop descriptor lists. *Bioversity Technical Bulletin Series*, (13), 84. Recuperado de https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/Developing_crop_descriptor_lists_1226.pdf
- Blondeau, N., Lipsky, R. H., Bourourou, M., Duncan, M. W., Gorelick, P. B., y Marini, A. M. (2015). Alpha-linolenic acid: An omega-3 fatty acid with neuroprotective properties - Ready for use in the stroke clinic? *BioMed Research International*, 2015, 8. <https://doi.org/10.1155/2015/519830>
- Bondioli, P., Della Bella, L., y Rettke, P. (2006). Alpha linolenic acid rich oils. Composition of *Plukenetia volubilis* (Sacha Inchi) oil from Perú. *Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse*, 83, 120–123.

- Brack Egg, A. (1999). *Diccionario enciclopédico de plantas útiles del Perú* (1ra ed.; A. Brack Egg, Ed.). Recuperado de <https://www.cbc.org.pe/producto/diccionario-enciclopédico-de-plantas-útiles-del-peru/>
- Brako, L., y Zarucchi, J. L. (1993). *Catalogue of the flowering plants and Gymnosperms of Peru. Catálogo de las Angiospermas y Gimnospermas del Perú* (Missouri B; Missouri Botanical Garden, Ed.). Recuperado de <https://www.missouribotanicalgarden.org/>
- Brock, J. R., Scott, T., Lee, A. Y., Mosyakin, S. L., y Olsen, K. M. (2020). Interactions between genetics and environment shape Camelina seed oil composition. *BMC Plant Biology*, 20(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02641-8>
- Bushita, H., Ito, Y., Saito, T., Nukada, Y., Ikeda, N., Nakagiri, H., Saito, K., y Morita, O. (2018). A 90-day repeated-dose toxicity study of dietary alpha linolenic acid-enriched diacylglycerol oil in rats. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 97, 33–47. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2018.05.017>
- Bussmann, R. W., Téllez, C., y Glenn, A. (2009). Plukenetia huayllabambana sp. nov. (Euphorbiaceae) from the upper Amazon of Peru. *Nordic Journal of Botany*, 27, 313–315. <https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.2009.00460.x>
- Cachique, D., Rodríguez, Á., Ruíz-Solsol, H., Vallejos, G., y Solis, R. (2011). Propagación vegetativa del sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) mediante enraizamiento de estacas juveniles en cámaras de subirrigación en la Amazonía peruana. *Folia Amazónica*, 20(1–2), 95–100. <https://doi.org/10.24841/fa.v20i1-2.348>
- Cachique Huansi, D., Ruíz Solsol, H., García Sanchez, M. A., Hidalgo Ganoza, L. M., Vallejos Torres, G., y Del Castillo Torres, D. (2010). *Propagación vegetativa del Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.)*. Recuperado de <http://www.iiap.org.pe/Upload/Publicacion/PUBL1217.pdf>
- Cai, Z. Q., Zhang, T., y Jian, H. Y. (2013). Chromosome number variation in a promising oilseed woody crop, Plukenetia volubilis L. (Euphorbiaceae). *Caryologia*, 66(1), 54–58. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1080/00087114.2013.780442>
- Campos Leandro, H. H. (2012). *Identificación y estudio de la biología de Gymnandrosoma aurantianum Costa Lima “Perforador del fruto de sachá inchi” (Plukenetia volubilis L.) en Tingo María* (Universidad Nacional Agraria de la Selva). Recuperado de <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/146>
- Cárdenas Proaño, V. S. (2015). *Elaboración y caracterización de una bebida a partir de la*

- semilla de sacha inchi (Plukenetia volubilis L.)* (UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR). Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/5982>
- Cardinal-McTeague, W. M., y Gillespie, L. J. (2016). Molecular Phylogeny and Pollen Evolution of Euphorbiaceae Tribe Plukenetieae. *Systematic Botany*, 41(2), 329–347. <https://doi.org/https://doi.org/10.1600/036364416X691759>
- Castaño, D. L., Valencia G., M. del P., Murillo P., E., Mendez, J. J., y Joli, J. E. (2012). Composición de ácidos grasos de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) y su relación con la bioactividad del vegetal. *Rev Chil Nutr*, 39(1), 45–52. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182012000100005>
- Castillo Saavedra, Ericson Felix, Castillo Viera, Segundo Felix, y Reyes Alfaro, C. E. (2010). Estudio fitoquímico de *Plukenetia volubilis* L. y su efecto antioxidante en la lipoperoxidación inducida por Fe /ascorbato en hígado de *Rattus rattus* var. *albinus*. *UCV - Scientia*, 2(1), 11–21. Recuperado de <http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/UCV-SCIENTIA/article/view/475/349>
- Castro Sánchez, M. M. (2013). *Tolerancia del sacha inchi (Plukenetia volubilis L.), a nemátodos fitoparásitos del género Meloydogyne spp, bajo condiciones de invernadero en la Estación Experimental Agraria "EL PORVENIR" - Juan Guerra* (Universidad Nacional de San Martín). Recuperado de <http://hdl.handle.net/11458/1174>
- Chasquibol, N. A., Del Aguila, C., Yácono, J. C., Guinda, Á., Moreda, W., Gómez-Coca, R. B., y Pérez-Camino, M. C. (2014). Characterization of glyceridic and unsaponifiable compounds of Sacha inchi (*Plukenetia huayllabambana* L.) oils. *J. Agric. Food Chem*, 62, 10162–10169. <https://doi.org/10.1021/jf5028697>
- Chasquibol, N., Pérez-Camino, M. C., Guinda, Á., Del Águila, C., y Yácono, J. c. (2013). Optimización del proceso de extracción de semilla de sacha inchi (*Plukenetia huayllabambana*). Mejora del rendimiento, la calidad y la estabilidad de los aceites. In *Mesa de investigadores IDIC, 2013*. Recuperado de <https://www.ulima.edu.pe/en/node/3705>
- Chaves, H., Singh, R. B., Khan, S., Wilczynska, A., y Takahashi, T. (2018). High omega-6/omega-3 fatty acid ratio diets and risk of noncommunicable diseases: Is the tissue, the main issue? In *The Role of Functional Food Security in Global Health*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813148-0.00014-1>

- Chirinos, R., Pedreschi, R., Domínguez, G., y Campos, D. (2015). Comparison of the physico-chemical and phytochemical characteristics of the oil of two *Plukenetia* species. *Food Chemistry*, *173*, 1203–1206.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.120>
- Chirinos, R., Zuloeta, G., Pedreschi, R., Mignolet, E., Larondelle, Y., y Campos, D. (2013). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*): A seed source of polyunsaturated fatty acids, tocopherols, phytosterols, phenolic compounds and antioxidant capacity. *Food Chemistry*, *141*, 1732–1739. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.078>
- Cicatelli, A., Fortunati, T., De Feis, I., y Castiglione, S. (2013). Oil composition and genetic biodiversity of ancient and new olive (*Olea europea* L.) varieties and accessions of southern Italy. *Plant Science*, *210*, 82–92.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.05.011>
- Cisneros, F. H., Paredes, D., Arana, A., y Cisneros-Zevallos, L. (2014). Chemical composition, oxidative stability and antioxidant capacity of oil extracted from roasted seeds of Sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *62*(22), 5191–5197. <https://doi.org/10.1021/jf500936j>
- Coronado Rangel, N. (2018). Evaluación de características morfológicas y niveles de infección fúngica natural en la germinación de semillas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) provenientes de diferentes regiones de Colombia (Universidad de Santander). Recuperado de <https://repositorio.udes.edu.co/handle/001/4345>
- Cuppett, S. L. (2001). Oil Quality Indices. In J. Whitaker (Ed.), *Current Protocols in Food Analytical Chemistry* (John Wiley, p. D1.4.1-D1.4.12).
<https://doi.org/10.1002/0471142913.faf00000>
- Dávila Paico, S. R. (2015). *Estudio comparativo de la toxicidad aguda y del efecto antiinflamatorio de los aceites de sachá inchi (Plukenetia volubilis y Plukenetia huayllabambana) en ratones* (Universidad Peruana Cayetano Heredia). Recuperado de <http://repositorio.upch.edu.pe/handle/upch/294>
- de Oliveira, G. L., de Souza, A. P., de Oliveira, F. A., Zucchi, M. I., de Souza, L. M., y Moura, M. F. (2020). Genetic structure and molecular diversity of Brazilian grapevine germplasm: Management and use in breeding programs. *PLoS ONE*, *15*(10), 1–26. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240665>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C.

- W. (2008). *InfoStat, versión 2008*. Córdoba, Argentina.
- Díaz Tangoa, J. L. (2011). *Reproducción asexual por estacas del cultivo de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.), ecotipo Pinto recodo, en la región Ucayali* (Universidad Nacional de Ucayali). Recuperado de <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/2239>
- Dieffenbacher, A., y Pocklington, W. D. (1992). *Standard Methods for the Analysis of Oils, Fats and Derivatives* (7th Revise, Vol. 1; B. S. Publications, Ed.). Blackwell Scientific PublicationsPublishing Ltd.
- Ding, Y., Neo, M., Hu, Y., Shi, L., Ma, C., y Liu, Y.-J. (2012). Characterization of fatty acid composition from five perilla seed oils in China and its relationship to annual growth temperature. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(9), 1645–1651. <https://doi.org/10.5897/JMPR11.1436>
- do Prado, I. M., Giufrida, W. M., Alvarez, V. H., Cabral, V. F., Quispe-Condori, S., Saldaña, M. D. A., y Cardozo-Filho, L. (2011). Phase equilibrium measurements of sachá inchi oil (*Plukenetia volubilis*) and CO₂ at high pressures. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88, 1263–1269. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11746-011-1786-z>
- do Rêgo, E. R., do Rêgo, M. M., Cruz, C. D., Finger, F. L., y Casali, V. W. D. (2011). Phenotypic diversity, correlation and importance of variables for fruit quality and yield traits in Brazilian peppers (*Capsicum baccatum*). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 58(6), 909–918. <https://doi.org/10.1007/s10722-010-9628-7>
- Dostert, N., Roque, J., Brokamp, G., Cano, A., La Torre, M. I., y Maximilian, W. (2009). *Proyecto: Desarrollo de monografías botánicas (factsheets) para cinco cultivos peruanos - Factsheet: Datos botánicos de Sachá Inchi Plukenetia volubilis L.* Recuperado de http://www.botconsult.com/downloads/Sacha_Inchi_Factsheet_final.pdf
- El Riachy, M., Hamade, A., Ayoub, R., Dandachi, F., y Chalak, L. (2019). Oil content, fatty acid and phenolic profiles of some olive varieties growing in Lebanon. *Frontiers in Nutrition*, 6(July). <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00094>
- Faghim, J., Mohamed, M. Ben, Bagues, M., Nagaz, K., Triki, T., y Guasmi, F. (2021). Irrigation effects on phenolic profile and extra virgin olive oil quality of “Chemlali” variety grown in South Tunisia. *South African Journal of Botany*, 141, 322–329.

- <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.05.009>
- Fanali, C., Dugo, L., Cacciola, F., Beccaria, M., Grasso, S., Dachà, M., Dugo, P., y Mondello, L. (2011). Chemical characterization of Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(24), 13043–13049. <https://doi.org/10.1021/jf203184y>
- Fatima, T., Snyder, C. L., Schroeder, W. R., Cram, D., Datla, R., Wishart, D., Weselake, R.J., y Krishna, P. (2012). Fatty Acid Composition of Developing Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) Berry and the Transcriptome of the Mature Seed. *PLoS ONE*, 7(4), e34099. <https://doi.org/https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0034099>
- Fedacko, J., Vargova, V., Singh, R. B., Anjum, B., Takahashi, T., Tongnuka, M., Dharwadkar, S., Singh, S, Singh, V, Kulshresth S.K., Meester, F., y Wilson, D. W. (2012). Association of high w-6/w-3 fatty acid ratio diet with causes of death due to noncommunicable diseases among urban decedents in north India. *Open Nutraceuticals Journal*, 5(1876-3960/12), 113–123. <https://doi.org/10.2174/1876396001205010113>
- Flores, D. (2010). Uso Histórico : Sacha Inchi. In *Proyecto Perubiodiverso*. Recuperado de http://repositorio.promperu.gob.pe/bitstream/handle/123456789/1371/Uso_histórico_sacha_inchi_2010_keyword_principal.pdf?sequence=1
- Flores, D., y Lock, O. (2013). Revalorizando el uso milenario del sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) para la nutrición, la salud y la cosmética. *Revista de Fitoterapia*, 13(1), 23–30. Recuperado de https://www.fitoterapia.net/php/descargar_documento.php?id=4361&doc_r=sn&num_volumen=33&secc_volumen=5963
- Flores, S., Flores, A., Calderón, C., y Obregón, D. (2019). Synthesis and characterization of sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil-based alkyd resin. *Progress in Organic Coatings*, 136(105289), 9. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.105289>
- Follegatti-Romero, L. A., Piantino, C. R., Grimaldi, R., y Cabral, F. A. (2009). Supercritical CO₂ extraction of omega-3 rich oil from Sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds. *Journal of Supercritical Fluids*, 49, 323–329. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2009.03.010>
- Garmendia, F., Pando, R., y Ronceros, G. (2011). Effect of sachá inchi oil (*Plukenetia*

- volúbilis L) on the lipid profile of patients with Hyperlipoproteinemia. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 28(4), 628–632. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342011000400009
- Ghafoor, K., Ahmed, I. A. M., Özcan, M. M., Al-Juhaimi, F. Y., Babiker, E. E., y Azmi, I. U. (2020). An evaluation of bioactive compounds, fatty acid composition and oil quality of chia (*Salvia hispanica* L.) seed roasted at different temperatures. *Food Chemistry*, 333(127531).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127531>
- Gibson, R. A., Neumann, M. A., Lien, E. L., Boyd, K. A., y Tu, W. C. (2013). Docosahexaenoic acid synthesis from alpha-linolenic acid is inhibited by diets high in polyunsaturated fatty acids. *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 88, 139–146. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plefa.2012.04.003>
- Gillespie, L. J. (2007a). A Revision of Paleotropical Plukenetia (Euphorbiaceae) including Two New Species from Madagascar. *Systematic Botany*, 32(4), 780–802. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/25064293>
- Gillespie, L. J. (2007b). *About SupportLog in Register Publisher Information Rights & Usage*.
- Gong, H.-D., Geng, Y.-J., Yang, C., Jiao, D.-Y., Chen, L., y Cai, Z.-Q. (2018). Yield and resource use efficiency of *Plukenetia volubilis* plants at two distinct growth stages as affected by irrigation and fertilization. *Scientific Reports*, 8(80), 1–14.
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-18342-6>
- Gonzales, G. F., y Gonzales, C. (2014). A randomized, double-blind placebo-controlled study on acceptability, safety and efficacy of oral administration of sacha inchi oil (*Plukenetia volubilis* L.) in adult human subjects. *Food and Chemical Toxicology*, 65, 168–176. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.12.039>
- Gonzalez-Aspajo, G., Belkhelfa, H., Haddioui-Hbabi, L., Bourdy, G., y Deharo, E. (2015). Sacha Inchi Oil (*Plukenetia volubilis* L.), effect on adherence of *Staphylococcus aureus* to human skin explant and keratinocytes in vitro. *Journal of Ethnopharmacology*, 171, 330–334. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.06.009>
- Gora, J. S., Kumar, R., Sharma, B. D., Ram, C., y Kumar, K. (2018). Determination of morphological diversity for seed and seedling characteristics in citrus rootstocks.

International Journal of Chemical Studies, 6(6), 2921–2926.

- Gorriti, A., Arroyo, J., Quispe, F., Cisneros, B., Condorhuamán, M., Almora, Y., y Chumpitaz, V. (2010). Oral toxicity at 60-days of sacha inchi oil (*Plukenetia volubilis* L.) and linseed (*Linum usitatissimum* L.), and determination of lethal dose 50 in rodents. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, 27(3), 352–360. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342010000300007
- Grandéz Muñoz, E., y Coronado Chingo, D. (2015). Proyecto de prefactibilidad para la instalación de una planta para extracción de aceite de semilla de Sacha inchi (*Plukenetia huayllabambana* sp.nov.) procedente de la provincia de Rodríguez de Mendoza-Región Amazonas (Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas). Recuperado de <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/681>
- Grasso, F., Paduano, A., Corrado, G., Ambrosino, M. L., Rao, R., y Sacchi, R. (2016). DNA diversity in olive (*Olea europaea* L.) and its relationships with fatty acid, biophenol and sensory profiles of extra virgin olive oils. *Food Research International*, 86, 121–130. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.06.005>
- Grosso, N. R., Lamarque, A., Maestri, D. M., Zygadlo, J. A., y Guzmán, C. A. (1994). Fatty acid variation of runner peanut (*Arachis hypogaea* L.) among geographic localities from Córdoba (Argentina). *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 71(5), 541–542. <https://doi.org/10.1007/BF02540669>
- Guillén, M. D., Ruiz, A., Cabo, N., Chirinos, R., y Pascual, G. (2003). Characterization of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Oil by FTIR Spectroscopy and ¹H NMR. Comparison with Linseed Oil. *JAOCS*, 80(8), 755–762. <https://doi.org/10.1007/s11746-003-0768-z>
- Gutiérrez, L. F., Quiñones-Segura, Y., Sanchez-Reinoso, Z., Díaz, D. L., y Abril, J. I. (2017). Physicochemical properties of oils extracted from γ -irradiated Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds. *Food Chemistry*, 237, 581–587. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.148>
- Gutiérrez Suquillo, N. R., Saa Arevalo, I. A., y Vinueza Lozada, A. F. (2017). Diseño y construcción de un prototipo para la extracción continua de aceite de la semilla Sacha Inchi con un proceso de prensado en frío (Design and construction of a

- prototype for the continuous extraction of Sacha Inchi seed oil with a cold pressing process. *Enfoque UTE*, 8-N.2(2), 15–32. Recuperado de <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>
- Hamaker, B. R., Valles, C., Gilman, R., Hardmeier, R. M., Clark, D., García, H. H., Gonzales, A.E., Kohlstad, I., Castro, M., Valdivia, R., Rodriguez, T., y Lescano, M. (1992). Amino Acid and Fatty Acid profiles of inca peanut (*Plukenetia volubilis*). *Cereal Chem.*, 69(4), 461–463.
- Hanssen, H. P., y Schmitz-Hübsch, M. (2011). Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Nut Oil and Its Therapeutic and Nutritional Uses. In V. Preedy, R. Watson, y V. Patel (Eds.), *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention* (1st ed., pp. 991–994). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375688-6.10117-3>
- He, X., Li, D.-Z., y Tian, B. (2021). Diversity in seed oil content and fatty acid composition in Acer species with potential as sources of nervonic acid. *Plant Diversity*, 43(1), 86–92. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pld.2020.10.003>
- Huamán, J., Chávez, K., Castañeda, E., Carranza, S., Chávez, T., Beltrán, Y., Caffo, C., Cadillo, R., y Cadenillas, J. (2008). Efecto de la *Plukenetia volubilis* Linneo (sacha inchi) en la trigliceridemia posprandial. *An Fac Med.*, 69(4), 263–266. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1025-55832008000400008&script=sci_abstract
- Huerta-Yépez, S., Tirado-Rodriguez, A. B., y Hankinson, O. (2016). Papel de las dietas ricas en omega-3 y omega-6 en el desarrollo del cáncer. *Boletín Médico Del Hospital Infantil de México*, 73(6), 446–456. <https://doi.org/10.1016/j.bmhimx.2016.11.001>
- Hurtado Ordoñez, Z. A. (2013). *Análisis composicional de la torta y aceite de semillas de sacha inchi (Plukenetia volubilis) cultivada en Colombia* (Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21717>
- IIAP. (2009). *Estudio de viabilidad económica del cultivo de Plukenetia volubilis Linneo, Sacha inchi en el departamento de San Martín* (Primera ed; Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - IIAP, Ed.). Recuperado de <http://www.iiap.org.pe/cdpublicaciones2011/documentos/pdf/analisis/3.pdf>
- INDECOPI. (2010). *NTP 151.400:2009 Aceite de Sacha Inchi. Requisitos* (No. R.035-2009/INDECOPI-CNB. Publicada el 2010-02-20. I.C.S:67.200). Recuperado de

- <https://fdocuments.es/document/ntp-1514002009.html>
- Iparraquirre Chipana, K. (2019). *Contribución al estudio de la vida útil de los aceites de sacha inchi (Plukenetia huayllabambana y P. volubilis) microencapsulados y su importancia en la industria alimentaria* (Universidad de Lima). Recuperado de https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/9337/Iparraquirre_Chipana_Karen_Julissa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Iqbal, M., Akhtar, N., Zafar, S., y Ali, I. (2008). Genotypic responses for yield and seed oil quality of two Brassica species under semi-arid environmental conditions. *South African Journal of Botany*, 74(4), 567–571. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2008.02.003>
- Ixtaina, V. Y., Vega, A., Nolasco, S. M., Tomás, M. C., Gimeno, M., Bárzana, E., y Tecante, A. (2010). Supercritical carbon dioxide extraction of oil from Mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.): Characterization and process optimization. *Journal of Supercritical Fluids*, 55, 192–199. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2010.06.003>
- Kim, K.-B., Nam, Y. A., Kim, H. S., Hayes, A. W., y Lee, B.-M. (2014). α -Linolenic acid: Nutraceutical, pharmacological and toxicological evaluation. *Food and Chemical Toxicology*, 70, 163–178. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.05.009>
- Kochhar, S. P. (2011). Minor and Speciality Oils. In F. D. Gunstone (Ed.), *Vegetable Oils in Food Technology* (Second Ed., p. 367). <https://doi.org/10.1002/9781444339925>
- Kodahl, N. (2020). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.)—from lost crop of the Incas to part of the solution to global challenges? *Planta*, 251(80), 1–22. <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03377-3>
- Krivankova, B., Cepkova, P. H., Ocelak, M., Juton, G., Bechyne, M., y Lojka, B. (2012). Preliminary study of diversity of *Plukenetia volubilis* based on the morphological and genetic characteristics. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 45(3), 140–146. <https://doi.org/10.2478/v10295-012-0023-6>
- Kumar, B., Smita, K., Cumbal, L., y Debut, A. (2014). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil for one pot synthesis of silver nanocatalyst: An ecofriendly approach. *Industrial Crops and Products*, 58, 238–243. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.04.021>
- Kumar, B., Smita, K., Debut, A., y Cumbal, L. (2020). Leaf-Mediated Synthesis of Cu₂O Nanoparticles: A Low-Cost Approach. *Bioengineering*, 7(54), 10. Recuperado de www.mdpi.com/journal/bioengineering

- Kumar, B., Smita, K., Sánchez, E., Stael, C., y Cumbal, L. (2016). Andean Sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) shell biomass as new biosorbents for Pb²⁺ and Cu²⁺ ions. *Ecological Engineering*, 93, 152–158.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.034>
- La Rosa, R., y Quijada, J. (2013). Germination of Sacha Inchi, Plukenetia Volubilis L. (Mcbride, 1951) (Malpighiales, Euphorbiaceae) Under Four Different Conditions. *The Biologist*, 11(1), 9–14.
- Lakkhana, C., Atong, D., y Sricharoenchaikul, V. (2017). Fuel Gas Generation from Gasification of Sacha Inchi Shell using a Drop Tube Reactor. *Energy Procedia*, 138, 870–876. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.109>
- Landoni, L., Alarcon, R., Vilca, L., Chasquibol, N., Pérez-Camino, M. C., y Gallardo, G. (2020). Physicochemical characterization and oxidative stability of microencapsulated edible sachá inchi seed oil by spray drying. *Grasas y Aceites*, 71(4), 1–10. <https://doi.org/10.3989/gya.1028192>
- Liu, G., Wu, Z., Peng, Y., Shang, X., Xie, Y., y Arnold, R. J. (2020). Transcriptome analyses reveals the dynamic nature of oil accumulation during seed development of Plukenetia volubilis L. *Scientific Reports*, 10(1), 1–17.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-77177-w>
- López, K., Santa Cruz, C., y Gutiérrez, A. (2016). Perfil de proteínas de las semillas de “Sacha inchi” (Plukenetia volubilis L. y Plukenetia Huayllabambana Bussmann, Téllez & Glenn). *The Biologist*, 14(1), 11–20. Recuperado de <http://revistas.unfv.edu.pe/index.php/rtb/issue/view/69/showToc>
- Luo, Y., Pan, B. Z., Li, L., Yang, C. X., y Xu, Z. F. (2020). Developmental basis for flower sex determination and effects of cytokinin on sex determination in Plukenetia volubilis (Euphorbiaceae). *Plant Reproduction*, 33(1), 21–34.
<https://doi.org/10.1007/s00497-019-00382-9>
- Macbride, J. F. (1951). *Euphorbiaceae* (M. J.F., Ed.). Recuperado de <http://conosur.floraargentina.edu.ar/species/details/bibliography/1921/1886>
- Marmesat, S., Morales, A., Velasco, J., Ruiz-Méndez, M. V., y Dobarganes, M. C. (2009). Relationship between changes in peroxide value and conjugated dienes during oxidation of sunflower oils with different degree of unsaturation. *Grasas y Aceites*, 60(2), 155–160. <https://doi.org/10.3989/gya.096908>

- Marotta Lima, B. T., Takahashi, N. S., Tabata, Y. A., Hattori, R. S., da Silva Ribeiro, C., y Guimarães Moreira, R. (2019). Balanced omega-3 and -6 vegetable oil of Amazonian sacha inchi act as LC-PUFA precursors in rainbow trout juveniles: Effects on growth and fatty acid biosynthesis. *Aquaculture*, 509, 236–245. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.05.004>
- Maurer, N. E., Hatta-Sakoda, B., Pascual-Chagman, G., y Rodriguez-Saona, L. E. (2012). Characterization and authentication of a novel vegetable source of omega-3 fatty acids, sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. *Food Chemistry*, 134(2), 1173–1180. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.143>
- Merino-Zegarra, C., Vásquez-Ocmín, P., Maco, M., Del Castillo-Torres, D., Vásquez, G., Cachique, D., Pasquel, A., y Sotero-Solís, V. (2008). Caracterización química de nueve accesiones de *Plukenetia volubilis* L. de los departamentos de Loreto y San Martín. *Folia Amazónica*, Vol. 17, pp. 39–45. <https://doi.org/10.24841/fa.v17i1-2.265>
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo Perú (MINCETUR). (2016). Perfil del Producto: Aceite y Grano Tostado Aceite y Grano Tostado de Sacha Inchi. In *Ministerio de Comercio Exterior y Turismo*. Recuperado de https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/plan_exportador/Penx_2025/PDM/canada/images/files/pdf/html5/pp9/mobile/index.html#p=1
- Montes Osorio, L. R., Torres Salvador, A. F., Jongschaap, R. E. E., Azurdia Perez, C. A., Berduo Sandoval, J. E., Trindade, L. M., Gerardus, R., Viesser, F., y Van Loo, E. N. (2014). High level of molecular and phenotypic biodiversity in *Jatropha curcas* from Central America compared to Africa, Asia and South America. *BMC Plant Biology*, 14(1), 1–19. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-77>
- Mostacero León, J., Mejía Coico, F., y Gamarra Torres, O. (2002). *Taxonomía de las fanerógamas útiles del Perú. Vol I* (Concytec; Concytec, Ed.). Recuperado de http://biblioteca.cultura.pe:8020/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=2628&shelfbrowse_itemnumber=4051
- Muñoz Jáuregui, M. A., Alvarado-ortiz Ureta, C., Castañeda Castañeda, B., Lizaraso Caparó, F., Barnett Mendoza, E., Cárdenas Lucero, L., y Manco Céspedes, E. (2013). Estudio nutricional de *Plukenetia huayllabambana* sp. nov. *Revista de La Sociedad*

- Química Del Perú*, 79(1), 47–56. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2013000100007
- Mwine, J. T., y Van Damme, P. (2011). Why do euphorbiaceae tick as medicinal plants? a review of euphorbiaceae family and its medicinal features. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(5), 652–662.
- Nguemeni, C., Goux, E., Bourourou, M., Heurteaux, C., y Blondeau, N. (2013). Alpha-linolenic acid: A promising nutraceutical for the prevention of stroke. *PharmaNutrition*, 1, 1–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.phanu.2012.12.002>
- Nguyen, H. C., Vuong, D. P., Nguyen, N. T. T., Nguyen, N. P., Su, C. H., Wang, F. M., y Juan, H. Y. (2020). Aqueous enzymatic extraction of polyunsaturated fatty acid-rich sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seed oil: An eco-friendly approach. *LWT - Food Science and Technology*, 133, 109992. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109992>
- Niu, L., Li, J., Chen, M. S., y Xu, Z. F. (2014). Determination of oil contents in Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) seeds at different developmental stages by two methods: Soxhlet extraction and time-domain nuclear magnetic resonance. *Industrial Crops and Products*, 56, 187–190. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.03.007>
- Oliveras, M. J. (2005). *Calidad del aceite de oliva del aceite de oliva virgen extra. Antioxidantes y función biológica* (Universidad de Granada). Recuperado de <http://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/746/15519387.pdf;jsessionid=DF255BD9DAD6BEF7DECE23F0B5381370?sequence=1>
- Paquot, C. (1979). Standard Methods for the Analysis of Oils, Fats and Derivatives. In *INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY, APPLIED CHEMISTRY DIVISION, COMMISSION ON OILS, FATS AND DERIVATIVES* (Vol. 1). Recuperado de <https://www.elsevier.com/books/standard-methods-for-the-analysis-of-oils-fats-and-derivatives/paquot/978-0-08-022379-7>
- Pascual Ch., G., y Molina S., S. (2007). Determinación de parámetros de extracción y caracterización de aceite a partir de dos variedades de maní (*Arachis hipogaea*) c.v. Casma Italiano y c.v. Colec I-95/50. *Anales Científicos de La Universidad Nacional Agraria La Molina*, 68(3), 216. Recuperado de www.lamolina.edu.pe/investigacion
- Pegg, R. B. (2001). Measurement Of Primary Lipid Oxidation Products. In J. Whitaker

- (Ed.), *Current Protocols in Food Analytical Chemistry* (p. D2.1.1-D2.1.15).
<https://doi.org/10.1002/0471142913.fafores00>
- Peña Guerra, S., Lara Cabezas, I., Zárata Lázaro, P., Lolay Albornoz, M., y Marín Sanz, P. (2008). *Protocolo del cultivo de Sacha inchi (Plukenetia volubilis L.)*. Subproyecto: *adaptación y validación participativa e paquete tecnológico para la producción competitiva del Sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) en la cuenca del Perené*. Recuperado de <https://docplayer.es/43601430-Protocolo-del-cultivo-de-sacha-inchi.html>
- Pérez Meza, P. (2011). *Evaluación de la Calidad del Suelo en Relación al Cultivo de Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) en Tingo María* (Universidad Nacional Agraria de la Selva). Recuperado de <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/902>
- Pezo, M., Márquez-Dávila, K., y Solis, R. (2019). Gibberellic acid increases the yield of adult plants of sacha inchi (*Plukenetia volubilis*). *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 455–460. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.01>
- Poiana, M., y Mincione, A. (2004). Fatty acids evolution and composition of olive oils extracted from different olive cultivars grown in Calabrian area. *Grasas y Aceites*, 55(3), 282–290. <https://doi.org/10.3989/gya.2004.v55.i3.190>
- Popova, G. A., Rogalskaya, N. B., Knyazeva, N. V., Trofimova, V. M., Shelenga, T. V., Porokhvinova, E. A., y Brutch, N. B. (2021a). The impact of weather conditions in different years on the biochemical composition of linseed oil. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*, 182(3), 91–100. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-3-91-100>
- PROMPERU. (2016). Guía para la elaboración de un Dossier Novel Food Aceite Sacha Inchi. In *Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo – PROMPERÚ y PerúBioInnova* (Vol. 1ra). Retrieved from www.promperu.gob.pe
- Pusadee, T., Prom-u-thai, C., Yimyam, N., Jamjod, S., y Rerkasem, B. (2017). Phenotypic and Genetic Diversity of Local Perilla (*Perilla frutescens* (L.) Britt.) from Northern Thailand. *Economic Botany*, 71(2), 175–187. <https://doi.org/10.1007/s12231-017-9383-1>
- Quispe Jacobo, F., Ayala Rojas, M., Ingunza Reyes, G., Landeo Pino, E., y Pascual Chagman, G. (2009). Caracterización de aceites, tortas y harinas de frutos de Ungurahui (*Jessenia polycarpa*) y Aguaje (*Mauritia flexuosa* L.) de la Amazonía

- Peruana. *Rev Soc Quím Perú. Rev Soc Quím Perú*, 75(2), 243–253. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v75n2/a12v75n2.pdf>
- Rabrenovic, B., Dimic, E., Maksimovic, M., Sobajic, S., y Gajic-Krstajic. (2011). Determination of Fatty Acid and Tocopherol Compositions. *Czech J. Food Sci.*, 29(1), 74–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.17221/180/2010-CJFS>
- Ramos Escudero, F. (2014). *Caracterización y trazabilidad del aceite de sachá inchi (Plukenetia volubilis Linneo)* (Universidad de Sevilla). Recuperado de <http://hdl.handle.net/11441/58887>
- Rawdkuen, S., Murdayanti, D., Ketnawa, S., y Phongthai, S. (2016). Chemical properties and nutritional factors of pressed-cake from tea and sachá inchi seeds. *Food Bioscience*, 15, 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2016.05.004>
- Rincón-Cervera, M. Á., Valenzuela, R., Hernandez-Rodas, M. C., Barrera, C., Espinosa, A., Marambio, M., y Valenzuela, A. (2016). Vegetable oils rich in alpha linolenic acid increment hepatic n-3 LCPUFA, modulating the fatty acid metabolism and antioxidant response in rats. *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 111, 25–35. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plefa.2016.02.002>
- Rodrigues, H. S., de Oliveira, A. B., Gomes Lopes, M. T., Cruz, C. D., Maia Chaves, F. C., y da Silva Bentes, J. L. (2013). Genetic diversity of sachá inchi accessions detected by AFLP molecular markers. *Revista de Ciências Agrarias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 56, 55–60. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4322/rca.2013.081>
- Rodríguez, Á., Corazon-Guivin, M., Cachique, D., Mejía, K., Del Castillo, D., Renno, J.-F., y García-Dávila, C. (2010). Diferenciación morfológica y por ISSR (Inter simple sequence repeats) de especies del género *Plukenetia* (Euphorbiaceae) de la Amazonía peruana: propuesta de una nueva especie. *Revista Peruana de Biología*, 17(3), 325–330. <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/rpb.v17i3.7>
- Rodríguez, G., Avellaneda, S., Pardo, R., Villanueva, E., y Aguirre, E. (2018). Bread leaf enriched with extruded cake from sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Chemistry, rheology, texture and acceptability. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 199–208. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.04>
- Rodríguez, G., Squeo, G., Estivi, L., Quezada Berru, S., Buleje, D., Caponio, F., Brandolini, A., y Hidalgo, A. (2021). Changes in stability, tocopherols, fatty acids and

- antioxidant capacity of sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) oil during French fries deep-frying. *Food Chemistry*, 340(July 2020), 127942.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127942>
- Ruiz-Domínguez, M. L., Raigón, M. D., y Prohens, J. (2013). Diversity for olive oil composition in a collection of varieties from the region of Valencia (Spain). *Food Research International*, 54, 1941–1949.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.06.023>
- Ruiz-Solsol, H., y Mesén, F. (2010). Efecto del ácido indolbutírico y tipo de estaquilla en el enraizamiento de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Agronomía Costarricense*, 34(2), 259–267. Recuperado de
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3605536>
- Ruiz, C., Díaz, C., Anaya, J., y Rojas, R. (2013). Análisis proximal, antinutrientes, perfil de ácidos grasos y de aminoácidos de semillas y tortas de 2 especies de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* y *Plukenetia huayllabambana*). *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 79(1), 29–36. Recuperado de
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v79n1/a05v79n1.pdf>
- Saboya Chávez, C. A. (2015). *Obtención de dos poblaciones mejoradas de sacha inchi (Plukenetia volubilis L.), con resistencia a Meloidogyne incognita mediante selección masal estratificada a partir de dos accesiones promisorias en la región San Martín* (Universidad Nacional de San Martín de Tarapoto). Recuperado de
<http://hdl.handle.net/11458/638>
- Saengsorn, K., y Jimtaisong, A. (2017). Determination of hydrophilic–lipophilic balance value and emulsion properties of sacha inchi oil. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 7(12), 1092–1096.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2017.10.011>
- Sáez-Bastante, J., Ortega-Román, C., Pinzi, S., Lara-Raya, F. R., Leiva-Candia, D. E., y Dorado, M. P. (2015). Ultrasound-assisted biodiesel production from *Camelina sativa* oil. *Bioresource Technology*, 185, 116–124.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.02.090>
- Saini, R. K., y Keum, Y. S. (2018). Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: Dietary sources, metabolism, and significance — A review. *Life Sciences*, 203(April), 255–267. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lfs.2018.04.049>

- Salas, A., Ayala, M. E., y Albrecht-Ruiz, M. (2003). *Cuantificación de ácidos grasos omega 3 en aceite crudo de pescado producido en el Perú durante los años 1996 al 2000*. Recuperado de <http://repositorio.itp.gob.pe/handle/ITP/95?mode=full>
- Sanchez-Reinoso, Z., Mora-Adames, W. I., Fuenmayor, C. A., Darghan-Contreras, A. E., Gardana, C., y Gutiérrez, L.-F. (2020). Microwave-assisted extraction of phenolic compounds from Sacha Inchi shell: Optimization, physicochemical properties and evaluation of their antioxidant activity. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 153(107922), 1–11.
<https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.107922>
- Santillán García, L. D. (2018). *Producción y rentabilidad del cultivo de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) en la región Piura* (Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3242>
- SIICEX. (2018). *Sachá Inchi*. Recuperado de https://www.siicex.gob.pe/siicex/portal5ES.asp?_page_=172.17100&_portletid_=s fichaproductoinit&scriptdo=cc_fp_init&pproducto= 182 &pnomproducto= Sachá Inchi
- Solis Leyva, R. (2018). *Aportes del IIAP a la conservación y mejoramiento genético del sachá inchi en San Martín*. Recuperado de http://www.iiap.gob.pe/Archivos/Publicaciones/Publicacion_3571999.pdf
- Srichamnong, W., Ting, P., Pitchakarn, P., Nuchuchua, O., y Temviriyankul, P. (2018). Safety assessment of *Plukenetia volubilis* (Inca peanut) seeds, leaves, and their products. *Food Science and Nutrition*, 6, 962–969.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.633>
- Tlili, N., Saadaoui, E., Sakouhi, F., Elfalleh, W., El Gazzah, M., Triki, S., y Khaldi, A. (2011). Morphology and chemical composition of Tunisian caper seeds: Variability and population profiling. *African Journal of Biotechnology*, 10(10), 2112–2118.
<https://doi.org/10.5897/AJB10.1429>
- Torres Cubas, C. (2017). *Nivel de sustitución parcial de leche de sachá inchi en la elaboración del yogurt* (Universidad Nacional de San Martín). Recuperado de <http://hdl.handle.net/11458/3143>
- Ulloa, C., Zarucchi, J., y León, B. (2004). Diez años de adiciones a la flora del Perú. *Arnaldoa*, 1–242. Recuperado de

- http://www.mobot.org/MOBOT/research/peru/diez_años_perú.shtml
- Valeriano Marzano, E. M. (2018). *Comportamiento del caudal y la precipitación en la cuenca de los ríos Tarma Y Tulumayo por efecto de la incursión de frentes fríos-Friajes* (Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3393/valeriano-marzano-eduardo-martin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vanegas-Azuero, A.-M., y Gutiérrez, L.-F. (2018). Physicochemical and sensory properties of yogurts containing sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and β -glucans from *Ganoderma lucidum*. *J. Dairy Sci*, *101*, 1–14. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13235>
- Vásquez-Osorio, D., Hincapié Llanos, G. A., Cardona, M., Jaramillo, D. I., y Vélez Acosta, L. (2017). Formulación de una colada empleando harina de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) proveniente del proceso de obtención de aceite. *Perspectivas En Nutrición Humana*, *19*(2), 167–179. <https://doi.org/10.17533/udea.penh.v19n2a04>
- Vásquez Osorio, D. C. (2016). *Aprovechamiento de subproductos de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.): Desarrollo de un producto alimenticio, empleando harina proveniente de torta residual en la extracción del aceite* (Universidad Pontificia Bolivariana). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10567/1691>
- Wang, Xianzhi, Jiang, G. L., Green, M., Scott, R. A., Hyten, D. L., y Cregan, P. B. (2012). Quantitative trait locus analysis of saturated fatty acids in a population of recombinant inbred lines of soybean. *Molecular Breeding*, *30*(2), 1163–1179. <https://doi.org/10.1007/s11032-012-9704-0>
- Wang, Xiaojuan, Xu, R., Wang, R., y Liu, A. (2012). Transcriptome analysis of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds at two developmental stages. *BMC Genomics*, *13*(716), 1–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-716>
- Westmoreland, T. L. (2001). *Enzyme-Linked Immunosorbent Assay [ELISA] for Inca Peanut* (Florida State University). Recuperado de https://fsu.digital.flvc.org/islandora/search?page=20&type=edismax&collection=fsu%3Ahonors_theses
- Wiriya, J., Rangjaroen, C., Teaumroong, N., Sungthong, R., y Lumyong, S. (2020). Rhizobacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungi of Oil Crops (Physic Nut and Sacha Inchi): A Cultivable-Based Assessment for Abundance, Diversity, and Plant Growth-

- Promoting Potentials. *Plants*, 9(1773), 21.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/plants9121773>
- Worku, N., Heslop-Harrison, J. S., y Adugna, W. (2015). Diversity in 198 Ethiopian linseed (*Linum usitatissimum*) accessions based on morphological characterization and seed oil characteristics. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 62(7), 1037–1053.
<https://doi.org/10.1007/s10722-014-0207-1>
- Yêyinou Loko, L. E., Orobiyi, A., Adjatin, A., Akpo, J., Toffa, J., Djedatin, G., y Dansi, A. (2018). Morphological characterization of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces of Central region of Benin Republic. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 10(11), 304–318. <https://doi.org/https://doi.org/10.5897/JPBCS2018.0766>
- Yovera Mendez, S. L., y Ruddy Gianni, L. M. (2018). *Palitos integrales de semillas de sachá inchi (Plukenetia volubilis) y linaza (Linum usitatissimum) y efecto dietético en escolares con sobrepeso* (Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión). Recuperado de <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/3214>
- Yu, H., Fan, S., Bi, Q., Wang, S., Hu, X., Chen, M., y Wang, L. (2017). Seed morphology, oil content and fatty acid composition variability assessment in yellow horn (*Xanthoceras sorbifolium* Bunge) germplasm for optimum biodiesel production. *Industrial Crops and Products*, 97(2017), 425–430.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.12.054>
- Yu, L., Wang, Y., Wu, G., Jin, J., Jin, Q., y Wang, X. (2021). Chemical and volatile characteristics of olive oils extracted from four varieties grown in southwest of China. *Food Research International*, 140(December 2020), 9.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109987>
- Zanqui, A. B., da Silva, C. M., de Moraes, D. R., Machado Santos, J., Oenning Ribeiro, S. A., Nogueira Eberlin, M., Cardozo-Filho, L., Visentainer, J.V., Marques Gomes, S.T., y Matsushita, M. (2016). Sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil composition varies with changes in temperature and pressure in subcritical extraction with n-propane. *Industrial Crops and Products*, 87, 64–70.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.029>
- Zarrouk, W., Baccouri, B., Taamalli, W., Trigui, A., Daoud, D., y Zarrouk, M. (2009). Oil fatty acid composition of eighteen Mediterranean olive varieties cultivated under the arid conditions of Boughrara (southern Tunisia). *Grasas y Aceites*, 60(5), 498–

506. <https://doi.org/https://doi.org/10.3989/gya.021109>
- Zhang, Y., Zhang, C., Xu, C., Deng, Y., Wen, B., Xie, P., y Huang, L. (2022). Effect of geographical location and soil fertility on main phenolic compounds and fatty acids compositions of virgin olive oil from Leccino cultivar in China. *Food Research International*, 157(16), 111207. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111207>
- Zhao, S., y Zhang, D. (2013). A parametric study of supercritical carbon dioxide extraction of oil from Moringa oleifera seeds using a response surface methodology. *Separation and Purification Technology*, 113, 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.03.041>
- Zorrilla Salmón, D. C. (2015). Influencia del tostado de la semilla de Plukenetia huayllabambana en el perfil de ácidos grasos y compuestos bioactivos (Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1825>
- Zuleta, E. C., Rios, L. A., y Benjumea, P. N. (2012). Oxidative stability and cold flow behavior of palm, sacha-inchi, jatropha and castor oil biodiesel blends. *Fuel Processing Technology*, 102, 96–101. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.04.018>
- Zuloeta Arias, G. L. (2014). *Compuestos fenólicos, tocoferoles, ácidos grasos, carotenoides, fitoesteroles y capacidad antioxidante de 16 cultivares de semillas de sacha inchi (Plukenetia volubilis L.)* (Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2420>

ANEXOS



Anexo 1. Datos botánicos de *Plukenetia huayllabambana*

José R. Campos de la Cruz
CONSULTOR BOTÁNICO
C. B. P. N° 3796
Teléfono: 537 3629
e-mail: joricampos@yahoo.es



CERTIFICACIÓN BOTÁNICA

José Ricardo Campos de la Cruz, Biólogo Colegiado, registro C. B. P. N° 3796.

Certifica:

Que, el profesor, **Fredy Enrique Quispe Jacobo**, con fines de investigación científica, ha solicitado la determinación y certificación botánica de varias muestras de la planta conocida con el nombre vulgar de "sacha inchi", las muestras proceden de la localidad de Chirimoto Provincia Rodríguez de Mendoza del de Departamento de Amazonas. Y han sido estudiadas y determinadas como *Plukenetia huayllabambana* Bussmann, C. Téllez & A. Glenn. En base al Sistema de Clasificación de Arthur Cronquist et. al. 1981 se ubica en las siguientes categorías taxonómicas.

| | |
|-----------|---|
| REYNO | : PLANTAE |
| DIVISIÓN | : MAGNOLIOPHYTA |
| CLASE | : ROSIDAE |
| SUB CLASE | : ASTERIDAE |
| ORDEN | : EUPHORBIALES |
| FAMILIA | : EUPHROBIACEAE |
| GENERO | : <i>Plukenetia</i> |
| ESPECIE | : <i>Plukenetia huayllabambana</i> Bussmann, C. Téllez & A. Glenn |

Se expide la presente certificación a solicitud de la empresa.

Lima, 22 de junio del 2009




José R. Campos de la Cruz
BIOLOGO
C.B.P. 3796

Jirón Sánchez Silva N° 156 – 2º piso – Urbanización Santa Luzmila – Lima 07

Anexo 2. Datos botánicos de *Plukenetia volubilis* L.



CERTIFICACIÓN BOTÁNICA

José Ricardo Campos de la Cruz, Biólogo Colegiado, registro C. B. P. N° 3796.

Certifica:

Que, el profesor, **Fredy Enrique Quispe Jacobo**, con fines de investigación científica, ha solicitado la determinación y certificación botánica de varias muestras de la planta conocida con el nombre vulgar de "sacha inchi", las plantas proceden de los departamentos de Huánuco, Junín, Loreto, San Martín, Ucayali, y han sido estudiadas y determinadas como *Plukenetia volubilis* L. En base al Sistema de Clasificación de Arthur Cronquist et. al. 1981 se ubica en las siguientes categorías taxonómicas.

| | |
|-----------|----------------------------------|
| REYNO | : PLANTAE |
| DIVISIÓN | : MAGNOLIOPHYTA |
| CLASE | : MAGNOLIOPSIDA |
| SUB CLASE | : ROSIDAE |
| ORDEN | : EUPRORBIALES |
| FAMILIA | : EUPHORBIACEAE |
| GENERO | : <i>Plukenetia</i> |
| ESPECIE | : <i>Plukenetia volubilis</i> L. |

Se expide la presente certificación a solicitud de la empresa.

Lima, 22 de abril del 2009




José R. Campos de la Cruz
BIOLOGO
C.B.P. 3796

Jirón Sánchez Silva N° 156 – 2º piso – Urbanización Santa Luzmila – Lima 07

Anexo 3. Cromatografía de ácidos grasos

Principio del metodo

Los triglicéridos y fosfolípidos, se saponifican y metilan consecutivamente por reacción con las soluciones de NaOH 2N y HCl 2N en metanol. Los ácidos grasos metilados, se inyectan al cromatógrafo de gases donde se separan en la fase estacionaria de la columna según sus características, al ser arrastrados por la fase móvil de nitrógeno (Salas et al., 2003).

Materiales y reactivos

Pipetas automáticas de 0,1-1 mL.

Micro-jeringa, 0,05-0,1 mL.

Gradilla para tubos.

Tubos de vidrio con tapa, 18 x 24 mm.

Viales de vidrio de 2 mL de capacidad con tapas de aluminio.

Eter de petróleo (40 - 60 °C), para análisis cromatográfico.

Solución NaOH 2N en metanol.

Solución HCl 2N en metanol.

Gas Hidrogeno con un mínimo de pureza de 99.99 %.

Equipos

Baño maría (Marca Barnstead Thermolyne, 230 v)

Balanza analítica (Marca Sartorius $\pm 0,0001$, 220 v)

Vortex (Marca Barnstead Thermolyne, 230 v)

Cromatógrafo de gases equipado con detector de ionización de flama de hidrógeno (FID).

Columna capilar Supelcowax – 10 de silica fundida marca Supelco de 30 m de longitud, 0,25 mm de diámetro interno y 0,25 μ m de espesor de película.

Procedimiento

- En un tubo de ensayo introducir aproximadamente 50 mg de aceite.
- Agregar aproximadamente 2,5 mL de éter de petróleo y agitar en vortex hasta disolver.
- Agregar alrededor de 0,25 mL de NaOH 2N en metanol. Agitar vigorosamente en vortex por 10 segundos.
- Sumergir en baño maría a aproximadamente 50 °C durante 20 segundos, agitar 10 segundos en vortex.
- Agregar alrededor de 0,30 mL de HCl 2N en metanol. Agitar y luego esperar hasta que se separen las dos fases.
- Se separa la fase del éter de petróleo que contiene los ácidos grasos metilados, con ayuda de una pipeta, y se introduce en un vial de vidrio.
- Colocar el vial en el Autosampler del cromatógrafo de gases y programar el equipo.
- Las condiciones de análisis son:

| | |
|--------------------------|--------|
| Temperatura del horno | 240 °C |
| Temperatura del inyector | 250 °C |
| Temperatura del detector | 260 °C |
| Presión del hidrógeno | 5 psi |
| Split | 100: 1 |

Cálculos

La cuantificación de los ácidos grasos metilados se realiza mediante el software del equipo, y se reporta como porcentaje relativo. Los resultados proporcionados por el equipo (duplicado) se promedian.

Observaciones

- Verificar los tiempos de retención de cada uno de los ácidos grasos, analizando paralelamente un estándar de ácidos grasos cada vez que se realice un nuevo análisis.
- Es importante homogenizar la muestra antes de pesar.

Anexo 4. Análisis de datos

Análisis de varianza

El análisis de varianza (anova), es una herramienta estadística que permite probar hipótesis referidas a parámetros de posición de dos o más distribuciones, la hipótesis que se somete a prueba generalmente se establece con respecto a las medias de las poblaciones en estudio o de los tratamientos evaluados en un experimento:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2, \dots, = \mu_a \quad \text{con } i = 1, \dots, a$$

Donde: a = número de poblaciones o tratamientos

El anova, es un procedimiento que descompone la variabilidad total en la muestra (suma de cuadrados total de las observaciones) en componentes (suma de cuadrados) asociados cada uno a una fuente de variación reconocida. Para la realización del anova, existen supuestos que deben considerarse:

- i) *Normalidad*, los datos a evaluarse deben comportarse según una distribución normal, que puede visualizarse en un gráfico Q-Q normal o aplicando el análisis de Shapiro-Wilks modificado o la bondad de ajuste de Kolmogorov, según el tamaño de muestra; ii) *Homogeneidad de varianzas*, las varianzas pertenecientes a poblaciones o tratamientos en estudio deben presentar una homogeneidad de varianzas, que puede ser visualizado en una gráfica de dispersión o en una prueba de homogeneidad de varianzas;
- iii) *Independencia*, entre las diferentes poblaciones y tratamientos implementados en el experimento, que se visualizan en gráficas de dispersión de los errores que son parte del modelo y la variable que se presume genera dependencias.

Modelo

Los datos a evaluar pueden provenir de ensayos realizados bajo diferentes diseños experimentales tales como: diseño completamente aleatorizado (DCA), diseño de bloques completos al azar (DBCA), diseño factorial, diseño de bloques incompletos balanceados, cuadrado latino, parcelas divididas, etc.

Diseño completo al azar

El modelo lineal dentro del DCA, para la observación del tratamiento i en la parcela j , Y_{ij} es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \xi_{ij}$$

Donde: Y_{ij} observación del tratamiento i en la parcela j

τ_i efecto del tratamiento i

ξ_{ij} término del error relativo asociado a la observación Y_{ij}

El diseño se caracteriza, porque las unidades experimentales son homogéneas, es decir no presentan estructura alguna, los tratamientos se asignan al azar a las unidades experimentales, y el número de repeticiones puede variar de un tratamiento a otro.

Análisis multivariado

El análisis multivariado, es una técnica exploratoria estadística que se usa para describir y analizar observaciones multidimensionales que se obtienen sobre varias variables para cada una de las unidades o casos en estudio. Las técnicas de reducción de dimensión, se realizan en espacios de fácil visualización como el plano, y se obtienen aplicando técnicas de análisis como: análisis de conglomerados, análisis de componentes principales, análisis discriminante, análisis de correlaciones canónicas, análisis de la varianza multivariada, análisis de correspondencia.

Análisis de conglomerados

El análisis de conglomerados, comprende el agrupamiento de objetos multivariados con la finalidad de conocer la estructura de las observaciones y/o variables en estudio. Si bien es cierto que este proceso de agrupamiento conlleva inicialmente a una pérdida de información ya que se sitúan en una misma clase unidades que no son idénticas (solo semejantes), los resultados pueden facilitar la visualización de relaciones multivariadas de naturaleza compleja. Las técnicas de clasificación basadas en agrupamientos implican la distribución de las unidades de estudio en clases o categorías de manera tal que cada clase (conglomerado) reúne unidades cuya similitud es máxima bajo algún criterio. Es decir, los objetos de un mismo grupo comparten el mayor número permisible de características y los objetos en diferentes grupos tienden a ser distintos. Para agrupar objetos (casos o variables) es necesario seguir algún algoritmo, un algoritmo es un conjunto preescrito de instrucciones o reglas definidas, ordenadas y finitas que permite realizar una actividad mediante pasos sucesivos, estos algoritmos en distintas áreas del conocimiento se encuentran bajo diferentes nombres como:

clasificación automática, análisis tipológico (del francés “analyse typologique”, *análisis de agrupamiento* (del inglés “cluster analysis”, *taxonomía numérica*, etc., y se clasifican como *jerárquicos* y *no jerárquicos*. En las técnicas de clasificación *no jerárquicas* se desea obtener una única descomposición o partición del conjunto original de objetos en base a la optimización de una función objetivo; mientras que, en las técnicas de clasificación *jerárquicas*, se pretenden encontrar particiones jerarquizadas, más finas o menos finas, donde los objetos son unidos (separados) en grupos paso a paso.

Métodos de agrupamiento jerárquico: Los algoritmos de conglomeración jerárquicos utilizados con fines de agrupamiento pueden ser *aglomerativos* o *divisivos* (utilizan fusiones o divisiones sucesivas de los objetos a agrupar). Los *métodos aglomerativos* realizan grupos por el procedimiento de uniones sucesivas, en el inicio hay tantos grupos como objetos, los objetos similares se agrupan primero y los grupos iniciales son luego unidos de acuerdo a sus similitudes; mientras que los *métodos divisivos*, asumen inicialmente que todos los objetos pertenecen a un mismo grupo al cual particionan en subdivisiones cada vez más finas, hasta un punto donde cada objeto es considerado un conglomerado de tamaño unitario. Los resultados de agrupamientos jerárquicos se muestran en un dendrograma (diagramas de árboles en dos dimensiones), en el que se pueden observar las uniones y/o divisiones que se van realizando en cada nivel del proceso de construcción de conglomerados, las ramas en el árbol representan los conglomerados. Entre los algoritmos de agrupamiento jerárquico disponible se encuentran:

- i) *Encadenamiento simple (single linkage)*, los grupos se unen basándose en la distancia entre los dos miembros más cercanos;
- ii) *Encadenamiento completo (complete linkage)*, la distancia entre conglomerados es la del par de objetos más distantes;
- iii) *Encadenamiento promedio (average linkage)*, en este método la distancia entre dos conglomerados se obtiene promediando todas las distancias entre pares de objetos, donde un miembro del par pertenece a uno de los conglomerados y el otro miembro al segundo conglomerado, este es uno de métodos más simples y el que se ha encontrado en numerosas aplicaciones;

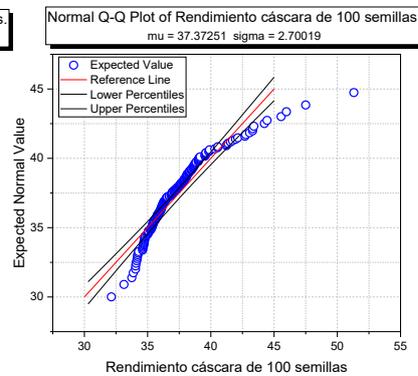
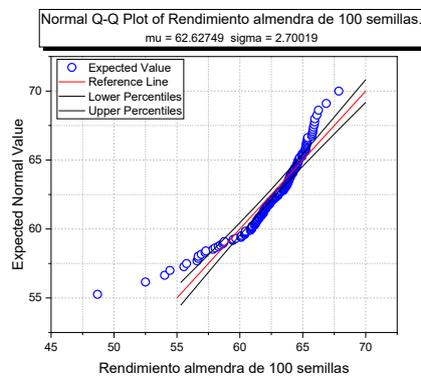
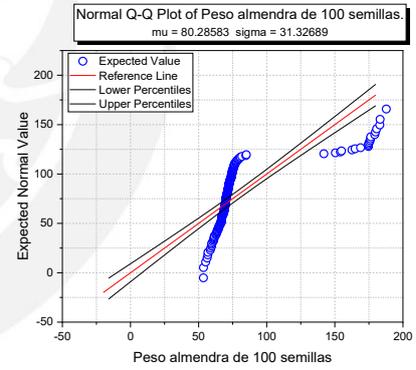
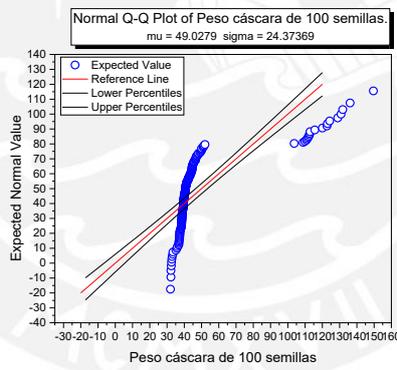
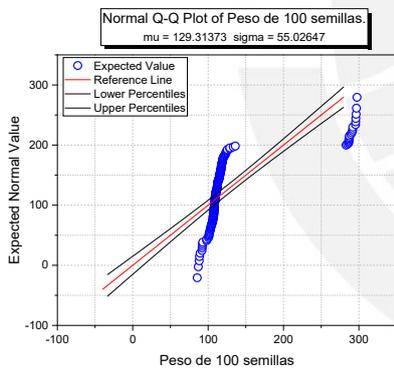
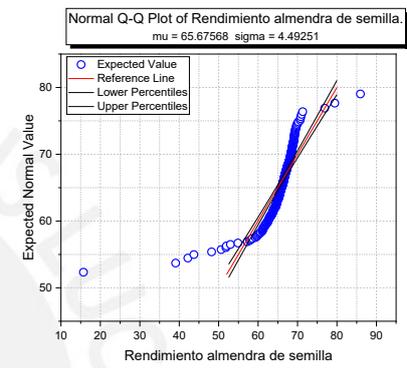
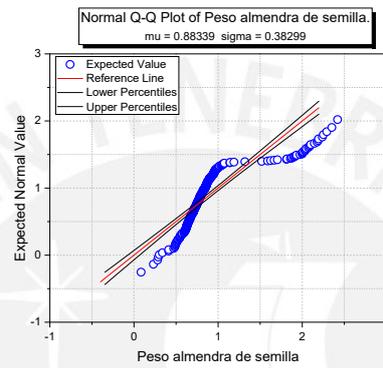
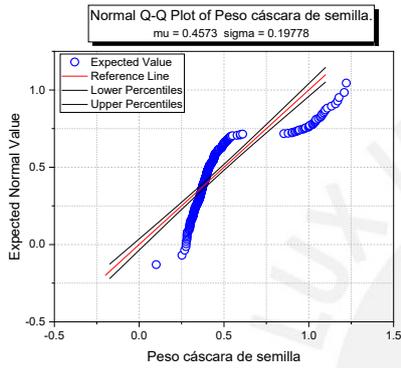
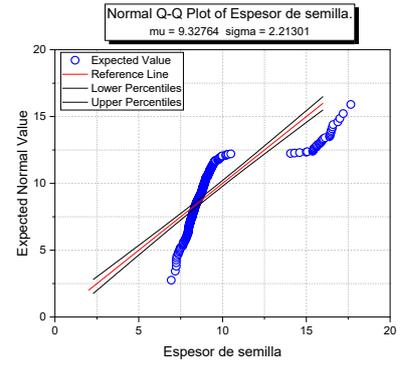
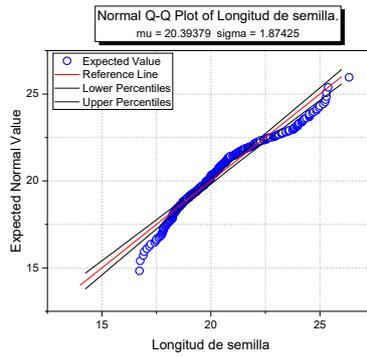
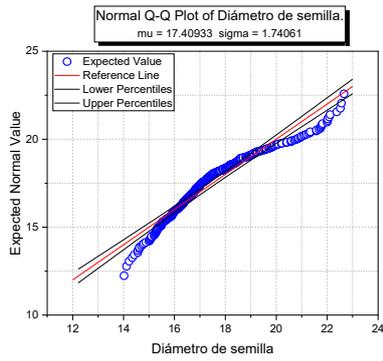
- iv) *Encadenamiento promedio ponderado (weighted average linkage)*, representa una generalización del procedimiento anterior usando el número de objetos en cada conglomerado como peso;
- v) *Centroide no ponderado (unweighted centroid)*, toma el promedio de todos los objetos en un conglomerado (centroide) para representar al conglomerado y mide las distancias entre objetos o conglomerados con respecto al centroide;
- vi) *Centroide ponderado (weighted centroid)*, es una generalización del procedimiento anterior ponderando las distancias por el número de objetos en cada conglomerado que participa en el cálculo como peso;
- vii) *Método de mínima varianza (Ward)*, similar al método del centroide, pero cuando une conglomerados realiza una ponderación (por el tamaño de cada grupo) de todos los conglomerados participantes, así en cada unión la pérdida de información es minimizada, define la distancia entre dos grupos como la suma de las sumas de cuadrados del ANOVA entre los dos grupos sobre todas las variables, recomendado para datos con distribución normal.

El análisis de conglomerados requiere medir la similitud entre las entidades a agrupar, con medidas de disimilaridad o distancia. La selección de una medida de distancia apropiada depende de la naturaleza de las variables (cualitativa, cuantitativa), de la escala de medición (nominal, ordinal, intervalo, cociente) y del conocimiento del objeto de estudio. Para datos con propiedades métricas (continuos, escala por intervalos y/o cocientes) pueden usarse medidas de distancia como la de Manhattan o la Euclídea mientras que para datos cualitativos o atributos discretos son más apropiadas las distancias basadas en medidas de similitud o asociación.

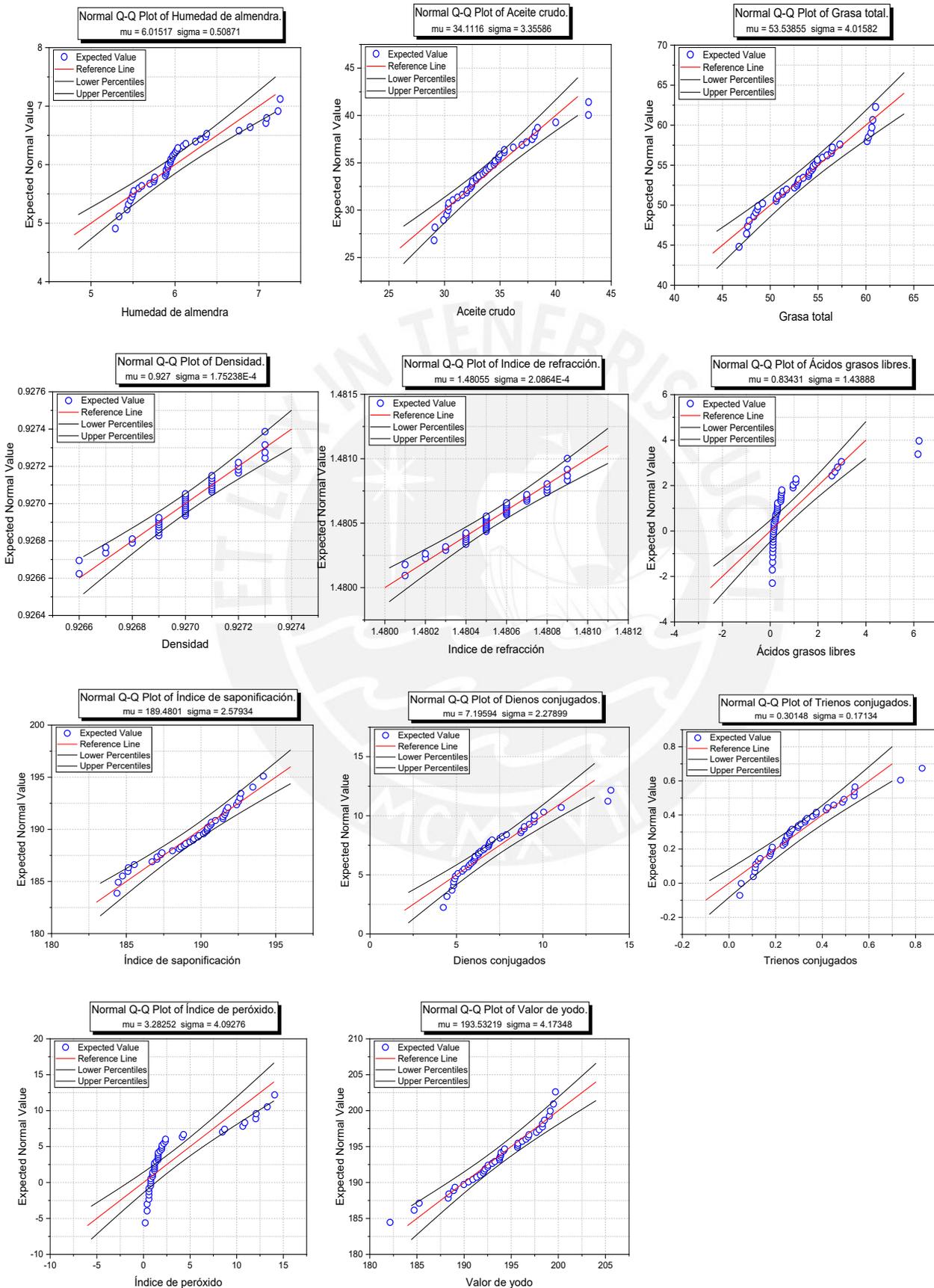
Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (PCA), permite analizar la interdependencia de variables métricas y encontrar una representación gráfica óptima de la variabilidad de los datos originados en n observaciones y p variables. Esta técnica reductiva de dimensión permite examinar los datos en un espacio *biplot* de menor dimensión que el espacio original, para esto con el PCA se construyen ejes artificiales (componentes principales) que permiten obtener gráficos de dispersión de observaciones y variables que interpreten la asociatividad, variabilidad y covariabilidad, entre variables y entre variables y observaciones.

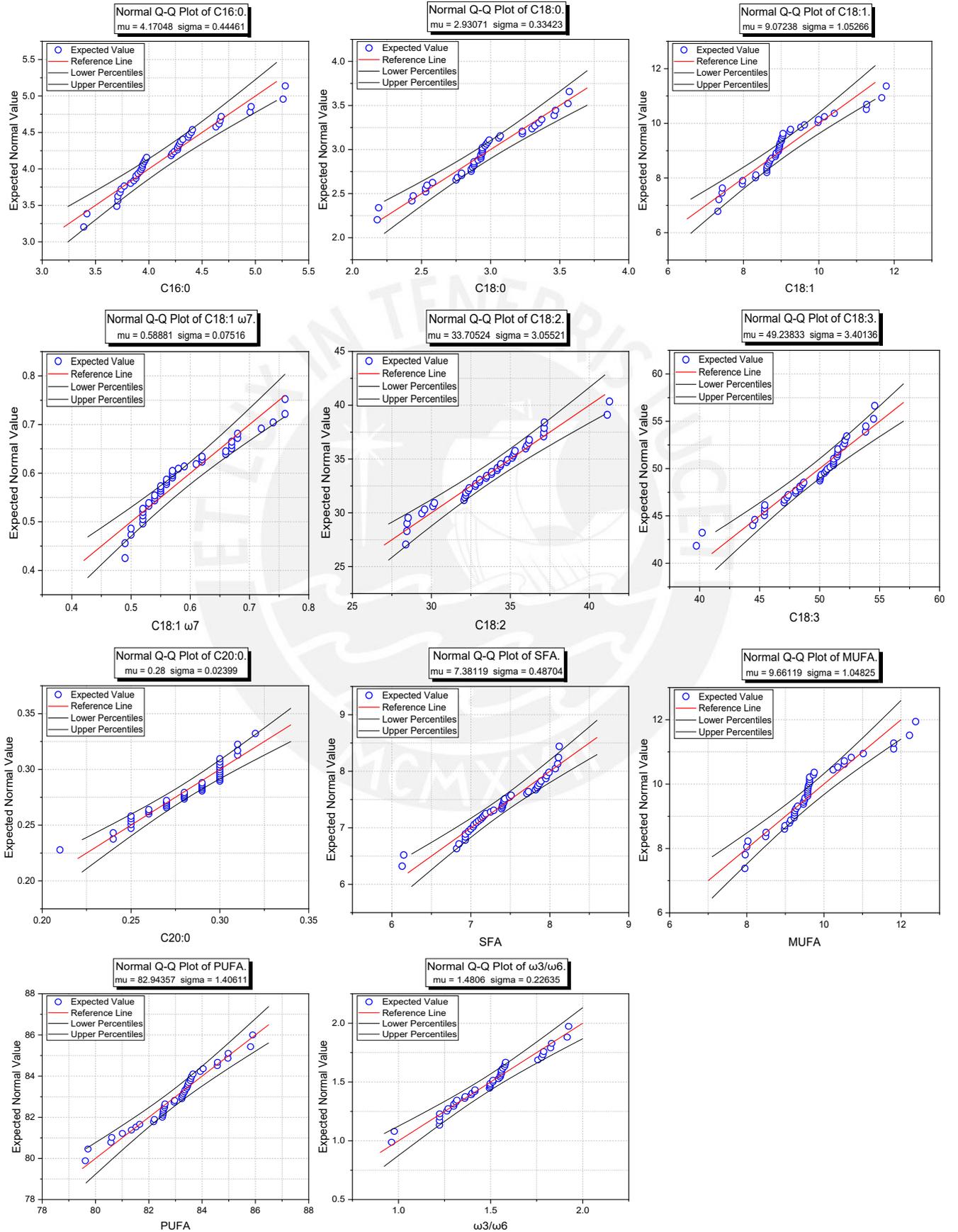
Anexo 5. Análisis de normalidad de caracteres morfológicos de semillas de sachu inchi.



Anexo 6. Análisis de normalidad de propiedades fisicoquímicas de los aceites crudos de las semillas de sacha inchi.



Anexo 7. Análisis de normalidad de ácidos grasos de los aceites crudos de las semillas de sachá inchi.



Anexo 8. Distancia Euclidea del análisis de conglomerados de las semillas de sacha inchi.

Distancia entre las muestras de sacha inchi según análisis de conglomerados con las variables morfológicas de las semillas, variables fisicoquímicas y acidos grasos del sacha inchi.

| Variables | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------------------|--------|------|------|--------|------|------|------|--------|------|------|------|------|--------|------|-------|-------|-------|------|--------|------|-------|-------|------|------|------|--------|------|------|------|------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Peso 100 semillas | Peso cáscara 100 semillas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Díámetro | Longitud | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peso cáscara | Peso almendra | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Especie | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peso semilla | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Distancia Euclidea | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BelISM | 0,00 | CaVeU1 | 1,30 | 0,00 | CaVeU2 | 2,36 | 1,87 | 0,00 | ChazSM | 3,00 | 2,98 | 3,51 | 0,00 | CochA1 | 9,48 | 10,04 | 11,42 | 10,28 | 0,00 | CochA2 | 9,68 | 10,22 | 11,38 | 9,71 | 2,82 | 0,00 | JuaISM | 1,38 | 1,48 | 3,57 | 2,32 | 10,29 | 10,10 | 9,00 | LanSM | 2,87 | 2,89 | 3,88 | 4,52 | 9,04 | 9,23 | 2,87 | 0,00 | LuyRo | 1,72 | 1,81 | 1,23 | 3,22 | 10,47 | 10,48 | 1,71 | 3,55 | 0,00 | MayLo | 1,61 | 0,87 | 1,40 | 3,42 | 10,34 | 10,34 | 1,63 | 1,20 | 0,32 | 0,00 | Perre7 | 1,84 | 1,83 | 0,70 | 3,33 | 10,26 | 10,31 | 2,00 | 3,38 | 0,78 | 0,94 | 0,00 | Ficha7 | 1,73 | 1,31 | 2,39 | 3,81 | 9,34 | 9,44 | 1,84 | 1,35 | 2,66 | 2,04 | 1,56 | 0,00 | FinSM | 1,24 | 1,28 | 2,78 | 3,88 | 9,30 | 9,44 | 1,85 | 1,32 | 2,33 | 1,98 | 2,28 | 0,76 | 0,00 | ShapSM | 1,40 | 1,24 | 2,84 | 2,85 | 9,30 | 9,79 | 0,76 | 2,35 | 1,78 | 1,58 | 2,08 | 1,37 | 1,24 | 0,00 | ShaSM | 1,83 | 1,88 | 2,33 | 3,05 | 10,07 | 9,88 | 1,19 | 2,00 | 2,42 | 2,15 | 2,63 | 1,23 | 1,36 | 0,94 | 0,00 | SMH | 1,51 | 0,41 | 2,11 | 3,79 | 10,00 | 10,19 | 1,48 | 2,13 | 1,68 | 1,17 | 1,83 | 1,02 | 0,11 | 1,32 | 1,44 | 0,00 | TabSM1 | 1,02 | 1,78 | 2,04 | 2,73 | 9,84 | 10,01 | 1,84 | 3,32 | 1,31 | 1,30 | 0,97 | 2,48 | 2,09 | 1,81 | 2,32 | 2,03 | 0,00 | TabSM2 | 1,18 | 1,81 | 2,41 | 2,78 | 10,14 | 10,18 | 1,62 | 3,33 | 0,92 | 1,13 | 0,47 | 2,39 | 2,07 | 1,44 | 2,33 | 1,82 | 0,47 | 0,00 | ToSM1 | 1,38 | 1,38 | 1,44 | 2,84 | 10,00 | 10,10 | 1,81 | 3,40 | 1,24 | 1,30 | 0,87 | 2,68 | 2,24 | 1,92 | 2,34 | 2,17 | 0,87 | 0,50 | 0,00 | ToSM2 | 0,99 | 1,28 | 0,39 | 3,27 | 9,77 | 10,05 | 1,91 | 3,04 | 1,04 | 1,05 | 0,47 | 2,13 | 1,84 | 1,77 | 0,41 | 1,57 | 0,78 | 0,65 | 0,85 | 0,00 | ToSM3 | 0,10 | 0,36 | 0,45 | 2,77 | 9,78 | 9,81 | 0,07 | 0,30 | 2,32 | 3,18 | 0,80 | 3,45 | 3,05 | 2,97 | 3,37 | 3,47 | 1,78 | 0,20 | 1,88 | 2,27 | 0,00 |

Distancia Euclidea entre las muestras de sacha inchi según las variables morfológicas evaluadas en semilla. Correlación cofenética= 0,966.

| Variables | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--------------|--------|------|------|--------|------|------|------|--------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Humedad | Acidez cruda | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| IF | FFA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Extr | FOV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Grasa total PE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Etnalva | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Distancia Euclidea | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BelISM | 0,00 | CaVeU1 | 3,98 | 0,00 | CaVeU2 | 3,61 | 5,74 | 0,50 | ChazSM | 4,29 | 5,84 | 2,91 | 0,30 | CochA1 | 3,85 | 5,37 | 4,93 | 5,21 | 0,00 | CochA2 | 4,77 | 6,19 | 5,60 | 5,22 | 4,74 | 0,00 | JuaISM | 2,05 | 4,89 | 2,74 | 2,54 | 5,24 | 4,18 | 0,00 | LanSM | 5,93 | 6,74 | 3,84 | 4,14 | 6,84 | 7,57 | 4,22 | 0,00 | LuyRo | 5,43 | 6,38 | 5,65 | 7,23 | 7,39 | 7,52 | 6,39 | 7,49 | 0,00 | MayLo | 4,45 | 7,18 | 4,15 | 4,18 | 5,62 | 6,38 | 3,85 | 4,75 | 0,61 | 0,00 | Perre7 | 3,18 | 5,24 | 4,48 | 4,29 | 4,48 | 5,13 | 3,33 | 6,60 | 7,54 | 4,34 | 3,00 | Ficha7 | 3,09 | 4,42 | 4,26 | 3,56 | 4,73 | 5,21 | 3,26 | 4,94 | 4,95 | 4,20 | 3,05 | 0,00 | FinSM | 4,51 | 5,91 | 3,70 | 3,71 | 6,14 | 6,31 | 3,59 | 3,19 | 7,04 | 4,10 | 4,62 | 2,95 | 0,00 | ShapSM | 3,13 | 6,88 | 3,70 | 3,86 | 5,42 | 5,88 | 3,81 | 4,88 | 5,40 | 4,17 | 4,14 | 5,88 | 4,27 | 0,00 | ShaSM | 4,21 | 6,31 | 3,72 | 3,10 | 5,70 | 6,28 | 3,85 | 3,67 | 5,04 | 1,31 | 3,97 | 5,08 | 2,81 | 3,19 | 0,00 | SMH | 4,06 | 6,18 | 7,55 | 9,25 | 5,58 | 5,92 | 3,28 | 4,63 | 7,67 | 3,12 | 3,14 | 3,74 | 2,89 | 3,03 | 1,91 | 0,00 | TabSM1 | 3,55 | 4,77 | 4,22 | 3,54 | 4,58 | 5,42 | 3,19 | 4,79 | 7,07 | 4,20 | 2,78 | 1,30 | 2,95 | 3,72 | 3,13 | 2,40 | 0,00 | TabSM2 | 3,08 | 4,79 | 3,85 | 3,25 | 4,72 | 5,51 | 2,75 | 4,30 | 6,71 | 4,24 | 3,72 | 1,61 | 3,72 | 4,09 | 3,28 | 3,20 | 1,82 | 0,00 | ToSM1 | 3,95 | 4,34 | 4,47 | 4,13 | 3,29 | 5,44 | 4,38 | 3,78 | 6,88 | 5,23 | 3,78 | 3,44 | 5,10 | 4,21 | 4,50 | 4,43 | 3,11 | 3,76 | 0,00 | ToSM2 | 1,99 | 3,37 | 3,23 | 3,48 | 4,41 | 4,89 | 4,41 | 4,89 | 5,59 | 4,38 | 3,71 | 2,77 | 4,13 | 4,21 | 3,56 | 3,45 | 3,07 | 3,23 | 3,18 | 0,00 | ToSM3 | 0,81 | 3,06 | 4,51 | 4,56 | 4,44 | 5,64 | 4,36 | 4,32 | 5,26 | 6,17 | 4,20 | 4,26 | 5,72 | 5,10 | 5,29 | 5,11 | 4,18 | 4,84 | 2,11 | 2,48 | 0,00 |

Distancia Euclidea entre las muestras de sacha inchi según las variables fisicoquímicas evaluadas en los aceites crudos de la semilla. Correlación cofenética= 0,442

VARIABLES

C18:0 C18:1 C18:1 w6 C18:1 w7
 C18:2 w6 C18:3 w3 C20:1 w9 SFA
 MUFA PUFA w3/w6

Criterios de clasificación

Matrices

Euclídea

| | C18:0 | C18:1 | C18:1 w6 | C18:1 w7 | C18:2 w6 | C18:3 w3 | C20:1 w9 | SFA | MUFA | PUFA | w3/w6 |
|----------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|------|-------|
| C18:0 | 0,00 | | | | | | | | | | |
| C18:1 | 9,95 | 0,00 | | | | | | | | | |
| C18:1 w6 | 8,13 | 6,06 | 0,00 | | | | | | | | |
| C18:1 w7 | 8,27 | 11,19 | 8,47 | 0,00 | | | | | | | |
| C18:2 w6 | 9,33 | 7,46 | 9,13 | 9,59 | 0,00 | | | | | | |
| C18:3 w3 | 9,62 | 11,17 | 10,63 | 8,89 | 12,53 | 0,00 | | | | | |
| C20:1 w9 | 11,29 | 8,85 | 8,31 | 11,06 | 10,90 | 8,85 | 0,00 | | | | |
| SFA | 4,49 | 8,49 | 8,12 | 8,92 | 3,30 | 10,96 | 10,96 | 0,00 | | | |
| MUFA | 7,88 | 8,30 | 0,41 | 9,21 | 9,21 | 10,58 | 8,27 | 8,99 | 0,00 | | |
| PUFA | 10,89 | 11,32 | 12,64 | 9,57 | 9,18 | 8,77 | 8,79 | 12,07 | 12,67 | 0,00 | |
| w3/w6 | 8,90 | 10,81 | 8,52 | 8,47 | 12,76 | 2,01 | 8,82 | 10,14 | 9,44 | 8,22 | 0,00 |

Matriz de distancias ultramétricas

| | C18:0 | C18:1 | C18:1 w6 | C18:1 w7 | C18:2 w6 | C18:3 w3 | C20:1 w9 | SFA | MUFA | PUFA | w3/w6 |
|----------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|------|-------|
| C18:0 | 0,00 | | | | | | | | | | |
| C18:1 | 18,13 | 0,00 | | | | | | | | | |
| C18:1 w6 | 18,13 | 11,42 | 0,00 | | | | | | | | |
| C18:1 w7 | 3,27 | 18,13 | 18,13 | 0,00 | | | | | | | |
| C18:2 w6 | 15,13 | 7,46 | 11,42 | 18,13 | 0,00 | | | | | | |
| C18:3 w3 | 24,45 | 24,45 | 24,45 | 24,45 | 24,45 | 0,00 | | | | | |
| C20:1 w9 | 24,45 | 24,45 | 24,45 | 24,45 | 24,45 | 8,31 | 0,00 | | | | |
| SFA | 6,49 | 18,13 | 18,13 | 6,49 | 18,13 | 24,45 | 24,45 | 0,00 | | | |
| MUFA | 18,13 | 11,42 | 0,41 | 18,13 | 11,42 | 24,45 | 24,45 | 18,13 | 0,00 | | |
| PUFA | 24,45 | 24,45 | 24,45 | 24,45 | 24,45 | 8,31 | 8,31 | 24,45 | 24,45 | 0,00 | |
| w3/w6 | 24,45 | 24,45 | 24,45 | 24,45 | 24,45 | 2,01 | 8,51 | 24,45 | 24,45 | 8,31 | 0,00 |

Euclídea

| | Sevilla | Cañete | Cañete | Chacabán | Cochabán | Cochabán | Juayán | Lasmi | Layba | Maya | Seva | Pichón | Pichón | Shagón | Shagón | Shagón | Tañón | Tañón | Tañón | Tañón | |
|----------|---------|--------|--------|----------|----------|----------|--------|-------|-------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|------|
| Sevilla | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cañete | 4,95 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cañete | 7,18 | 8,97 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Chacabán | 6,89 | 8,68 | 8,28 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cochabán | 8,67 | 8,88 | 8,20 | 8,78 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cochabán | 4,91 | 8,98 | 7,59 | 8,77 | 2,88 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Juayán | 8,22 | 3,70 | 8,13 | 1,50 | 4,88 | 3,28 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | |
| Lasmi | 8,11 | 7,17 | 4,83 | 8,49 | 7,41 | 8,81 | 8,35 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | |
| Layba | 4,74 | 4,87 | 4,28 | 6,49 | 8,14 | 8,82 | 8,82 | 7,28 | 0,00 | | | | | | | | | | | | |
| Maya | 8,99 | 8,82 | 4,38 | 4,32 | 8,31 | 8,65 | 8,28 | 7,28 | 4,18 | 0,00 | | | | | | | | | | | |
| Seva | 2,48 | 8,92 | 8,07 | 8,89 | 7,88 | 8,82 | 8,96 | 9,81 | 7,78 | 8,71 | 0,00 | | | | | | | | | | |
| Pichón | 1,38 | 1,88 | 7,13 | 3,21 | 8,24 | 3,71 | 3,23 | 7,82 | 3,72 | 3,42 | 2,68 | 0,00 | | | | | | | | | |
| Pichón | 3,89 | 3,12 | 8,18 | 2,22 | 8,59 | 8,94 | 1,28 | 8,49 | 8,39 | 2,88 | 4,82 | 3,94 | 0,00 | | | | | | | | |
| Shagón | 2,88 | 8,40 | 8,31 | 0,36 | 4,83 | 8,85 | 1,98 | 2,47 | 8,48 | 8,13 | 8,79 | 3,88 | 2,72 | 0,00 | | | | | | | |
| Shagón | 2,92 | 2,94 | 8,40 | 8,88 | 8,42 | 8,49 | 1,98 | 8,49 | 8,88 | 2,82 | 2,87 | 2,11 | 1,13 | 8,88 | 0,00 | | | | | | |
| Shagón | 2,88 | 2,92 | 8,40 | 8,88 | 8,42 | 8,41 | 1,98 | 8,94 | 2,78 | 2,17 | 3,37 | 2,88 | 2,92 | 8,41 | 2,14 | 0,00 | | | | | |
| Tañón | 8,89 | 8,11 | 8,83 | 2,71 | 8,88 | 8,87 | 1,78 | 8,87 | 8,88 | 8,88 | 8,87 | 3,88 | 2,42 | 2,78 | 2,74 | 8,88 | 0,00 | | | | |
| Tañón | 8,78 | 8,18 | 8,12 | 8,43 | 8,34 | 8,29 | 0,89 | 7,89 | 7,87 | 8,31 | 8,87 | 2,98 | 8,82 | 8,82 | 8,31 | 8,89 | 2,21 | 0,00 | | | |
| Tañón | 3,94 | 2,74 | 3,11 | 8,88 | 8,88 | 8,18 | 2,78 | 8,71 | 8,88 | 2,88 | 4,88 | 2,31 | 1,98 | 4,18 | 1,13 | 2,13 | 3,84 | 8,19 | 0,00 | | |
| Tañón | 2,18 | 2,81 | 3,89 | 8,54 | 4,78 | 8,73 | 3,21 | 8,28 | 4,78 | 2,71 | 3,84 | 1,78 | 2,18 | 3,88 | 1,18 | 2,36 | 2,88 | 2,84 | 2,18 | 0,00 | |
| Tañón | 4,18 | 2,88 | 8,31 | 3,92 | 4,72 | 3,72 | 2,22 | 3,71 | 4,89 | 1,37 | 8,48 | 3,87 | 3,18 | 3,72 | 3,42 | 3,28 | 3,88 | 4,78 | 3,78 | 2,84 | 0,00 |

Matriz de distancias ultramétricas

| | Sevilla | Cañete | Cañete | Chacabán | Cochabán | Cochabán | Juayán | Lasmi | Layba | Maya | Seva | Pichón | Pichón | Shagón | Shagón | Shagón | Tañón | Tañón | Tañón | Tañón | |
|----------|---------|--------|--------|----------|----------|----------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|------|
| Sevilla | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cañete | 4,78 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cañete | 14,87 | 14,87 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Chacabán | 14,87 | 14,87 | 11,21 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cochabán | 14,87 | 14,87 | 8,28 | 11,21 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cochabán | 14,87 | 14,87 | 8,28 | 11,21 | 2,88 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Juayán | 8,22 | 6,78 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | |
| Lasmi | 14,87 | 14,87 | 11,21 | 8,82 | 11,21 | 11,21 | 14,87 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | |
| Layba | 14,87 | 14,87 | 8,28 | 11,21 | 8,28 | 8,28 | 14,87 | 11,21 | 0,00 | | | | | | | | | | | | |
| Maya | 8,78 | 8,58 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 8,78 | 14,87 | 14,87 | 0,00 | | | | | | | | | | | |
| Seva | 6,88 | 8,78 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 8,22 | 14,87 | 14,87 | 8,78 | 0,00 | | | | | | | | | | |
| Pichón | 2,88 | 8,78 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 8,22 | 14,87 | 14,87 | 8,78 | 4,38 | 0,00 | | | | | | | | | |
| Pichón | 8,22 | 8,78 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 1,47 | 14,87 | 14,87 | 8,78 | 8,22 | 8,12 | 0,00 | | | | | | | | |
| Shagón | 14,87 | 14,87 | 11,21 | 0,88 | 11,21 | 11,21 | 14,87 | 8,82 | 11,21 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 0,00 | | | | | | | |
| Shagón | 8,22 | 8,78 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 1,87 | 14,87 | 14,87 | 8,78 | 4,18 | 8,22 | 3,18 | 14,87 | 0,00 | | | | | | |
| Shagón | 4,78 | 8,18 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 8,78 | 14,87 | 14,87 | 3,17 | 4,78 | 8,78 | 8,78 | 14,87 | 4,78 | 0,00 | | | | | |
| Tañón | 8,22 | 8,78 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 8,38 | 14,87 | 14,87 | 8,78 | 8,22 | 8,22 | 8,28 | 14,87 | 8,28 | 6,78 | 0,00 | | | | |
| Tañón | 8,78 | 8,78 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 8,38 | 14,87 | 14,87 | 8,78 | 8,22 | 8,22 | 8,28 | 14,87 | 8,28 | 6,78 | 3,21 | 0,00 | | | |
| Tañón | 4,78 | 2,74 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 8,78 | 14,87 | 14,87 | 2,82 | 4,78 | 8,78 | 4,78 | 14,87 | 6,78 | 2,32 | 6,78 | 6,78 | 0,00 | | |
| Tañón | 2,88 | 8,78 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 8,22 | 14,87 | 14,87 | 8,78 | 8,22 | 8,22 | 8,22 | 14,87 | 6,22 | 8,78 | 6,22 | 6,22 | 6,78 | 0,00 | |
| Tañón | 8,78 | 8,28 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 14,87 | 8,78 | 14,87 | 14,87 | 8,28 | 8,78 | 8,78 | 8,78 | 14,87 | 6,78 | 4,84 | 8,78 | 8,78 | 8,28 | 6,78 | 0,00 |

Superior: Distancia Euclídea del análisis del conglomerado de los ácidos grasos y los parámetros SFA, MUFA, PUFA y $\omega 3/\omega 6$ evaluados en los 21 aceites crudos de la semilla. Correlación cofenética= 0,975.

Inferior: Distancia Euclídea del análisis del conglomerado de los 21 aceites crudos de sacha inchi de P. huayllabambana y P. volubilis evaluados según los ácidos grasos y los parámetros SFA, MUFA, PUFA y $\omega 3/\omega 6$. Correlación cofenética= 0,659.

Anexo 9. Información del análisis de componentes principales con 11 variables morfológicas del sachu inchi.

Matriz de correlaciones según coeficientes y probabilidades, autovalores, autovectores y correlaciones con las variables morfológicas originales del análisis de componentes principales (ACP) de las 21 muestras de semillas de sachu inchi.

| Variables de clasificación | | | | | | | | | | | |
|--|---------|------------|------------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|------|
| Muestra | | | | | | | | | | | |
| Matriz de correlación/Coefficientes | | | | | | | | | | | |
| | F100sem | Pcás100sem | Falm100sem | Ralm100sem | Diam | Long | Espes | Psem | Pcás | Falm | Ralm |
| F100sem | 1.00 | | | | | | | | | | |
| Pcás100sem | -0.98 | 1.00 | | | | | | | | | |
| Falm100sem | 0.98 | 0.97 | 1.00 | | | | | | | | |
| Ralm100sem | -0.88 | -0.67 | -0.81 | 1.00 | | | | | | | |
| Diam | 0.91 | 0.89 | 0.92 | -0.88 | 1.00 | | | | | | |
| Long | 0.90 | 0.88 | 0.90 | -0.85 | 0.97 | 1.00 | | | | | |
| Espes | 0.99 | 0.98 | 0.98 | -0.84 | 0.97 | 0.98 | 1.00 | | | | |
| Psem | 0.99 | 0.98 | 0.99 | -0.84 | 0.93 | 0.91 | 0.99 | 1.00 | | | |
| Pcás | 0.99 | 0.98 | 0.98 | -0.85 | 0.93 | 0.92 | 0.98 | 1.00 | 1.00 | | |
| Falm | 0.99 | 0.98 | 0.99 | -0.84 | 0.92 | 0.91 | 0.98 | 1.00 | 0.99 | 1.00 | |
| Ralm | -0.88 | -0.68 | -0.88 | 0.87 | -0.81 | -0.85 | -0.89 | -0.89 | -0.85 | -0.88 | 1.00 |
| Matriz de correlación/Probabilidades | | | | | | | | | | | |
| | F100sem | Pcás100sem | Falm100sem | Ralm100sem | Diam | Long | Espes | Psem | Pcás | Falm | Ralm |
| F100sem | | | | | | | | | | | |
| Pcás100sem | <0.0001 | | | | | | | | | | |
| Falm100sem | <0.0001 | <0.0001 | | | | | | | | | |
| Ralm100sem | 0.0054 | 0.0008 | 0.0187 | | | | | | | | |
| Diam | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | 0.0271 | | | | | | | |
| Long | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | 0.0104 | <0.0001 | | | | | | |
| Espes | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | 0.0076 | <0.0001 | <0.0001 | | | | | |
| Psem | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | 0.0088 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | | | | |
| Pcás | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | 0.0084 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | | | |
| Falm | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | 0.0086 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | | |
| Ralm | 0.7350 | 0.7318 | 0.7239 | 0.7880 | 0.8824 | 0.8171 | 0.8234 | 0.7038 | 0.8170 | 0.8123 | |
| Autovalores | | | | | | | | | | | |
| Lambda | Valor | Proporción | Prop Acum | | | | | | | | |
| 1 | 9.01 | 0.82 | 0.82 | | | | | | | | |
| 2 | 1.02 | 0.09 | 0.92 | | | | | | | | |
| 3 | 0.68 | 0.06 | 0.97 | | | | | | | | |
| 4 | 0.25 | 0.02 | 1.00 | | | | | | | | |
| 5 | 0.03 | 2.5E-03 | 1.00 | | | | | | | | |
| 6 | 0.02 | 1.4E-03 | 1.00 | | | | | | | | |
| 7 | 4.6E-03 | 4.2E-04 | 1.00 | | | | | | | | |
| 8 | 1.3E-03 | 1.1E-04 | 1.00 | | | | | | | | |
| 9 | 3.6E-04 | 3.3E-05 | 1.00 | | | | | | | | |
| 10 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | | | | | | | | |
| 11 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | | | | | | | | |
| Autovectores | | | | | | | | | | | |
| Variables | e1 | e2 | e3 | | | | | | | | |
| F100sem | 0.33 | 0.04 | 0.04 | | | | | | | | |
| Pcás100sem | 0.33 | 0.08 | -0.11 | | | | | | | | |
| Falm100sem | 0.33 | 0.04 | 0.12 | | | | | | | | |
| Ralm100sem | -0.21 | -0.02 | 0.95 | | | | | | | | |
| Diam | 0.31 | -0.13 | 0.16 | | | | | | | | |
| Long | 0.31 | -0.07 | 0.06 | | | | | | | | |
| Espes | 0.33 | 0.08 | 0.05 | | | | | | | | |
| Psem | 0.33 | 0.03 | 0.08 | | | | | | | | |
| Pcás | 0.33 | -0.02 | 0.09 | | | | | | | | |
| Falm | 0.33 | 0.07 | 0.08 | | | | | | | | |
| Ralm | -0.04 | 0.98 | 0.02 | | | | | | | | |
| Correlaciones con las variables originales | | | | | | | | | | | |
| Variables | CP 1 | CP 2 | CP 3 | | | | | | | | |
| F100sem | 0.99 | 0.04 | 0.03 | | | | | | | | |
| Pcás100sem | 0.99 | 0.05 | -0.05 | | | | | | | | |
| Falm100sem | 0.99 | 0.04 | 0.12 | | | | | | | | |
| Ralm100sem | -0.62 | -0.02 | 0.75 | | | | | | | | |
| Diam | 0.94 | -0.13 | 0.14 | | | | | | | | |
| Long | 0.93 | -0.07 | 0.05 | | | | | | | | |
| Espes | 0.98 | 0.08 | 0.04 | | | | | | | | |
| Psem | 0.99 | 0.03 | 0.07 | | | | | | | | |
| Pcás | 0.99 | -0.02 | 0.07 | | | | | | | | |
| Falm | 0.99 | 0.07 | 0.07 | | | | | | | | |
| Ralm | -0.12 | 0.99 | 0.03 | | | | | | | | |
| Correlación canónica= 0.998 | | | | | | | | | | | |

Anexo 10. Información del análisis de componentes principales con 11 variables fisicoquímicas del aceite crudo de sachá inchi.

Matriz de correlaciones según coeficientes y probabilidades, autovalores, autovectores y correlaciones con las variables fisicoquímicas originales (PCA) de las 21 muestras de semillas de sachá inchi.

Variables de clasificación:

muestra

Matriz de correlación/Coefficientes

| | Humedad almendra | Aceite crudo | Grasa total | Densidad | Índice refracción | Ácido grasos libres | Índice saponificación | Grasas conjugadas | ELC | Índice peróxido | Índice yodo |
|-----------------------|------------------|--------------|-------------|----------|-------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-------|-----------------|-------------|
| Humedad almendra | 1.00 | | | | | | | | | | |
| Aceite crudo | -0.40 | 1.00 | | | | | | | | | |
| Grasa total | -0.23 | 0.73 | 1.00 | | | | | | | | |
| Densidad | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | | | | | | | |
| Índice refracción | 0.61 | -0.43 | -0.05 | 1.5E-1E | 1.00 | | | | | | |
| Ácido grasos libres | -0.20 | 0.22 | 0.25 | 0.00 | 0.03 | 1.00 | | | | | |
| Índice saponificación | -0.18 | 0.19 | 0.43 | 0.01 | -0.20 | 0.22 | 1.00 | | | | |
| Grasas conjugadas | -0.30 | 0.17 | -0.21 | 0.00 | -0.56 | 0.04 | 0.01 | 1.00 | | | |
| ELC | 0.02 | 0.23 | -0.42 | 0.00 | -0.16 | -0.00 | -0.08 | 0.61 | 1.00 | | |
| Índice peróxido | -0.45 | 0.06 | -0.05 | 0.00 | -0.78 | -0.19 | -2.3E-04 | 0.62 | 0.17 | 1.00 | |
| Índice yodo | -0.21 | 0.08 | 0.47 | 0.00 | -0.21 | -0.01 | 0.09 | 0.11 | -0.18 | -0.22 | 1.00 |

Matriz de correlación/Probabilidades

| | Humedad almendra | Ácido crudo | Grasa total | Densidad | Índice refracción | Ácido grasos libres | Índice saponificación | Grasas conjugadas | ELC | Índice peróxido | Índice yodo |
|-----------------------|------------------|-------------|-------------|----------|-------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|--------|-----------------|-------------|
| Humedad almendra | 0.0740 | | | | | | | | | | |
| Aceite crudo | 0.1365 | 0.1986 | | | | | | | | | |
| Grasa total | -0.0555 | 0.0909 | 0.0555 | | | | | | | | |
| Densidad | 0.0004 | 0.0219 | 0.0275 | 0.0000 | | | | | | | |
| Índice refracción | 0.1094 | 0.0309 | 0.0754 | 0.0000 | 0.0011 | | | | | | |
| Ácido grasos libres | 0.1094 | 0.0309 | 0.0754 | 0.0000 | 0.0011 | 0.0000 | | | | | |
| Índice saponificación | 0.2720 | 0.0437 | 0.0400 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | | | | |
| Grasas conjugadas | 0.1300 | 0.0300 | 0.0300 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | | | |
| ELC | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | | |
| Índice peróxido | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | |
| Índice yodo | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

Autovalores

| Autovalor | Proporción | Prop. Acum. |
|-----------|------------|-------------|
| 1 | 3.11 | 0.23 |
| 2 | 2.20 | 0.20 |
| 3 | 1.20 | 0.11 |
| 4 | 1.00 | 0.09 |
| 5 | 0.99 | 0.08 |
| 6 | 0.95 | 0.07 |
| 7 | 0.78 | 0.07 |
| 8 | 0.61 | 0.06 |
| 9 | 0.62 | 0.06 |
| 10 | 0.45 | 0.04 |
| 11 | 0.05 | 0.00 |

Autovectores

| Variable | v1 | v2 |
|-----------------------|-------|-------|
| Humedad almendra | 0.41 | -0.21 |
| Aceite crudo | -0.38 | 0.15 |
| Grasa total | -0.19 | 0.28 |
| Densidad | 0.00 | 0.00 |
| Índice refracción | 0.20 | 0.02 |
| Ácido grasos libres | -0.00 | 0.20 |
| Índice saponificación | -0.18 | 0.24 |
| Grasas conjugadas | -0.40 | -0.24 |
| ELC | 0.19 | -0.40 |
| Índice peróxido | -0.44 | -0.18 |
| Índice yodo | -0.13 | 0.23 |

Correlaciones con las variables originales

| Variable | CP 1 | CP 2 |
|-----------------------|-------|-------|
| Humedad almendra | 0.73 | -0.33 |
| Aceite crudo | -0.64 | 0.22 |
| Grasa total | -0.17 | 0.38 |
| Densidad | 0.00 | 0.00 |
| Índice refracción | 0.08 | 0.03 |
| Ácido grasos libres | 0.08 | 0.42 |
| Índice saponificación | 0.26 | 0.31 |
| Grasas conjugadas | 0.73 | -0.33 |
| ELC | -0.34 | -0.63 |
| Índice peróxido | -0.61 | -0.20 |
| Índice yodo | -0.19 | 0.33 |

Correlación canónica= 0.800

Anexo 11. Información del análisis de componentes principales con los ácidos grasos del aceite crudo de sachu inchi.

Matriz de correlaciones según coeficientes y probabilidades, autovalores, autovectores y correlaciones con ácidos grasos de las 21 muestras de semillas de sachu inchi.

| Variables de clasificación | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|------|-------|--|
| Matriz de correlación/Coefficientes | | | | | | | | | | | | |
| | C16:0 | C18:0 | C18:1 ω9 | C18:1 ω7 | C18:2 ω6 | C18:3 ω3 | C20:1 ω9 | SFA | MUFA | PUFA | ω3/ω6 | |
| C16:0 | 1.00 | | | | | | | | | | | |
| C18:0 | -0.21 | 1.00 | | | | | | | | | | |
| C18:1 ω9 | 0.19 | 0.55 | 1.00 | | | | | | | | | |
| C18:1 ω7 | 0.89 | -0.54 | -0.10 | 1.00 | | | | | | | | |
| C18:2 ω6 | -0.06 | 0.33 | -0.02 | -0.11 | 1.00 | | | | | | | |
| C18:3 ω3 | -0.13 | -0.52 | -0.38 | 0.05 | -0.91 | 1.00 | | | | | | |
| C20:1 ω9 | -0.59 | 0.05 | 0.16 | -0.59 | -0.49 | 0.47 | 1.00 | | | | | |
| SFA | 0.75 | 0.48 | 0.55 | 0.43 | 0.16 | -0.47 | -0.50 | 1.00 | | | | |
| MUFA | 0.25 | 0.52 | 1.00 | -0.04 | -0.04 | -0.36 | 0.14 | 0.57 | 1.00 | | | |
| PUFA | -0.45 | -0.56 | -0.95 | -0.12 | -0.03 | 0.44 | 0.07 | -0.78 | -0.96 | 1.00 | | |
| ω3/ω6 | 0.03 | -0.42 | -0.11 | 0.13 | -0.95 | 0.95 | 0.45 | -0.26 | -0.09 | 0.16 | 1.00 | |

| Matriz de correlación/Probabilidades | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|--------|-------|--|
| | C16:0 | C18:0 | C18:1 ω9 | C18:1 ω7 | C18:2 ω6 | C18:3 ω3 | C20:1 ω9 | SFA | MUFA | PUFA | ω3/ω6 | |
| C16:0 | | | | | | | | | | | | |
| C18:0 | 0.3664 | | | | | | | | | | | |
| C18:1 ω9 | 0.3977 | 0.0095 | | | | | | | | | | |
| C18:1 ω7 | <0.0001 | 0.0120 | 0.6627 | | | | | | | | | |
| C18:2 ω6 | 0.7894 | 0.1562 | 0.9405 | 0.6398 | | | | | | | | |
| C18:3 ω3 | 0.5763 | 0.0155 | 0.0924 | 0.6319 | <0.0001 | | | | | | | |
| C20:1 ω9 | 0.0047 | 0.8359 | 0.4798 | 0.0049 | 0.0232 | 0.0314 | | | | | | |
| SFA | 0.0001 | 0.0248 | 0.0106 | 0.0516 | 0.4865 | 0.0332 | 0.0223 | | | | | |
| MUFA | 0.2841 | 0.0167 | <0.0001 | 0.8521 | 0.8792 | 0.1047 | 0.5368 | 0.0075 | | | | |
| PUFA | 0.0418 | 0.0079 | <0.0001 | 0.4151 | 0.8979 | 0.0459 | 0.7732 | <0.0001 | <0.0001 | | | |
| ω3/ω6 | 0.8847 | 0.0556 | 0.6498 | 0.5816 | <0.0001 | <0.0001 | 0.0388 | 0.2641 | 0.7077 | 0.5005 | | |

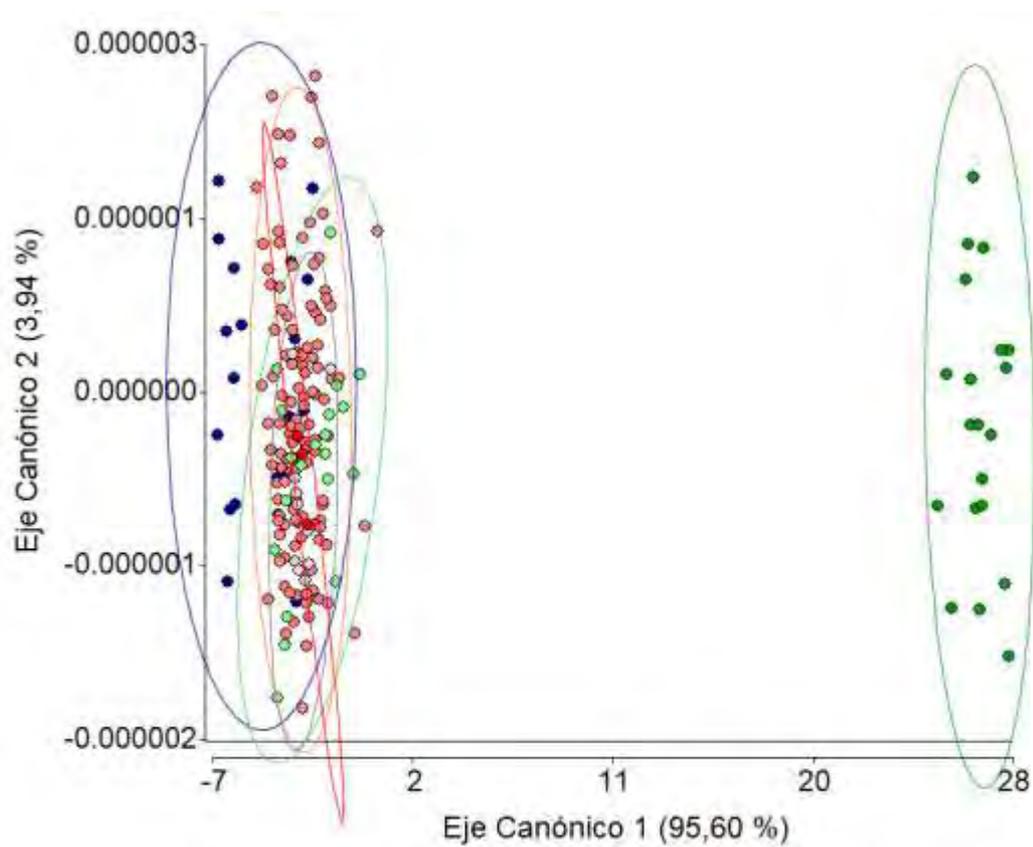
| Autovalores | | | |
|-------------|---------|------------|-----------|
| Lambda | Valor | Proporción | Prop Acum |
| 1 | 4.64 | 0.42 | 0.42 |
| 2 | 2.80 | 0.25 | 0.68 |
| 3 | 2.78 | 0.25 | 0.93 |
| 4 | 0.87 | 0.08 | 0.98 |
| 5 | 0.15 | 0.02 | 1.00 |
| 6 | 0.04 | 3.8E-03 | 1.00 |
| 7 | 4.8E-03 | 4.4E-04 | 1.00 |
| 8 | 1.4E-04 | 1.3E-05 | 1.00 |
| 9 | 0.00 | 0.00 | 1.00 |
| 10 | 0.00 | 0.00 | 1.00 |
| 11 | 0.00 | 0.00 | 1.00 |

| Autovectores | | | |
|--------------|-------|-------|-------|
| Variables | e1 | e2 | e3 |
| C16:0 | -0.21 | -0.29 | 0.44 |
| C18:0 | -0.30 | 0.12 | -0.33 |
| C18:1 ω9 | -0.55 | -0.25 | -0.27 |
| C18:1 ω7 | -0.06 | -0.24 | 0.33 |
| C18:2 ω6 | -0.33 | 0.50 | 0.10 |
| C18:3 ω3 | 0.37 | -0.34 | -0.04 |
| C20:1 ω9 | 0.18 | -0.18 | -0.48 |
| SFA | -0.39 | -0.10 | 0.17 |
| MUFA | -0.25 | -0.27 | -0.24 |
| PUFA | 0.40 | 0.27 | 0.12 |
| ω3/ω6 | 0.28 | -0.47 | -0.04 |

| Correlaciones con las variables originales | | | |
|--|-------|-------|-------|
| Variables | CP 1 | CP 2 | CP 3 |
| C16:0 | -0.44 | -0.48 | 0.73 |
| C18:0 | -0.45 | 0.19 | -0.55 |
| C18:1 ω9 | -0.76 | -0.41 | -0.45 |
| C18:1 ω7 | -0.13 | -0.43 | 0.87 |
| C18:2 ω6 | -0.49 | 0.04 | 0.17 |
| C18:3 ω3 | 0.80 | -0.57 | -0.07 |
| C20:1 ω9 | 0.39 | -0.29 | -0.78 |
| SFA | -0.53 | -0.31 | 0.29 |
| MUFA | -0.76 | -0.45 | -0.40 |
| PUFA | 0.87 | 0.44 | 0.21 |
| ω3/ω6 | 0.60 | -0.78 | -0.10 |

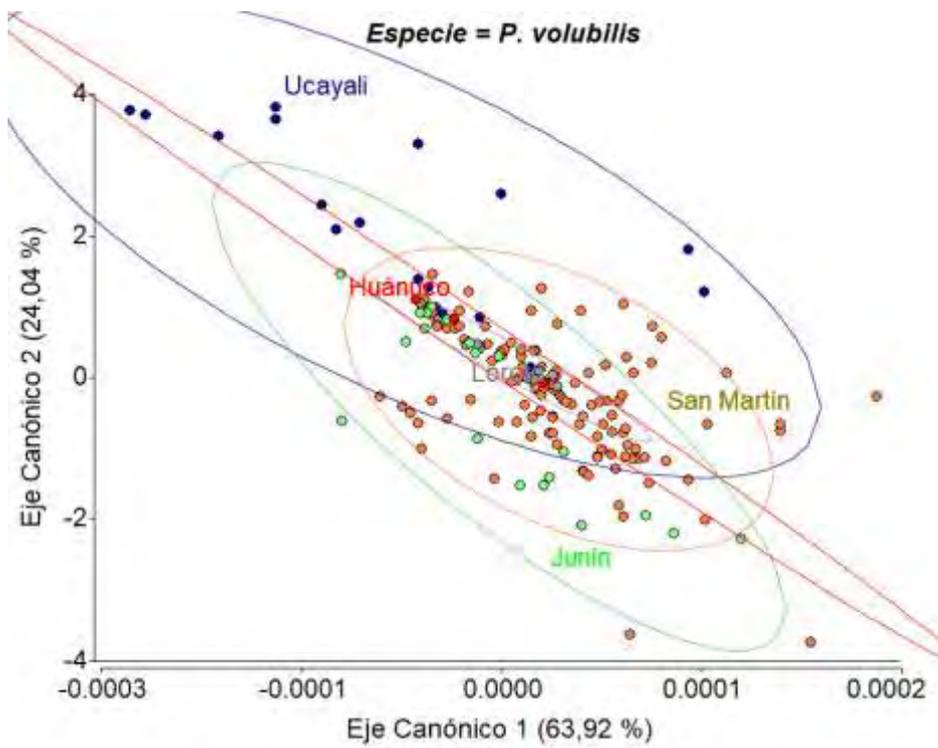
Correlación canónica= 0.886

Anexo 12. Información del análisis discriminante morfológico en semillas de sachá inchi (*P. huayllabambana* y *P. volubilis*).



| Variables | | | | | | | | |
|---|---------------------------|------------------------------|------------------------------|----------|------------|---------|-------|-----------|
| Peso 100 semillas | Peso cáscara 100 semillas | Peso almendra 100 semillas.. | Rendimiento almendra 100 s.. | Diámetro | Longitud | Espesor | | |
| Peso cáscara | Peso almendra | Rendimiento almendra | Peso semilla | | | | | |
| Variables de clasificación | | | | | | | | |
| <u>Región</u> | | | | | | | | |
| Alguna matriz de covarianzas dentro es singular | | | | | | | | |
| Grupo | N | Ranko | ln(Det) | | | | | |
| Amazonas | 20 | 10 | | | | | | |
| Huánuco | 5 | 5 | | | | | | |
| Junín | 20 | 10 | | | | | | |
| Loreto | 10 | 10 | | | | | | |
| San Martín | 123 | 10 | | | | | | |
| Ucayali | 20 | 10 | | | | | | |
| Autovalores de $\text{inv}(E)H$ | | | | | | | | |
| Autovalores | % | % acumulado | | | | | | |
| 85.48 | 95.60 | 95.60 | | | | | | |
| 3.82 | 3.94 | 99.54 | | | | | | |
| 0.24 | 0.27 | 99.81 | | | | | | |
| 0.13 | 0.14 | 99.95 | | | | | | |
| 0.04 | 0.04 | 100.00 | | | | | | |
| Funciones discriminantes canónicas | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | | | | | | |
| Constante | -22.54 | 4.3E-05 | | | | | | |
| Peso 100 semillas | 0.30 | -661272.03 | | | | | | |
| Peso cáscara 100 semillas | -0.11 | 661272.03 | | | | | | |
| Peso almendra 100 semillas.. | -0.20 | 661272.03 | | | | | | |
| Rendimiento almendra 100 s.. | 0.11 | -4.5E-07 | | | | | | |
| Diámetro | -0.22 | 1.0E-07 | | | | | | |
| Longitud | -0.22 | -3.1E-07 | | | | | | |
| Espesor | 0.27 | 7.3E-07 | | | | | | |
| Peso semilla | 2.46 | 6585.24 | | | | | | |
| Peso cáscara | 4.71 | -6585.24 | | | | | | |
| Peso almendra | -2.28 | -6585.24 | | | | | | |
| Rendimiento almendra | 4.9E-05 | -4.2E-08 | | | | | | |
| Funciones discriminantes - datos estandarizados con las varianzas comunes | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | | | | | | |
| Peso 100 semillas | 1.99 | -4335000.74 | | | | | | |
| Peso cáscara 100 semillas | -0.54 | 3250473.41 | | | | | | |
| Peso almendra 100 semillas.. | -1.20 | 3918674.00 | | | | | | |
| Rendimiento almendra 100 s.. | 0.25 | -1.5E-06 | | | | | | |
| Diámetro | -0.27 | 2.2E-07 | | | | | | |
| Longitud | -0.27 | -4.1E-07 | | | | | | |
| Espesor | 0.16 | 4.6E-07 | | | | | | |
| Peso semilla | 0.53 | 1416.23 | | | | | | |
| Peso cáscara | 0.32 | -443.62 | | | | | | |
| Peso almendra | -0.38 | -1098.73 | | | | | | |
| Rendimiento almendra | 0.02 | -2.0E-07 | | | | | | |
| Centroides en el espacio discriminante | | | | | | | | |
| Grupo | Eje 1 | Eje 2 | | | | | | |
| Amazonas | 26.95 | -3.3E-08 | | | | | | |
| Huánuco | -2.82 | -3.5E-07 | | | | | | |
| Junín | -2.39 | -3.4E-07 | | | | | | |
| Loreto | -2.62 | -5.5E-07 | | | | | | |
| San Martín | -2.94 | 5.7E-06 | | | | | | |
| Ucayali | -4.66 | 2.4E-07 | | | | | | |
| Tabla de clasificación cruzada (tasa de error aparente) | | | | | | | | |
| Grupo | Amazonas | Huánuco | Junín | Loreto | San Martín | Ucayali | Total | Error (%) |
| Amazonas | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0.00 |
| Huánuco | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0.00 |
| Junín | 0 | 1 | 12 | 4 | 3 | 0 | 20 | 40.00 |
| Loreto | 0 | 3 | 0 | 6 | 1 | 0 | 10 | 40.00 |
| San Martín | 0 | 6 | 19 | 21 | 67 | 10 | 123 | 45.53 |
| Ucayali | 0 | 4 | 0 | 1 | 3 | 12 | 20 | 40.00 |
| Total | 20 | 17 | 31 | 32 | 74 | 22 | 196 | 38.78 |

Información del análisis discriminante morfológico en semillas de *P. volubilis*.



VARIABLES

| | | | |
|-------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Peso 100 semillas | Peso cáscara 100 semillas | Peso almendra 100 semillas.. | Rendimiento almendra 100 s.. |
| Diámetro | Longitud | Espeor | Peso semilla |
| Peso cáscara | Peso almendra | Rendimiento almendra | |

VARIABLES DE CLASIFICACIÓN

Región

Alguna matriz de covarianzas dentro es singular

| Grupo | n | Rango ln(Det) |
|------------|-----|---------------|
| Huánuco | 3 | 3 |
| Junin | 20 | 10 |
| Loreto | 10 | 10 |
| San Martín | 123 | 10 |
| Ucayali | 20 | 10 |

Autovalores de Inv(E)H

| Autovalores | % | % acumulado |
|-------------|-------|-------------|
| 1.69 | 63.92 | 63.92 |
| 0.64 | 24.04 | 87.96 |
| 0.23 | 8.59 | 96.55 |
| 0.08 | 3.20 | 99.75 |

Funciones discriminantes canónicas

| | 1 | 2 |
|------------------------------|------------|---------|
| Constante | 0.03 | -252.17 |
| Peso 100 semillas | -450701.13 | -11.85 |
| Peso cáscara 100 semillas | 450701.13 | 14.11 |
| Peso almendra 100 semillas.. | 450701.13 | 10.29 |
| Rendimiento almendra 100 s.. | -5.3E-04 | 4.36 |
| Diámetro | -5.8E-06 | -0.06 |
| Longitud | 1.8E-05 | -0.23 |
| Espeor | -1.1E-05 | 0.16 |
| Peso semilla | -853.09 | 1.63 |
| Peso cáscara | 853.09 | 1.45 |
| Peso almendra | 853.09 | 0.25 |
| Rendimiento almendra | 2.3E-06 | -0.04 |

Funciones discriminantes - datos estandarizados con las varianzas comunes

| | 1 | 2 |
|------------------------------|-------------|--------|
| Peso 100 semillas | -3038459.15 | -79.89 |
| Peso cáscara 100 semillas | 3589478.51 | 49.75 |
| Peso almendra 100 semillas.. | 3119332.68 | 48.38 |
| Rendimiento almendra 100 s.. | -1.1E-03 | 8.97 |
| Diámetro | -7.3E-06 | -0.97 |
| Longitud | 2.0E-05 | -0.37 |
| Espeor | -6.7E-06 | 0.10 |
| Peso semilla | -169.71 | 0.32 |
| Peso cáscara | 56.89 | 0.10 |
| Peso almendra | 124.20 | 0.04 |
| Rendimiento almendra | 1.1E-05 | -0.27 |

Centroides en el espacio discriminante

| Grupo | Eje 1 | Eje 2 |
|------------|----------|-------|
| Huánuco | -3.5E-05 | 0.66 |
| Junin | -1.0E-05 | -0.43 |
| Loreto | -1.2E-05 | 0.24 |
| San Martín | 1.7E-05 | -0.31 |
| Ucayali | -7.4E-05 | 2.14 |

Tabla de clasificación cruzada (tasa de error aparente)

| Grupo | Huánuco | Junin | Loreto | San Martín | Ucayali | Total | Error(%) |
|------------|---------|-------|--------|------------|---------|-------|----------|
| Huánuco | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0.00 |
| Junin | 3 | 13 | 2 | 2 | 0 | 20 | 35.00 |
| Loreto | 4 | 9 | 8 | 1 | 0 | 10 | 50.00 |
| San Martín | 7 | 12 | 20 | 78 | 6 | 123 | 36.59 |
| Ucayali | 3 | 0 | 1 | 3 | 13 | 20 | 35.00 |
| Total | 20 | 25 | 28 | 84 | 19 | 176 | 36.36 |

Anexo 13. Información del análisis discriminante de propiedades fisicoquímicas de los aceites crudos de sachá inchi (*P. huayllabambana* y *P. volubilis*).

Análisis discriminante

K-vecinos mas cercanos

Casos leídos 21
Casos omitidos 0

Variabales

| | | | |
|------------------------|---|--------------------------------------|-------------------|
| Humedad almendra | Aceite crudo | Grasa total | Densidad |
| Índice refracción K268 | Ácidos grasos libres Índice peróxido | Índice saponificación Índice yodo | Dienes conjugados |

Variabales de clasificación

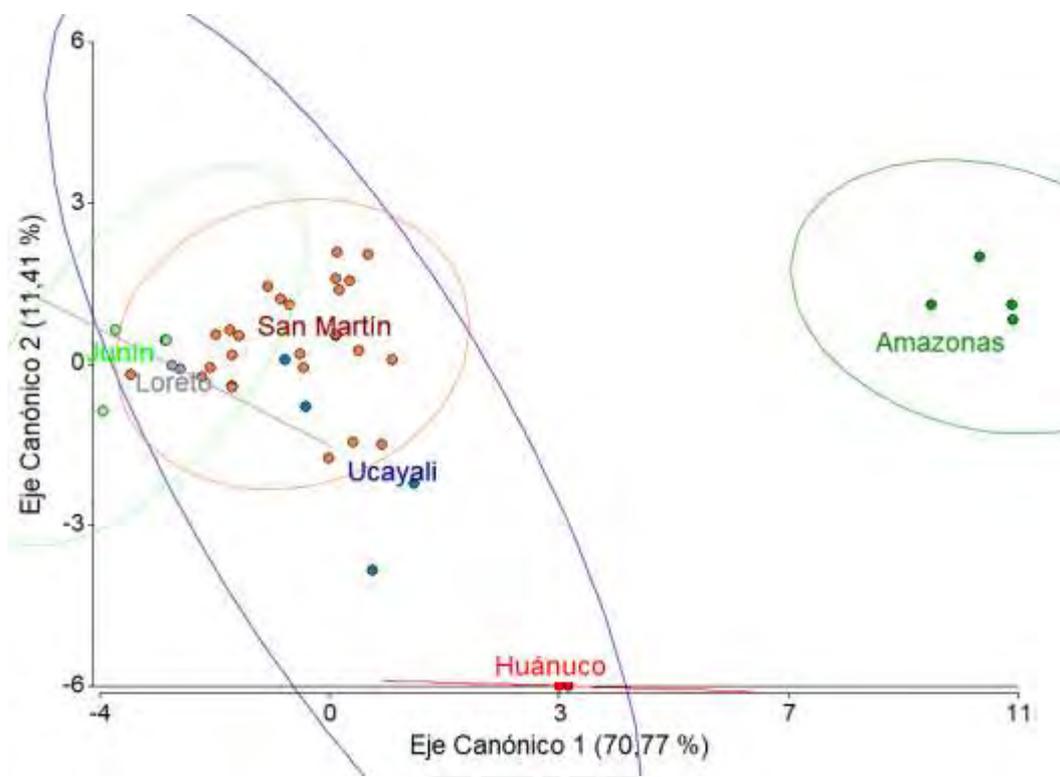
Región

Variabales estandarizadas
Distancia: (Euclídea)
k:=1

Tabla de clasificación cruzada (tasa de error aparente)

| | Amazonas | Huánuco | Junín | Loreto | San Martín | Ucayali | Total | Error(%) |
|------------|----------|---------|-------|--------|------------|---------|-------|----------|
| Amazonas | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 50.00 |
| Huánuco | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 100.00 |
| Junín | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 100.00 |
| Loreto | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 100.00 |
| San Martín | 0 | 0 | 2 | 1 | 10 | 0 | 13 | 23.08 |
| Ucayali | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 100.00 |
| Total | 1 | 0 | 2 | 1 | 16 | 1 | 21 | 47.62 |

Anexo 14. Información del análisis discriminante de ácidos grasos de los aceites crudos de sacha inchi (*P. huayllabambana* y *P. volubilis*).



VARIABLES

C16:0 C18:0 C18:1 w9 C18:1 w7
 C18:2 w6 C18:3 w3 C20:1 w9 SFA
 MUFA PUFA w3/w6

VARIABLES DE CLASIFICACIÓN

Región

Alguna matriz de covarianzas dentro es singular

| Grupo | n | Rango | ln(Det) |
|------------|----|-------|---------|
| Amazonas | 4 | 3 | |
| Huánuco | 2 | 2 | |
| Junin | 4 | 4 | |
| Loreto | 2 | 2 | |
| San Martín | 26 | 9 | |
| Ucayali | 4 | 5 | |

Autovalores de Inv(R)H

| Autovalores | % | % acumulado |
|-------------|-------|-------------|
| 15.59 | 70.77 | 70.77 |
| 2.51 | 11.41 | 82.17 |
| 2.36 | 10.72 | 92.90 |
| 0.78 | 3.53 | 96.43 |
| 0.51 | 2.31 | 98.73 |

Funciones discriminantes canónicas

| | 1 | 2 |
|-----------|---------|----------|
| Constante | -663.08 | -2351.62 |
| C16:0 | 2.16 | 88.99 |
| C18:0 | -6.74 | 82.88 |
| C18:1 w9 | -6.43 | 8.99 |
| C18:1 w7 | -7.95 | -7.28 |
| C18:2 w6 | 12.58 | -153.49 |
| C18:3 w3 | 10.53 | -153.66 |
| C20:1 w9 | 27.14 | 18.83 |
| SFA | 9.22 | -61.17 |
| MUFA | 13.19 | 13.54 |
| PUFA | -8.56 | 177.18 |
| w3/w6 | 35.41 | -1.18 |

Funciones discriminantes - datos estandarizados con las varianzas comunes

| | 1 | 2 |
|----------|-------|---------|
| C16:0 | 0.60 | 24.72 |
| C18:0 | -1.64 | 20.22 |
| C18:1 w9 | -4.85 | 6.79 |
| C18:1 w7 | -0.39 | -0.36 |
| C18:2 w6 | 30.16 | -367.96 |
| C18:3 w3 | 32.36 | -471.99 |
| C20:1 w9 | 0.57 | 0.39 |
| SFA | 3.67 | -25.67 |
| MUFA | 9.80 | 10.07 |
| PUFA | -5.80 | 184.98 |
| w3/w6 | 8.15 | -0.20 |

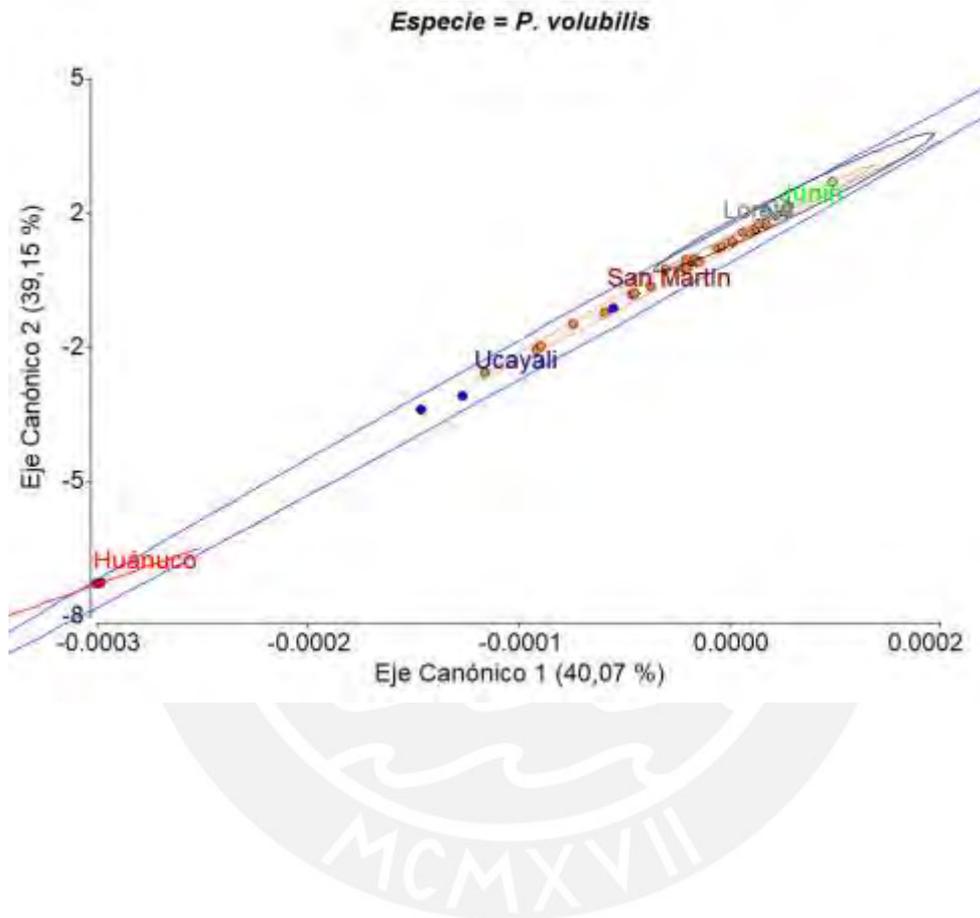
Centroides en el espacio discriminante

| Grupo | Eje 1 | Eje 2 |
|------------|-------|-------|
| Amazonas | 10.46 | 1.32 |
| Huánuco | 3.47 | -5.52 |
| Junin | -3.62 | 0.24 |
| Loreto | -2.98 | 0.02 |
| San Martín | -1.04 | 0.45 |
| Ucayali | -0.18 | -1.59 |

Tabla de clasificación cruzada (tasa de error aparente)

| Grupo | Amazonas | Huánuco | Junin | Loreto | San Martín | Ucayali | Total | Error(%) |
|------------|----------|---------|-------|--------|------------|---------|-------|----------|
| Amazonas | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0.00 |
| Huánuco | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0.00 |
| Junin | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0.00 |
| Loreto | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0.00 |
| San Martín | 0 | 0 | 0 | 2 | 22 | 2 | 26 | 15.38 |
| Ucayali | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 4 | 25.00 |
| Total | 4 | 2 | 4 | 4 | 23 | 5 | 42 | 11.90 |

Anexo 15. Información del análisis discriminante de ácidos grasos de los aceites crudos de *P. volubilis*.



Variables

C16:0 C18:0 C18:1 w9 C18:1 w7
 C18:2 w6 C18:3 w3 C20:1 w9 SFA
 MUFA PUFA w3/w6

Variables de clasificación

Región

Alguna matriz de covarianzas dentro es singular

| Grupo | n | Rango | ln(Det) |
|------------|----|-------|---------|
| Huánuco | 3 | 2 | |
| Junin | 4 | 4 | |
| Loreto | 2 | 2 | |
| San Martín | 26 | 9 | |
| Ucayali | 4 | 5 | |

Autovalores de Inv(E)H

| Autovalores | % | % acumulado |
|-------------|-------|-------------|
| 4.25 | 40.07 | 40.07 |
| 4.15 | 39.15 | 79.22 |
| 1.03 | 9.75 | 88.98 |
| 0.88 | 8.32 | 97.30 |

Funciones discriminantes canónicas

| | 1 | 2 |
|-----------|-------------|----------|
| Constante | -0.06 | -1015.15 |
| C16:0 | 1082347.42 | -51.41 |
| C18:0 | 1082347.42 | -50.48 |
| C18:1 w9 | -35580.79 | 5.66 |
| C18:1 w7 | -35580.79 | -4.44 |
| C18:2 w6 | -1896360.59 | 98.64 |
| C18:3 w3 | -1896360.59 | 100.11 |
| C20:1 w9 | -35580.79 | 1.60 |
| SFA | -1082347.42 | 62.19 |
| MUFA | 35580.79 | -0.36 |
| PUFA | 1896360.60 | -88.74 |
| w3/w6 | -1.3E-03 | -27.25 |

Funciones discriminantes - datos estandarizados con las varianzas comunes

| | 1 | 2 |
|----------|-------------|--------|
| C16:0 | 308376.38 | -14.65 |
| C18:0 | 266486.39 | -12.43 |
| C18:1 w9 | -27713.54 | 7.53 |
| C18:1 w7 | -1820.73 | -0.23 |
| C18:2 w6 | -4734926.73 | 246.28 |
| C18:3 w3 | -6029947.79 | 318.33 |
| C20:1 w9 | -777.56 | 0.04 |
| SFA | -456235.38 | 26.21 |
| MUFA | 27312.23 | -0.28 |
| PUFA | 2017529.27 | -84.41 |
| w3/w6 | -2.4E-04 | -5.04 |

Centroides en el espacio discriminante

| Grupo | Eje 1 | Eje 2 |
|------------|----------|-------|
| Huánuco | -3.4E-04 | -7.20 |
| Junin | 0.8E-05 | 2.01 |
| Loreto | 8.1E-05 | 1.73 |
| San Martín | 1.6E-05 | 0.33 |
| Ucayali | -6.4E-05 | -1.43 |

Tabla de clasificación cruzada (tasa de error aparente)

| Grupo | Huánuco | Junin | Loreto | San Martín | Ucayali | Total | Error(%) |
|------------|---------|-------|--------|------------|---------|-------|----------|
| Huánuco | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0.00 |
| Junin | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0.00 |
| Loreto | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0.00 |
| San Martín | 0 | 0 | 2 | 22 | 2 | 26 | 15.38 |
| Ucayali | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 4 | 25.00 |
| Total | 2 | 4 | 4 | 23 | 5 | 38 | 13.16 |

Anexo 16. Capacitación en Laboratorio del Instituto Tecnológico Pesquero del Perú.

 **PERÚ** Ministerio de la Producción
Instituto Tecnológico Pesquero del Perú

"Año de la Unión Nacional frente a la Crisis Externa"
"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"

UNMSM
Facultad de Farmacia y Bioquímica
Escuela de Trámite Documentario y Archivos

Expediente 03394
Fecha 31/8/9 Recibido por [Signature]

Callao, **28 AGO. 2009**

Oficio N° 344-2009-ITP/DE

Señora Doctora
ARIMÍ GORRITI GUTIÉRREZ
Directora CLEIBA
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Presente.-

ASUNTO : Solicita ensayos de cromatografía y pasantía.
REFERENCIA : Carta s/n UNMSM-Fac. Farm y BQ., del 18.08.09

Es grato dirigirme a usted, en atención a su documento de la referencia, mediante el cual nos solicita el apoyo para brindar una pasantía en nuestros laboratorios al Ing. Fredy Quispe Jacobo, estudiante de maestría de su universidad.

Al respecto, nos será grato recibir al Ing. F. Quispe J. por el periodo de tres (3) días, a fin que realice la pasantía solicitada. Para las coordinaciones del caso, tenga la amabilidad de comunicarse con el Bigo Miguel Albrecht Ruiz al teléfono 577-0118 Anexo 131 o al correo electrónico: malbrecht@itp.org.pe.

Es propicia la oportunidad para expresarle los sentimientos de mi especial consideración.

Atentamente,

Instituto Tecnológico Pesquero del Perú

Ing. JUAN NEIRA GRANDA
Director Ejecutivo (e)

Anexo 17. Informe de ensayo del análisis cromatográfico de los aceites crudos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* del Instituto Tecnológico Pesquero del Perú.



INFORME DE ENSAYO N° 286-09

Anexo 1

| Ácidos grasos | Cn:m | 1 (%) | 2 (%) |
|-----------------------|-------------------|-------|-------|
| Butírico | 04:0 | nd | nd |
| Caproico | 06:0 | nd | nd |
| Caprílico | 08:0 | nd | nd |
| Cáprico | 10:0 | nd | nd |
| Undecanoico | 11:0 | nd | nd |
| Láurico | 12:0 | nd | nd |
| Tridecanoico | 13:0 | nd | nd |
| Mirístico | 14:0 | nd | nd |
| Miristoleico | 14:1 | nd | nd |
| Pentadecaenoico | 15:0 | nd | nd |
| Cis-10-Pentadecenoico | 15:1 | nd | nd |
| Palmitico | 16:0 | 3,97 | 3,94 |
| Palmitoleico | 16:1 | nd | nd |
| Heptadecaenoico | 17:0 | nd | nd |
| Cis-10-Heptadecenoico | 17:1 | nd | nd |
| Estearico | 18:0 | 3,46 | 3,47 |
| Oleico | 18:1 ω -9 | 9,23 | 9,25 |
| Vaccenico | 18:1 ω -7 | 0,50 | 0,50 |
| Linoleico | 18:2 ω -6 | 34,17 | 34,18 |
| γ -Linoléénico | 18:3 ω -6 | nd | nd |
| α -Linoléénico | 18:3 ω -3 | 48,36 | 48,36 |
| Estearidónico | 18:4 ω -3 | nd | nd |
| Araquídico | 20:0 | nd | nd |
| Eicosaenoico | 20:1 ω -9 | 0,30 | 0,30 |
| Eicosadienoico | 20:2 | nd | nd |
| Eicosatrienoico | 20:3 ω -6 | nd | nd |
| Eneicosaenoico | 21:0 | nd | nd |
| Eicosatrienoico | 20:3 ω -3 | nd | nd |
| Araquidónico | 20:4 ω -6 | nd | nd |
| Eicosapentaenoico | 20:5 ω -3 | nd | nd |
| Behénico | 22:0 | nd | nd |
| Cetoleico | 22:1 ω -11 | nd | nd |
| Erucico | 22:1 ω -9 | nd | nd |
| Docosadienoico | 22:2 | nd | nd |
| Tricosanoico | 23:0 | nd | nd |
| Lignocérico | 24:0 | nd | nd |
| Clupadónico | 22:5 ω -3 | nd | nd |
| Docosahexaenoico | 22:6 ω -3 | nd | nd |
| Nervónico | 24:1 ω -9 | nd | nd |

nd : No determinado

Queda prohibida la reproducción parcial del presente documento sin la autorización de LABS-ITP

CARRETERA A VENTANILLA KM 5,200 - TELFS. 5770116 - 5770118 - CASILLA 360 - CALLAO I PERU
TELEFAX: 5773130 E-mail: postmast@itp.org.pe