



TESIS DE DOCTORADO

ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD
MORFOLÓGICA Y ECO-GEOGRÁFICA EN
TRES CULTIVOS ANDINOS DEL
ECUADOR: EL CASO DEL TARWI (*Lupinus
mutabilis* Sweet.), **JÍCAMA** (*Smallanthus
sonchifolius* [Poepp. & Endl.] H. Robinson),
Y MISO (*Mirabilis expansa* Ruiz & Pav.
Standley.).

DORIS SALOMÉ CHALAMPUENTE FLORES

ESCUELA DE DOCTORADO INTERNACIONAL DE LA UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE
COMPOSTELA

PROGRAMA DE DOCTORADO EN INVESTIGACIÓN AGRARIA Y FORESTAL

LUGO (ESPAÑA)

2021

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser pilar fundamental de mi vida.

Un agradecimiento muy especial a mis directores, María Rosa Mosquera, Antonio M. de Ron, César Tapia Bastidas, por sus invaluable aportaciones académicas, por su experiencia, consejos y tiempo que han dedicado para guiarme en este proceso de aprendizaje y formación. Sin ustedes no habría llegado a cumplir con esta investigación.

A la Universidad Técnica del Norte y en especial a mis compañeros Julia, María José, Miguel, Ima y Marisita y demás compañeros muchas gracias por su apoyo incondicional.

Al Departamento de Recursos Fitogenéticos del Instituto Nacional Investigaciones Agropecuarias, por el apoyo técnico brindado para el desarrollo de esta investigación.

A mi familia, gracias por su apoyo y comprensión, por darme la fuerza para seguir adelante, por ser luz, gracias por enseñarme que la perseverancia construye caminos. Gracias por todo lo que han hecho por mí, por su compañía y oraciones.

Gracias de corazón...

Doris Chalampunte Flores

Dra. María Rosa Mosquera Losada, Catedrática de Producción Vegetal y Proyectos de Ingeniería en la Universidad de Santiago de Compostela (Lugo, España), **Dr. Antonio Miguel De Ron Pedreira**, Profesor de Investigación en la Misión Biológica de Galicia del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Pontevedra, España), **Dr. César Guillermo Tapia Bastidas**, Responsable del Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Quito, Ecuador).

INFORMAN:

Que la presente Tesis Doctoral “ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD MORFOLÓGICA Y ECOGEOGRÁFICA EN TRES CULTIVOS ANDINOS DEL ECUADOR: EL CASO DEL TARWI (*Lupinus mutabilis* Sweet.), JÍCAMA (*Smallanthus sonchifolius* [Poepp. & Endl.] H. Robinson), Y MISO (*Mirabilis expansa* Ruiz & Pav. Standley.)” se corresponde con el trabajo realizado por la doctoranda **Doris Salomé Chalampunte Flores** bajo nuestra inmediata dirección, y autorizamos su presentación, considerando que reúne los requisitos exigidos en el Reglamento de Estudios de Doctorado de la Universidad de Santiago de Compostela, y que como directores no incurrimos en las causas de abstención establecidas en la Ley 40/2015.

En Lugo, España, a 22 de Julio de 2021

D./Dña. Doris Salomé Chalampunte Flores

Título de la tesis: ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD MORFOLÓGICA Y ECO-GEOGRÁFICA EN TRES CULTIVOS ANDINOS DEL ECUADOR: EL CASO DEL TARWI (*Lupinus mutabilis* Sweet.), JÍCAMA (*Smallanthus sonchifolius* [Poepp. & Endl.] H. Robinson), Y MISO (*Mirabilis expansa* Ruiz & Pav. Standley.).

Presento mi tesis, siguiendo el procedimiento adecuado al Reglamento y declaro que:

- 1) La tesis abarca los resultados de la elaboración de mi trabajo.
- 2) De ser el caso, en la tesis se hace referencia a las colaboraciones que tuvo este trabajo.
- 3) Confirmando que la tesis no incurre en ningún tipo de plagio de otros autores ni de trabajos presentados por mí para la obtención de otros títulos.
- 4) La tesis es la versión definitiva presentada para su defensa y coincide la versión impresa con la presentada en formato electrónico.

Y me comprometo a presentar el Compromiso Documental de Supervisión en el caso que el original no esté depositado en la Escuela.

En Otavalo, 23 de julio de 2021.

Firma electrónica

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Origen y diversidad de granos y raíces andinas	1
1.2 Tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet)	1
1.2.1 Origen y distribución del tarwi	1
1.2.2 Importancia económica y usos del tarwi	3
1.2.3 Descripción taxonomía y botánica del tarwi	4
1.3 Jícama o yacón (<i>Smallanthus sonchifolius</i> [Poepp. & Endl.] H. Robinson)	6
1.3.2 Origen y distribución de la jícama o yacón	6
1.3.3 Importancia económica y usos de la jícama	7
1.3.4 Descripción taxonomía y botánica e la jícama	8
1.4 Miso o mauka (<i>Mirabilis expansa</i> (Ruíz & Pav.) Standley)	9
1.4.1 Origen y distribución del miso	9
1.4.2 Importancia económica y usos del miso	10
1.4.3 Descripción taxonomía y botánica del miso	11
1.5 Conservación <i>in situ</i> y <i>ex situ</i> de la agrobiodiversidad	12
1.5.1 Conservación <i>ex situ</i> de la agrobiodiversidad en Ecuador	13
1.5.2 Conservación <i>in situ</i> de la agrobiodiversidad en Ecuador.....	13
1.6 Caracterización de germoplasma.....	14
1.6.1 Caracterización morfológica del germoplasma	14
1.6.2 Caracterización ecogeográfica del germoplasma	14
1.7 Puntos calientes y vacíos de representatividad.....	15
1.7.1 Puntos calientes de agrobiodiversidad.....	15
1.7.2 Vacíos de representatividad.....	16
1.8 Denominaciones	17
2. OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo General.....	18
2.2 Objetivos Específicos	18
CAPÍTULO 1.	19
ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE TARWI (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet) EN LA REGIÓN ALTOANDINA DE ECUADOR	19
1.1 Introducción.....	19
1.2 Materiales y Métodos	21
1.2.1 Material genético	21
1.2.2 Caracterización de germoplasma.....	21
1.2.2.1 Diseño experimental	21
1.2.2.2 Características del sitio.....	22
1.2.2.3 Manejo agronómico	22
1.2.2.4 Variables evaluadas	22
1.2.3 Análisis estadístico	24
1.3 Resultados.....	24
1.3.1 Variabilidad genética en la colección de tarwi del Ecuador.....	24
1.3.1.1 Caracteres cuantitativos	24
1.3.1.2 Caracteres cualitativos	25
1.3.2 Análisis de componentes principales (ACP)	26
1.3.3 Análisis de correspondencia múltiple (ACM)	28
1.3.4 Análisis de conglomerados	29

1.3.5 Variabilidad morfológica de variables cuantitativas a nivel grupal	32
1.3.6 Variabilidad morfológica de variables cualitativas a nivel grupal	33
1.4 Discusión	36
1.5 Conclusiones.....	39
CAPÍTULO 2.	40
CARACTERIZACIÓN ECOGEOGRÁFICA DE LA COLECCIÓN DE TARWI (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet) EN LA REGIÓN ALTOANDINA DE ECUADOR	40
2.1 Introducción.....	40
2.2 Materiales y Métodos	42
2.2.1 Área de estudio	42
2.2.2 Colección de germoplasma.....	42
2.2.3 Selección de variables (Herramienta SelecVar)	42
2.2.4 Mapa de caracterización ecogeográfico del terreno o ELC	44
2.2.5 Caracterización ecogeográfica.....	44
2.2.6 Mapa de diversidad ecogeográfica - DIV mapas.....	45
2.2.7 Análisis de correlación de Mantel	45
2.3 Resultados.....	46
2.3.1 Mapa ELC.....	46
2.3.2 Caracterización ecogeográfica del tarwi a nivel nacional	48
2.3.3 Variabilidad ecogeográfica identificada en grupos de accesiones de la colección de tarwi.....	50
2.3.3.1 Variabilidad bioclimática por grupos	50
2.3.3.2 Variabilidad edáfica por grupos	51
2.3.3.3. Variables geofísicas por grupos.....	53
2.3.4 Mapas de diversidad ecogeográfico para tarwi	54
2.3.5 Mapa de diversidad fenotípica de tarwi.....	56
2.3.6 Análisis de correlación de Mantel	58
2.4 Discusión	59
2.4.1 Mapa ELC.....	59
2.4.2 Caracterización ecogeográfica del tarwi.....	60
2.4.3 Mapas de diversidad ecogeográfica y morfológica	63
2.5 Conclusiones.....	65
CAPÍTULO 3.	67
DISTRIBUCIÓN ECOGEOGRÁFICA DE LA JÍCAMA (<i>Smallanthus sonchifolius</i> [Poepp. & Endl.] H. Robinson) EN EL ECUADOR	67
3.1 Introducción.....	67
3.2 Materiales y Métodos	69
3.2.1 Área de estudio	69
3.2.2 Germoplasma de jícama	70
3.2.3 Selección de variables (Herramienta SelecVar)	70
3.2.4 Mapa de caracterización ecogeográfico del terreno o ELC	73
3.2.5 Caracterización ecogeográfica.....	73
3.2.6 Representatividad ecogeográfica de la jícama en Ecuador	73
3.3 Resultados.....	74
3.3.1 Mapa ELC para la distribución de jícama	74
3.3.2 Caracterización ecogeográfica de la jícama en Ecuador	76
3.3.3 Variabilidad ecogeográfica identificada en grupos de accesiones de la colección de jícama.....	76

3.3.3.1 Variabilidad bioclimática	76
3.3.3.2 Variabilidad edáfica por grupos	78
3.3.3.3 Mapas de representatividad de la colección de jícama en el Ecuador	80
3.3.3.4 El análisis de faltantes o vacíos	80
3.4 Discusión	83
3.4.1 Mapa ELC.....	83
3.4.2 Caracterización ecogeográfica.....	85
3.4.3 Vacíos de colecta	87
3.5 Conclusiones.....	89
CAPÍTULO 4.	90
ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD MORFOAGRONÓMICA Y ECOGEORÁFICA DE MISO (<i>Mirabilis expansa</i> Ruiz & Pav. Standley.) EN EL ECUADOR	90
4.1 Introducción.....	90
4.2 Materiales y Métodos	91
4.2.1 Material genético	91
4.2.2 Caracterización morfoagronómica del miso.....	92
4.2.2.1 Diseño experimental	92
4.2.2.2 Características del sitio.....	92
4.2.2.3 Manejo agronómico.....	92
4.2.2.4 Caracterización de germoplasma.....	92
4.2.2.5 Análisis estadístico	93
4.2.3 Caracterización ecogeográfica del miso	94
4.2.3.1 Área de estudio	94
4.2.3.2 Selección de variables (Herramienta SelecVar)	94
4.2.3.3 Mapa de caracterización ecogeográfico del terreno o ELC.....	95
4.2.3.4 Caracterización ecogeográfica.....	96
4.3 Resultados.....	96
4.3.1 Variabilidad morfológica de la colección de miso del Ecuador.....	96
4.3.1.1 Análisis de grupos conformados.....	96
4.3.1.2 Variabilidad morfológica de variables cuantitativas a nivel grupal	97
4.3.1.3 Variabilidad morfológica de variables cualitativas a nivel grupal	98
4.3.2 Diversidad ecogeográfica del miso a nivel de Ecuador.....	102
4.3.2.1 Mapa ELC de miso	102
4.3.2.2 Caracterización ecogeográfica el miso	105
4.2.3.3 Variabilidad bioclimática	106
4.2.3.4 Variabilidad edáfica por grupos	106
4.2.3.5 Variabilidad geofísica por grupos.....	108
4.3 Discusión	108
4.3.1 Caracterización morfológica del miso	108
4.3.2 Caracterización ecogeográfica del miso	110
4.3.3 Análisis de conglomerados	110
4.4 Conclusiones.....	112
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN GENERAL	113
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES	120
6.1 Caracterización morfológica.....	120
6.2 Identificación de materiales promisorios.....	120
6.3 Caracterización ecogeográfica.....	120
6.4 Sitios de alta diversidad ecogeográfica	121

REFERENCIAS	122
ANEXOS	141



ÍNDICE DE TABLAS

INTRODUCCIÓN

Tabla 1. Análisis proximal y de minerales del grano de tarwi (en base seca).....	3
Tabla 2. Composición química de jícama (datos referidos a kg de materia comestible de raíz fresca)	8
Tabla 3. Composición química de la raíz comestible de miso (Materia seca)	10

CAPÍTULO 1

Tabla 1. Número de accesiones de tarwi colectadas y conservadas en el Banco de Germoplasma del INIAP (períodos 1975-1991 y 2014-201).	21
Tabla 2. Descriptores cualitativos y cuantitativos usados para caracterizar 173 accesiones de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet).....	23
Tabla 3. Media, desviación estándar (D.E.), coeficiente de variación (CV), mínimos y máximos de 13 caracteres cuantitativos evaluados en la colección nacional de tarwi (<i>L. mutabilis</i> Sweet).	25
Tabla 4. Análisis de frecuencia para las características cualitativas de tallo, hoja y flor en 173 accesiones de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i> S.).	26
Tabla 5. Análisis de frecuencia para las características cualitativas de vaina y semilla en 173 accesiones tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i> S.).	26
Tabla 6. Análisis de componentes principales para variables cuantitativas evaluadas en 173 accesiones de tarwi.	28
Tabla 7. Análisis de correspondencia múltiple para variables cualitativas evaluadas en 173 accesiones de tarwi.	29
Tabla 8. Valores promedio para caracteres cuantitativos en cuatro grupos conformados en el cultivo de tarwi (<i>L. mutabilis</i> Sweet).....	33
Tabla 9. Caracteres cualitativos de mayor valor discriminante entre grupos de entradas de la colección de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i> S.).	33
Tabla 10. Índice de variación de la moda de Wilcoxon (DM) para las variables morfológicas cualitativas.	34

CAPÍTULO 2

Tabla 1. Número de accesiones y procedencia de la colección nacional de tarwi del Ecuador.	42
Tabla 2. Variables ecogeográficas identificadas en el cultivo de tarwi.....	43
Tabla 3. Características bioclimáticas, edáficas y geofísicas identificadas en la Categorías ecogeográficas del mapa ELC para tarwi en Ecuador.	47
Tabla 4. Valores promedio para caracteres bioclimáticos en tres grupos conformados para el cultivo de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet).....	51
Tabla 5. Valores promedio para caracteres edáficos en tres grupos conformados para el cultivo de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet).....	52
Tabla 6. Caracteres cualitativos edáficos de mayor valor discriminante entre grupos de entradas de la colección de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet).....	52
Tabla 7. Índice de variación de la moda de Wilcoxon (DM) para variables edáficas.....	52
Tabla 8. Valores promedio para caracteres geofísicos en tres grupos conformados para el cultivo de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet).....	54
Tabla 9. Rangos de diversidad ecogeográfica para tarwi y distribución en provincias y cantones del Ecuador.	56

Tabla 10. Rangos de diversidad morfológica en tarwi y distribución en provincias y cantones de la sierra ecuatoriana	58
--	----

CAPÍTULO 3

Tabla 1. Número de accesiones y procedencia de la Colección Nacional de jícama del Ecuador.....	70
Tabla 2. Variables ecogeográficas usadas para formato y fuente de las variables ecogeográficas.....	71
Tabla 3. Características bioclimáticas, edáficas y geofísicas identificadas en la Categorías ecogeográficas del Mapa ELC para jícama en Ecuador	75
Tabla 4. Valores promedio para caracteres bioclimáticos en tres grupos conformados para el cultivo de jícama (<i>Smallanthus sonchifolius</i>).....	78
Tabla 5. Valores promedio para caracteres edáficos en tres grupos conformados para el cultivo de jícama (<i>Smallanthus sonchifolius</i>).....	79
Tabla 6. Caracteres cualitativos edáficos de mayor valor discriminante entre grupos de entradas de la colección de jícama.	79
Tabla 7. Frecuencias por especie y frecuencia en base al mapa ELC para cinco categorías definidas.....	80

CAPÍTULO 4

Tabla 1. Número de accesiones de miso (<i>Mirabilis expansa</i>) procedentes del Banco de Germoplasma del INIAP	92
Tabla 2. Descriptores cualitativos y cuantitativos usados para caracterizar la colección de miso (<i>Mirabilis expansa</i>) del Ecuador.....	93
Tabla 3. Variables ecogeográficas usadas para formato y fuente de las variables ecogeográficas	95
Tabla 4. Valores promedio para caracteres cuantitativos en tres grupos conformados en el cultivo de miso (<i>M. expansa</i>).....	98
Tabla 5. Caracteres cualitativos de mayor valor discriminante entre grupos de entradas de la colección de miso.	99
Tabla 6. Índice de variación de la moda de Wilcoxon (DM) para las variables morfológicas cualitativas de miso.	99
Tabla 7. Características ecogeográficas identificadas en categorías ecogeográficas del Mapa ELC para miso.	103
Tabla 8. Valores promedio para caracteres bioclimáticos en tres grupos conformados para el cultivo de miso (<i>Mirabilis expansa</i>).....	106
Tabla 9. Caracteres cualitativos edáficos de mayor valor discriminante entre grupos de entradas de la colección de miso.	107
Tabla 10. Valores promedio para caracteres geofísicos en tres grupos conformados para el cultivo de miso (<i>Mirabilis expansa</i>).....	108

ÍNDICE DE FIGURAS

INTRODUCCIÓN

Figura 1. Distribución de <i>Lupinus mutabilis</i> S. con base a 112 registros de especímenes de herbario georeferenciados.....	2
Figura 2. Hábito de crecimiento y forma de la hoja del tarwi.....	4
Figura 3. Polinizadores presentes en el cultivo de tarwi.	5
Figura 4. Colores de flor encontrada en la colección de tarwi del Ecuador.	6
Figura 5. Forma, color y tamaño de la semilla de tarwi del Ecuador.....	6
Figura 6. Detalle de la planta de jícama.	9
Figura 7. Detalles de la planta de miso.....	11

CAPÍTULO 1

Figura 1. Análisis de componentes principales en la colección de tarwi del Ecuador	27
Figura 2. Dendrograma obtenido por análisis de conglomerados jerárquicos (método de Ward y distancia de similitud de Gower) para variables cualitativas y cuantitativas en 173 accesiones de tarwi.	30
Figura 3. División del dendrograma de tarwi conformados por 173 accesiones.....	31
Figura 4. Mapa de distribución de tarwi según grupos conformados en el análisis de conglomerados.....	32
Figura 5. Frecuencias de las accesiones de la colección de <i>L. mutabilis</i> Sweet según el estado de los caracteres cualitativos con mayor poder discriminante entre grupos conformados.	34
Figura 6. Variabilidad de tarwi presente en la colección nacional del Banco de Germoplasma del INIAP.....	35

CAPÍTULO 2

Figura 1. Mapa de caracterización ecogeográfica del área terreno (ELC) para tarwi en Ecuador.....	48
Figura 2. Dendrograma obtenido por análisis de conglomerados jerárquicos (método de Ward y distancia de similitud de Gower) para variables cualitativas y cuantitativas ecogeográficas en 173 accesiones de tarwi.	49
Figura 3. Características de pH para suelo superficial (pHsup) y pH en subsuelo (pHsubs) identificado en la colección de tarwi.	53
Figura 4. Contenido de carbono orgánico en subsuelo identificado para tres grupos de accesiones de la colección de tarwi.	53
Figura 5. Variabilidad geofísica identificada en tres grupos de accesiones de la colección de tarwi.....	54
Figura 6. Mapa de diversidad ecogeográfica para tarwi a nivel de Ecuador.....	55
Figura 7. Mapa de diversidad fenotípica para el cultivo de tarwi.	57
Figura 8. Relación entre la matriz de distancia morfológica (Matriz A) y ecogeográfica (Matrix B).....	59

CAPÍTULO 3

Figura 1. Mapa de caracterización ecogeográfica del área terreno (ELC) para jícama en Ecuador.....	74
Figura 2. Dendrograma obtenido de 80 accesiones de jícama, basado en variables ecogeográficas.....	77

Figura 3. Características de textura y pH de suelo en grupos ecogeográficos de la colección de jícama.....	79
Figura 4. Comparación de la representación de cada categoría ELC en la colección de germoplasma de jícama y la disponibilidad total de dichas categorías en el mapa ELC, medida en valores de porcentaje.....	80
Figura 5. Sitios priorizados de colecta con base a ocurrencia de la especie.....	82
Figura 6. Sitios priorizados de colecta con base a frecuencia de la categoría ELC	83

CAPÍTULO 4

Figura 1. Dendrograma obtenido por análisis de conglomerados jerárquicos (método de Ward y distancia de similitud de Gower) para variables cualitativas y cuantitativas en 30 accesiones de miso (<i>Mirabilis expansa</i>).....	97
Figura 2. Frecuencias de las accesiones de la colección de <i>M. expansa</i> según estado de los caracteres relacionados con hábito de crecimiento, color del tallo y hoja en grupos conformados.	100
Figura 3. Frecuencias de las accesiones de la colección de <i>M. expansa</i> según el estado de los caracteres relacionados con la raíz entre grupos conformados.....	100
Figura 4. Diversidad de miso identificado en grupos morfológicos.....	102
Figura 5. Categorías ecogeográficas identificadas en el cultivo de miso.....	102
Figura 6. Mapa de caracterización ecogeográfica del área terreno (ELC) para miso en Ecuador.....	104
Figura 7. Dendrograma obtenido por análisis de conglomerados jerárquicos (método de Ward y distancia de similitud de Gower) para variables cualitativas y cuantitativas ecogeográficas en 30 accesiones de miso.....	105
Figura 8. Características edáficas identificadas en grupos de accesiones de la colección de <i>M. expansa</i>	107
Figura 9. Variabilidad geofísica identificada en tres grupos de accesiones de la colección de <i>Mirabilis expansa</i>	108

ÍNDICE DE ANEXOS

INTRODUCCIÓN

Anexo 1. Autotización de uso del mapa de distribución de *Lupinus mutabilis* S. con base a 112 registros de especímenes de herbario georreferenciados.....141

CAPÍTULO 1

Anexo 1. Datos pasaporte de la colección de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) de Ecuador.. 142

CAPÍTULO 2

Anexo 1. Lista de variables ecogeográficas del programa CAPFITOGEN vr 2.0 147

Anexo 2. Encuesta dirigida a expertos y conocedores de la producción y/o conservación del chocho o tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet). 150

Anexo 3. Resultados de encuesta dirigida a expertos y conocedores de la producción y/o conservación del chocho o tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet). 152

Anexo 4. Distribución geográfica de las Categorías Ecogeográficas según Mapa ELC para tarwi 154

CAPÍTULO 3

Anexo 1. Datos pasaporte de la colección nacional de jícama (*Smallanthus sonchifolius*) ... 158

Anexo 2. Encuesta dirigida a expertos y conocedores de la producción y/o conservación de jícama (*Smallanthus sonchifolius*)..... 161

Anexo 3. Resultados de encuesta dirigida a expertos y conocedores de la producción y/o conservación de jícama (*Smallanthus sonchifolius*)..... 163

Anexo 4. Distribución geográfica de las Categorías Ecogeográficas según Mapa ELC en jícama..... 165

Anexo 5. Identificación de zonas de colecta con base a vacíos según categorías ELC y vacíos por ocurrencia de la especie..... 169

CAPÍTULO 4

Anexo 1. Datos pasaporte de la colección nacional de miso (*Mirabilis expansa*) 172

Anexo 2. Encuesta dirigida a expertos y conocedores de la producción y/o conservación de miso o mauka (*Mirabilis expansa*). 173

Anexo 3. Respuesta de expertos a la selección de variables ecogeográficas 175

Anexo 4. Zonas ecogeográficas identificadas según el mapa ELC para miso 177

RESUMEN

El Ecuador es uno de los países megadiversos, siendo la zona andina centro de origen y diversidad de varios cultivos de importancia para la seguridad alimentaria. Cultivos andinos como el tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.), jícama (*Smallanthus sonchifolius* [Poepp. & Endl.] H. Robinson), y miso (*Mirabilis expansa* Ruiz & Pav. Standley.) representan parte de la dinámica alimenticia y de producción de los agricultores andinos, sin embargo, solo el tarwi tiene una amplia aceptación en el mercado, de ahí la necesidad de revalorizar material genético local e identificar zonas óptimas para la producción y su conservación. La presente investigación planteó realizar la caracterización morfológica y ecogeográfica, para lo cual se planteó cuatro objetivos: *a)* Analizar la variabilidad genética del cultivo de tarwi a través de descriptores morfológicos y agronómicos; *b)* Entender las capacidades adaptativas del cultivo de tarwi e identificar la potencialidad del germoplasma adaptado a las condiciones de estrés abiótico; *c)* Identificar vacíos de colecta del cultivo de jícama a nivel de Ecuador; y *d)* Conocer las características morfológicas y ecogeográficas de la colección nacional de miso.

Para la caracterización morfológica se emplearon descriptores cualitativos y cuantitativos. En tarwi se evaluaron 173 accesiones con 28 descriptores y en el caso de miso se evaluaron 30 accesiones y 20 descriptores. Para la caracterización ecogeográfica, se empleó el programa Capfitogen y Sistemas de Información Geográfica; se usaron 105 variables que integra características bioclimáticas, edáficas y geofísicas, y datos pasaporte (latitud, longitud y altitud) de los tres cultivos, en el caso de la jícama se usaron datos de 80 accesiones, estos datos fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

En el proceso de caracterización de tarwi, se identificaron las variables relacionadas con el color de semilla y flor, así como variables relacionadas con el rendimiento determinan la conformación de cuatro grupos morfológicos. En el caso del miso, se determinaron tres grupos y posiblemente cuatro morfotipos, las características asociadas a la diversidad están relacionado con el color de la raíz comestible, así como el tamaño y peso.

Los mapas de caracterización ecogeográfica del terreno, definen escenarios ambientales para cada especie. En tarwi se identificaron seis categorías, en jícama cinco y en miso son seis categorías, estas categorías están distribuidas en todas las provincias de la serranía; en el caso de las raíces andinas, se identificó escenarios potenciales distribuidos en la región amazónica. A través del mapa de diversidad fenotípica del tarwi, se determinó que no necesariamente las zonas con alta diversidad morfológica están ligada a zonas con alta diversidad ecogeográfica, probablemente la distribución de la variabilidad genética de la especie está ligada más a aspectos culturales que a las condiciones ambientales.

Finalmente, se identificaron sitios de distribución y vacíos de colecta para el cultivo de la jícama, las zonas fueron clasificada por ocurrencia de la especie y frecuencia de categorías del mapa ELC, identificando sitios con frecuencias nulas-bajas y media-baja. Los resultados sugieren que las exploraciones de colecta para jícama deben realizarse tanto en todo el territorio ecuatoriano, con énfasis en las provincias de Imbabura en la zona norte y las provincias de Bolívar, Cañar y Azuay. Considerar los estudios ecogeográficos permitirá mejorar la representatividad de la colección de jícama, determinar escenarios de adaptación y posibles respuestas del germoplasma ante condiciones ambientales atípicas a las características idóneas de las especies y contribuir con las estrategias de conservación tanto *in situ* como *ex situ*.

ABSTRACT

Ecuador is one of the megadiverse countries of the Andean region. This area is the center of origin and diversity of several important crops for food security. Andean crops like tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet), jícama (*Smallanthus sonchifolius* [Poepp. & Endl.] H. Robinson), and miso (*Mirabilis expansa* Ruiz & Pav. Standley.) are part of system production and food of Andean farmers. However, only tarwi crop show a wide acceptance in the market, it is necessary to revalue local genetic material and identify optimal areas for production and conservation. The objectives of this research were focused on: a) To analyze the genetic variability of tarwi crop through morphological and agronomic descriptors; b) Understand the adaptability of tarwi crop and identify the optimal germplasm adapted to abiotic stress conditions; c) Identify jícama collection voids at Ecuador; and d) Know morphological and ecogeographic characteristics of miso national collection. Qualitative and quantitative descriptors were used for morphological characterization. 173 tarwi accessions were evaluated with 28 descriptors, in miso were evaluated 30 accessions and 20 descriptors and 80 accessions for jícama. For ecogeographic characterization, the Capfitogen program and Geographic Information Systems were applied; 105 variables were used that integrate bioclimatic, edaphic, and geophysical characteristics, and passport data (latitude, longitude, and altitude) of the three crops, these data were provided by National Institute of Agricultural Research. Tarwi characterization process identify variables related to seed and flower color as well as variables related to yield, with which determine the conformation of four morphological groups. On the other hand, for miso crop, three groups and possibly four morphotypes were determined, edible storage root characteristics such as color, size and weight are related to diversity. The ecogeographic characterization maps of sites define environmental scenarios for each specie. In tarwi six categories were identified, in jícama five and for miso six categories were found. These categories are distributed around provinces of the mountainous area, for Andean roots, potential scenarios distributed in the Amazon region were identified. Phenotypic diversity map of tarwi crop explained that areas with high morphological diversity are not certainly related to areas with high ecogeographic diversity. Genetic variability distribution of species is probably related more to cultural aspects than environmental conditions. Finally, distribution sites and collection voids were identified for jícama crop, areas were classified by occurrence of species and categories frequency of ELC map, identifying areas with null-low and low-medium frequencies. Results suggest that collection explorations for jícama should be carried out throughout the Ecuadorian territory, with emphasis on the northern provinces of Imbabura, in addition to the provinces of Bolívar, Cañar and Azuay.

This research suggests that ecogeographic studies will improve the importance of jícama collection, find adaptability scenarios and possible germplasm response to atypical environmental conditions, and contribute to in situ and ex situ conservation strategies.

RESUMO

Ecuador é un dos países megadiversos, sendo a zona andina o centro de orixe e diversidade de varios cultivos de importancia para a seguridade alimentaria. Cultivos andinos como tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.), jícama (*Smallanthus sonchifolius* [Poepp. & Endl.] H. Robinson), e miso (*Mirabilis expansa* Ruiz & Pav. Standley.) representan parte da dinámica alimentaria e de produción dos agricultores andinos, con todo, só o tarwi ten unha ampla aceptación no mercado, de aí a necesidade de revalorizar o material xenético local e identificar as áreas óptimas para a produción e a súa conservación. A presente investigación propuxo realizar a caracterización morfolóxica e ecogeográfica, para o que se propuxeron catro obxectivos: *a)* Analiza a variabilidade xenética do cultivo de tarwi a través de descritores morfolóxicos e agronómicos; *b)* Comprender as capacidades adaptativas do cultivo de tarwi e identificar a potencialidade do xermoplasma adaptado ás condicións de estrés abiótico; *c)* Identificar as lagoas de recollida do cultivo de jícama en Ecuador; y *d)* Coñecer as características morfolóxicas e ecogeográficas da colección nacional de miso.

Utilizáronse descritores cualitativos e cuantitativos para a caracterización morfolóxica. Na tarwi avaliáronse 173 accesións con 28 descritores e no caso do miso avaliáronse 30 accesións e 20 descritores. Para a caracterización ecogeográfica empregáronse o programa Capfitogen e os sistemas de información xeográfica; Utilizáronse 105 variables que integran características bioclimáticas, edáficas e xeofísicas e datos de pasaporte (latitude, lonxitude e altitude) dos tres cultivos, no caso de jícama, empregáronse datos de 80 accesións, estes datos foron subministrados polo Instituto Nacional de Investigación Agrícola.

No proceso de caracterización do tarwi identificáronse variables relacionadas coa cor das sementes e das flores, así como variables relacionadas co rendemento que determinan a conformación de catro grupos morfolóxicos. No caso do miso, determináronse tres grupos e posiblemente catro morfotipos, as características asociadas á diversidade están relacionadas coa cor da raíz comestible, así como tamaño e peso.

Os mapas de caracterización ecogeográfica do terreo definen escenarios ambientais para cada especie. En tarwi identificáronse seis categorías, en jícama cinco e en miso hai seis categorías, estas categorías distribúense en todas as provincias da zona montañosa; No caso das raíces andinas, identificáronse escenarios potenciais distribuídos na rexión amazónica. A través do mapa de diversidade fenotípica do tarwi, determinouse que as áreas con alta diversidade morfolóxica non están necesariamente ligadas a áreas con alta diversidade ecogeográfica, probablemente a distribución da variabilidade xenética das especies estea máis ligada a aspectos culturais que a condicións ambientais.

Finalmente, identificáronse sitios de distribución e baleiros de recollida para o cultivo de jícama, clasificáronse as áreas por aparición das especies e frecuencia de categorías do mapa ELC, identificando sitios con frecuencias baixas nulas e medias-baixas. Os resultados suxiren que as exploracións de recollida de jícama deberían levarse a cabo en todo o territorio ecuatoriano, facendo fincapé nas provincias do norte de Imbabura e nas provincias de Bolívar, Cañar e Azuay. Considerar estudos ecoxeográficos permitirá mellorar a representatividade da colección de jícama, determinar escenarios de adaptación e posibles respostas do xermoplasma a condicións ambientais atípicas ás características ideais da especie e contribuír a estratexias de conservación tanto *in situ* como *ex situ*.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ORIGEN Y DIVERSIDAD DE GRANOS Y RAÍCES ANDINAS

La región andina es centro de origen y diversificación de un gran número de cultivos alimenticios que fueron domesticados por pueblos autóctonos hace miles de años, inclusive mucho antes de la expansión de la civilización Inca. En su mayoría estos cultivos son poco conocidos aún en los mismos países andinos (Seminario, 2004a). El mantenimiento y desarrollo de las civilizaciones andinas han estado basadas en la domesticación y selección de especies y variedades de plantas y razas ganaderas, así como en el desarrollo de prácticas agrícolas imbricada en sistemas de agricultura autóctona bien organizados y sostenibles con el medio. Gracias a la respetuosa armonía con el medio y su compleja cosmovisión, esta agricultura permitió producir alimentos en condiciones que limitan el desarrollo de la agricultura como es el caso de la alta montaña (Tapia, 2000).

Nicolás Vavilov (entre 1923 y 1939) constató que la región de los Andes Centrales que comprende el sur de Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia, constituye uno de los cinco principales centros de domesticación de plantas alimenticias en el mundo, asignándole 45 especies nativas económicamente útiles (Tapia y Fries, 2007). Sin embargo, existe una tendencia en reducir a pocas especies la base de la seguridad alimentaria global, lo que incide no solo la diversidad existente, sino también limitando los medios de vida y la capacidad de los agricultores y agroecosistemas a adaptarse a nuevos cambios económicos, sociales y ambientales.

Los agricultores andinos han adaptado y seleccionados tradicionalmente variedades como la papa (*Solanum tuberosum* L.), quinua (*Chenopodium quinoa* W.) para reducir la vulnerabilidad ambiental (Hellin y Higan, 2006). Otros cultivos que destacan son el tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.), la jícama o yacón (*Smallanthus sonchifolius* [Poepp. & Endl.] H. Robinson), y el miso o mauka (*Mirabilis expansa* Ruiz & Pav. Standl.) que es una de las especies olvidadas; estos cultivos son parte importante para la subsistencia de la gente local, además, presentan una amplia variabilidad, lo que les da una ventaja adaptativa a variados agroecosistemas, de ahí el interés en ampliar las investigaciones entorno a estos tres cultivos.

1.2 TARWI (*Lupinus mutabilis* Sweet)

1.2.1 Origen y distribución del tarwi

El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.), junto con la judía (*Phaseolus* spp.), son las únicas leguminosas de grano comestible originarias de los Andes, domesticadas y cultivadas desde épocas preincaicas. Se conocen dos culturas antiguas que hace más de 4000 mil años llegaron a domesticar y utilizar para la alimentación humana el género *Lupinus* las del viejo y del nuevo mundo. Entre los lupinos del Viejo Mundo (países Mediterráneos), denominados altramuces o *Lupinus* dulces se encuentran *Lupinus albus* L., *L. luteus* L., *L. angustifolius* L., y *L. hispanicus* Boiss. & Reut., mientras que los del Nuevo Mundo (ubicados en Ecuador, Perú y Bolivia), se denominan tarwi o chochos (*L. mutabilis* Sweet). En ambas culturas se identificó que el proceso de maceración y lavado son esenciales para eliminar los alcaloides y permitir el uso de estas especies en alimentación humana o animal (Hondelmann, 1984; Lema, 2004; Tapia y Fries, 2007; Tapia, 2015a; Zavaleta, 2018).

En la zona Andina, las evidencias más antiguas de uso alimentario de este género se encuentran en las tumbas de la cultura Nazca y representaciones en donde aparecieron semillas y en la cerámica Tiahuanaco en Perú. Estas culturas muestran otras especies silvestres del género como el *L. praestabilis* y *L. paniculatus*, denominados como *ckera* en quechua y *ckela* en aymara (Tapia y Fries, 2007). A nivel mundial el género *Lupinus* incluye de 300 a 400 especies con diversos centros de diversidad; los dos centros de mayor concentración en especies silvestres del género *Lupinus* en América son California en los Estados Unidos, que constituye un centro de distribución en cuanto a número de especies y su diversidad; y los Andes centrales, desde el sur de Colombia a Bolivia (Tapia, 2015a).

El chocho o tarwi presenta una gran variabilidad genética y morfológica y tiene una amplia adaptación ecológica en la zona andina, por lo cual se ha sugerido la siguiente clasificación desde un punto de vista geográfico en el nuevo mundo (Figura 1):

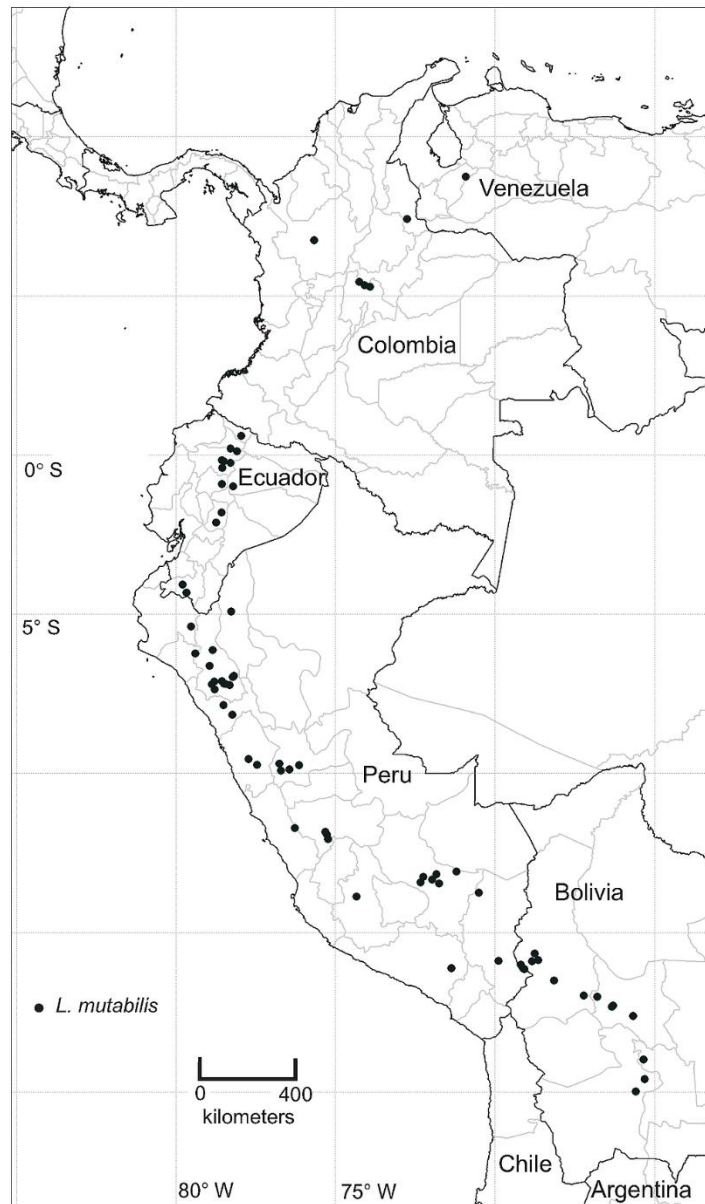


Figura 1. Distribución de *Lupinus mutabilis* S. con base a 112 registros de especímenes de herbario georreferenciados.
Courtesy of Dr. Colin Hughes. University of Zurich, Switzerland (Anexo 1)

a) chocho (norte de Perú y Ecuador), de mayor ramificación, muy tardío, mayor pilosidad en hojas y tallos, algunos ecotipos se comportan como bianuales, tolerantes a la antracnosis;

b) tarwi (centro y sur de Perú), de escasa ramificación, medianamente tardío, algo tolerante a la antracnosis; y

c) tauri (altiplano de Perú y Bolivia), de menor tamaño (1-1,40 m) con un tallo principal desarrollado, muy precoz, susceptible a antracnosis (Gross, 1982; Tapia, 2000; Tapia, 2015a).

Además, según Chirinos-Arias *et al.* (2014) el tarwi posee una alta variabilidad genética, evidenciado por el alto nivel de polimorfismo encontrado en muestras analizadas, siendo una especie autógena con un predominante grado de alogamia.

1.2.2 Importancia económica y usos del tarwi

En el Ecuador Caicedo y Peralta (1999) el consumo de tarwi forma parte de las dietas del 71% de las familias urbanas de la Sierra ecuatoriana, 87% de las familias de la región amazónica y 19% de las familias de Costa, siendo el consumo per cápita en la Sierra y Amazonía mucho mayor (0,4 kg por persona mensual) que en la Costa (0,2 kg por persona por año). En los últimos años, se ha producido un claro incremento del consumo per cápita que llega hasta 4 kg por persona y año, por lo que el país importa tarwi de Perú, ya que existe un déficit de cerca de 6000 Mg año⁻¹ (Mazón, 2018).

Tabla 1. Análisis proximal y de minerales del grano de tarwi (en base seca)

Contenido	Unidad	Grano amargo (sin procesar)	Grano desamargado (lavado)
Proteína	%	41,00	51,00
Minerales totales	%	4,52	1,91
Grasa	%	18,90	21,89
Fibra bruta	%	11,07	13,52
Carbohidratos	%	17,62	10,00
Alcaloides	%	3,26	0,01
Calcio	%	0,12	0,48
Fósforo	%	0,60	0,43
Magnesio	%	0,24	0,07
Sodio	%	0,10	0,01
Potasio	%	1,22	0,02
Hierro	ppm	78,45	74,25
Manganeso	ppm	36,72	18,47
Zinc	ppm	42,84	63,21
Cobre	ppm	12,65	7,99
Energía total	kcal/100g	552,00	584,00

Fuente: Allauca *et al.* (2005) citado por Peralta y Villacrés *et al.* (2006); Peralta y Villacrés (2015); Peralta *et al.* (2013).

Entre las *Lupinus* cultivados, el grano del tarwi se caracteriza por poseer la mayor calidad de grano, con un contenido de aceite similar al de la soja, unos niveles de proteína entre 41 y 51% de proteína, siendo además rico en lisina (Gross, 1981; Popenoe *et al.*, 1989; Peralta *et al.*, 2013). En relación con la composición lipídica, el grano de tarwi presenta cerca de un 40,4% de ácido oleico (Omega 9), 37,1% de ácido linoleico (Omega 6) y un 2,9% de ácido linolénico (Omega 3) (Villacrés *et al.*, 2006; Jacobsen y Mujica, 2006). Según Cruz (2006) el tarwi presenta una proporción del ácido linoleico y linolénico de 11:1, proporción similar a la relación máxima recomendada de 10:1 (Gómez *et al.*, 2011), elementos importantes en la alimentación

y desarrollo. Además, aporta más de 500 kilocalorías (contenido por 100g de muestra entera), y contiene varios micronutrientes esenciales (Tabla 1).

Sin embargo, el grano de chocho presenta entre un 3 y 4% de sustancias anti nutritivas (alcaloides) (Castañeda *et al.*, 2002), que limitan el consumo directo tanto para alimentación humana como animal (Guerrero, 1987 citado por Villacrés *et al.*, 2009). Los alcaloides están presentes en todas las especies del género *Lupinus*, se distribuyen por toda la planta, aunque particularmente en ramas y semillas. Se considera aceptable un contenido del 0,02% de alcaloides tras el proceso de desamargado para que pueda ser empleado en la alimentación humana, y para el consumo de rumiantes y aves de 0,4 a 0,6% (Gross *et al.*, 1976 citado por Tapia y Fries, 2007; Caicedo y Peralta, 2000).

Para su consumo, el proceso de reducción de alcaloides en tarwi se inicia con un remojo en agua y sometido a cocción, luego los granos se colocan en mallas en agua circulante de ríos o riachuelos entre siete y 10 días, con el fin de eliminar el contenido de alcaloides, una vez desamargado se puede comer directamente como refrigerio (Villacrés *et al.*, 2003). Los nuevos usos del chocho o tarwi están relacionados con la extracción de aceite y elaboración de lácteos de origen vegetal, yogurt, obtención de harinas y subproductos para la alimentación animal (Tapia, 1982; Peralta y Villacrés, 2015). Además, se puede usar como ingrediente en ensaladas frescas, sopas, pasteles, refrigerios, hamburguesas, galletas, pan o alimentos para bebés entre otros (Cremer 1983; Ruales *et al.*, 1988; Villacrés *et al.*, 2003; Güémes-Vera *et al.*, 2008).

1.2.3 Descripción taxonomía y botánica del tarwi

Según Gross (1982), Jacobsen y Mujica (2006), la clasificación sistemática es: Orden: *Fabales*, Suborden: *Leguminosae*, Familia: *Fabaceae*, Subfamilia: *Faboideae*, Tribu: *Genisteae*, Género: *Lupinus*, Especie: *L. mutabilis* Sweet.

L. mutabilis es una planta anual que varía en altura desde 0,4 hasta 2,5 m dependiendo del genotipo y el medio ambiente en el que se cultiva.

La **raíz** se caracteriza por ser bastante gruesa y pivotante, alcanzando hasta 3 m de profundidad. Las raíces secundarias ramificadas tienen nódulos simbióticos con bacterias del género *Rhizobium* que tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, aportando entre 40 y 80 kg ha⁻¹ de nitrógeno (Gross, 1982; Tapia y Fries, 2007; Tapia 2015a).

Los **tallos** son cilíndricos y leñosos, a veces ligeramente aplanados. Los tallos muestran una alta variación en cuanto a la estructura de la planta, presentan tallos prominentes o no, tallos casi sin ramificaciones, con pocas ramas secundarias o con mucha ramificación.



Figura 2. Hábito de crecimiento y forma de la hoja del tarwi.

Las **hojas** son palmadas y digitadas, generalmente conformadas por 5 a 12 folíolos que varían entre ovalados y lanceolados. El color de la hoja puede variar de amarillo verdoso a verde oscuro lo cual depende del contenido de antocianinas en la planta (Figura 2) (Gross, 1982; Tapia 2015a; Peralta, 2010).

La **inflorescencia** se presenta en forma de racimo terminal con flores verticiladas. La mayor longitud la alcanza en el eje central o principal y disminuye en los laterales (Peralta, 2010). El tarwi se considera una especie autóмага, sin embargo, según Cerrete y Camarena (1981) citados por Peralta (2010), puede llegar a tener hasta un 40% de polinización cruzada, causada principalmente por insectos (abejas, abejorros y otros) (Figura 3).



Figura 3. Polinizadores presentes en el cultivo de tarwi.

La **flor** es del tipo papilionácea, la corola está integrada por el estandarte, dos alas y dos quillas, esta última envuelve al pistilo y a 10 estambres monadelfos. Las anteras son de dos tamaños dispuestas alternadamente mientras que el estilo es curvado. El cáliz presenta un borde dentado muy pubescente; varía en coloración durante la floración. La corola puede ser azul-púrpura, blanca, rosada, crema, amarilla, púrpura, hasta morada (Peralta, 2010). Los colores de la flor están relacionados con el contenido de antocianinas y flavonas, así por ejemplo la mezcla de pelargonina, cianina y delfina dan el color azul oscuro. La amplia variabilidad genética del color de la flor puede estar relacionada con la identificación de variedades. En el caso de la flor blanca del chocho, es una característica recesiva frente al color azul (Hacbarth y Troll, 1959 citado por Gross, 1982) (Figura 4).

El fruto es una vaina de forma elíptica a oblonga, que varía en tamaño en función de la variedad (número de semillas), puede medir de 5 a 12 cm de longitud y de 1 a 2 cm de ancho cuando alcanza la madurez de cosecha. El fruto presenta extremos agudos. La cubierta de la vaina es pubescente, de color verde y dura cuando es joven. Cada vaina puede contener de 6 a 8 semillas, las cuales pueden tener formas lenticular o elipsoide, redonda, oval aplanada y pueden medir de 4 a 8 mm de largo, el número de vainas en el eje principal varía según la variedad (Tapia 2015a). Por ejemplo, la variedad INIAP-450 Andino presenta entre 10 y 25 vainas (Peralta, 2010).



Figura 4. Colores de flor encontrada en la colección de tarwi del Ecuador.

La **semilla** no posee albumen, porque las reservas nutritivas se concentran en los cotiledones, el peso de 100 semillas fluctúa entre 28 y 30 g (Tapia, 2015a); los granos presentan colores variados: blanco, amarillo, grises, pardos, castaños, marrones, y algunos son combinados con varias formas de distribución del color secundario (International Board for Plant Genetic Resources [IBGRI], 1981) (Figura 5).



Figura 5. Forma, color y tamaño de la semilla de tarwi del Ecuador.

1.3 JÍCAMA O YACÓN (*Smilax sonchifolius* [Poepp. & Endl.] H. Robinson)

1.3.2 Origen y distribución de la jícama o yacón

La jícama o yacón (*Smilax sonchifolius* [Poepp. & Endl.] H. Robinson) es una planta originaria de la región andina. Las evidencias arqueológicas indican su origen doméstico asociados a las culturas Nazca (500 aC – 700 dC), Paracas (1500 – 500 aC) y Mochica (500 aC – 700 dC) (Grau y Rea, 1997).

El género *Smallanthus* integra 21 especies, que se distribuye en todo el continente americano, el centro de diversidad más importante de la jícama está entre el sur de Perú (14°S) y La Paz en Bolivia (17°S) (Dostert *et al.*, 2009). En Perú se reconoce la presencia de seis especies de *Smallanthus*, dos de estas especies *S. riparius* (H.B.K.) H. Robinson y *S. siesgesbeckius* (DC) H. Robinson conocida como “yarita” están estrechamente emparentadas (Seminario *et al.*, 2003; Muñoz, 2010). En Argentina, el pariente silvestre es *S. macroscyphus* conocida como “yacón del campo” (Grau y Slanis, 1997 citado por Seminario, *et al.*, 2003).

La jícama se distribuye en el territorio andino como planta silvestre o cultivada, desde el norte del Ecuador, hasta el noroeste de Argentina (Rea, 2004; Seminario, 2004a; Tapia y Fries, 2007). Según Grau y Rea (1997), la jícama se adapta fácilmente en áreas de barbecho, siendo una de las razones por la cual este cultivo se asocia con los primeros asentamientos humanos. Es probable que los campesinos de los Andes hayan descubierto sus propiedades y cambiaran su estatus de planta no útil (mala hierba) a planta cultivada hace muchos años.

En su área de distribución natural, esta especie se encuentra comúnmente en los bosques de montaña, valles interandinos, áreas costeras, hábitats perturbados como riberas de ríos, bordes de camino y cerca de campos de cultivo (Vitali *et al.*, 2015). Se distribuye entre los 900 y 3200 m s.n.m. (Grau y Rea, 1997).

La jícama puede encontrarse también fuera de la zona andina originaria, así, en la década de los 60, la jícama fue llevada de Ecuador a Nueva Zelanda y de este país al Japón, desde donde se introdujo el cultivo en países como Corea y Brasil (Manrique *et al.*, 2004). En estos países se han desarrollado investigaciones científicas relacionadas con el manejo agronómico, composición química, propiedades nutricionales y procesamiento de la jícama de forma importante (Popenoe *et al.*, 1989; Grau y Rea, 1997; Seminario *et al.*, 2003).

1.3.3 Importancia económica y usos de la jícama

La jícama ha sido un cultivo restringido al campesinado (Rea, 2004). En los sistemas agrícolas, forma parte de los huertos familiares, se lo encuentra junto a arbustos, árboles y al borde de las chacras o en parcelas asociadas con maíz, papa, hortalizas, habas o plantas medicinales, entre otras. La producción media de raíces comestibles oscila entre 20 y 40 t ha⁻¹ de peso fresco (Seminario *et al.*, 2003), en Brasil, se ha obtenido hasta 100 t ha⁻¹ (Kakihara *et al.*, 1999 citado por Dostert *et al.*, 2009), en Ecuador se han reportado rendimientos de aproximadamente 30 t ha⁻¹ (Álvarez *et al.*, 2012). Se estima que la cosecha de hojas está entre 3 y 4 toneladas de peso seco en densidades de siembra de 18.500 plantas/ha (Dostert *et al.*, 2009).

La jícama ofrece un gran aporte nutricional, el 85 al 90% del peso fresco es agua, los carbohidratos representan el 90% del peso seco de las raíces recién cosechadas. Alrededor del 50 al 70% de estos carbohidratos son Fructooligosacáridos (FOS), siendo el resto la sacarosa, fructuosa, y glucosa (Suquilanda, 2007) tal y como se aprecia en la Tabla 2.

En los últimos años se ha incrementado su consumo, debido a la difusión de las propiedades antidiabéticas que tradicionalmente se le ha atribuido a la jícama. Posee vitamina C, además, de calcio, fósforo, potasio y hierro. Es baja en sodio por lo que se considera un producto ideal para personas que se encuentran a dieta (Espín, Villacrés y Brito 2004).

Su sabor es dulce, suele ser consumida cruda como una fruta y también preparada en jugos, jarabes, almíbares, confites e infusiones (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], 2002). Se puede consumir también en forma de verduras en sopas o como ensalada agregándole sal y limón. Las hojas, que son comestibles, poseen un contenido en proteína comprendido entre 11 y 11,7% aproximadamente y se emplean como forraje para animales y

también en medicina, donde el emplasto de hojas calientes es empleado para combatir el reumatismo y algunos dolores musculares (Suquilanda, 2007).

Tabla 2. Composición química de jícama (datos referidos a kg de materia comestible de raíz fresca)

Contenido	Unidad	Porcentaje nutricional
Humedad	%	68,17
Proteína	%	7,16
Fibra	%	5,80
Carbohidratos totales	%	79,54
Calcio	%	0,79
Fósforo	%	0,06
Magnesio	%	0,15
Sodio	%	0,12
Potasio	%	1,56
Cobre	ppm	6,00
Hierro	ppm	85,00
Manganeso	ppm	7,00
Zinc	ppm	48,00
Energía	kcal/100g	419,00
Vitamina C	mg/100 g materia seca	12,51

NOTA: Valores promedio de 10 accesiones procedentes de Perú, Bolivia y Ecuador.
Fuente: Hermann *et al.* (1999) citado por Seminario *et al.* (2003); Espín *et al.* (2004)

1.3.4 Descripción taxonomía y botánica e la jícama

La jícama es una planta que pertenece al género *Smallanthus* de la familia de las Asteraceae (Compositae). Este género reúne 21 especies que anteriormente estaban incluidas en el género *Polymnia* (Robinson, 1978); posteriormente fue reclasificado en un género que había sido previamente creado por Mackensi en 1933 como *Smallanthus*, particularmente por un patrón de estrías que se encuentran en el fruto (Seminario *et al.*, 2003).

La jícama es una **planta** herbácea perenne, mide entre 1,0 y 2,5 m de alto. Si proviene de semilla consta de un solo tallo principal, a veces ramificado desde la base con ramas pequeñas en la parte superior; si proviene de propágulos o semilla vegetativa consta de varios tallos (Seminario *et al.*, 2003).

Los **tallos** son cilíndricos, pilosos y huecos, de color verde o púrpura. Las **hojas** son de forma variable pinnatífidas en la base de los tallos, triangulares en la parte.

Las **inflorescencias** tienen cinco brácteas verdes, triangulares y agudas. Las **flores** externas están provistas de lígulas largas, de entre 10 mm y 15 mm de longitud, amarillas o anaranjadas, recortadas en el ápice, mientras que las centrales son tubulares y de unos 8 mm de largo. Las raíces reservantes son engrosadas, irregulares o fusiformes u ovaladas, de color blanco, crema o púrpura (Meza, 1995; Zardini, 1991; Seminario *et al.*, 2003) (Figura 6).



Figura 6. Detalle de la planta de jícama.

NOTA: a) hábito de crecimiento y forma de la hoja, b) color del tallo (púrpura), c) inflorescencia típica de una planta de jícama; d) plantas en plena de floración; e) plantas cosechadas; f) formas y tamaño de la jícama en etapa de cosecha; g) color de la pulpa (blanca y amarilla).

1.4 MISO O MAUKA (*Mirabilis expansa* (Ruíz & Pav.) Standley).

1.4.1 Origen y distribución del miso

Mauka o miso es una especie nativa originaria de la región andina. Los primeros informes como planta cultivada aparecen en el año 1965 firmados por Rea y León. Entre los años 1968 y 1982 se reporta la presencia del cultivo en Ecuador mientras que a finales de la década de los 80, se reportan sobre los hallazgos en el norte de Perú (Cajamarca). Estos hallazgos junto con las evidencias de distribución y variación morfológica asociado a la amplia diversidad de nombres comunes y usos en el área andina son indicadores, que Cajamarca y las regiones circundantes sean probablemente como centro de origen y domesticación del miso. Además, se plantearon otras hipótesis de distribución hacia Bolivia y Ecuador en tiempos de los Incas, que son el resultado de la migración forzada y/o voluntaria de personas y plantas (Popenoe *et al.*, 1989; Hernández y León, 1992).

Esta especie se distribuye en la actualidad desde Venezuela hasta Chile en estado silvestre y cultivado y se concentra en las zonas altoandinas de Ecuador, Perú y Bolivia, donde es conocido como miso o taso, mauka y chago (Seminario y Valderrama, 2012). Se desarrolla bien en altitudes que van desde los 2700 a los 3500 m s.n.m., si bien puede alcanzar altitudes comprendidas entre los 2400 y los 4300 m s.n.m. (Sperling y King, 1990 citado por Flores *et al.*, 2003; Seminario, 2004b).

1.4.2 Importancia económica y usos del miso

El miso es una de las especies menos empleadas en agricultura dentro del grupo de raíces y tubérculos andinos, además está clasificado como una especie “casi amenazada” (Popenoe *et al.*, 1989; Seminario y Valderrama, 2012). El empleo de esta especie se ha reducido a los huertos familiares y su conservación está relacionada con el interés del agricultor que valora su producción y aprecia sus bondades (Hernández y León, 1992). Según Muenala (2019) quien determinó que la especie tiene una alta importancia para el consumo a partir de entrevistas el miso se desarrolla agrónomicamente en el marco de un entorno productivo familiar, que desafortunadamente en las últimas décadas ha ido desapareciendo por lo que se conoce poco sobre el manejo del cultivo y consumo. Aspectos similares fueron expuestos por Gendall *et al.* (2019) quienes determinaron que, en Perú el cultivo ha ido disminuyendo por la falta de valor comercial, siendo una de las principales razones de su abandono.

El miso es una especie promisoriosa como alimento humano y animal, pues sobre los 3000 m s.n.m. puede llegar a producir cerca de 30 Mg ha⁻¹ (Popenoe *et al.*, 1989). El follaje contiene hasta 4% de proteína fresca y 17% de carbohidratos en base seca (Tabla 3). El miso es más rico que otras raíces y tubérculos andinos en calcio y fósforo (Barrera *et al.*, 2004). Considerando que la dieta altoandina es a menudo deficiente en calcio y fósforo, las bondades que brinda el cultivo del miso constituyen una alternativa alimentaria en poblaciones altoandinas, donde la ingesta de estos nutrientes es escasa (Seminario y Valderrama, 2012).

En estado crudo tiene cierto sabor astringente y picante, con diferencias entre cultivares. Este sabor se elimina durante el cocimiento, cambiando el agua de hervido una o dos veces, o bien a través del asoleo durante un par de horas o pelado en fresco, dejando que salga el líquido lechoso y sometiéndolo posteriormente a un lavado. El miso puede usarse en la alimentación humana, tanto tallos como raíces tuberizantes. Las hojas se consumen en ensaladas; el follaje fresco o seco y las raíces se usa para alimentación de cuyes o cobayas (*Cavia porcellus*), cerdos (*Sus scrofa domestica*), conejos (*Oryctolagus cuniculus*) y ganado vacuno (Seminario, 2004b).

Dentro del componente proteico del miso existen proteínas inactivadoras de ribosomas (RIPs) con actividad antifúngica y antibacteriana (Seminario y Valderrama, 2012) tal y como demostraron Park *et al.* (2002) desarrollando estudios de acción antifúngica contra *Rhizoctonia solani*, *Alternaria solani*, *Trichoderma reesei* y *Candida albicans*, y Vepachedu *et al.* (2005) que evaluaron el efecto antibacteriano sobre *Escherichia coli*.

Tabla 3. Composición química de la raíz comestible de miso (Materia seca)

Contenido	Unidad	Porcentaje nutricional
Humedad	%	68,17
Proteína	%	7,16
Fibra	%	5,80
Carbohidratos totales	%	79,54
Calcio	%	0,79
Fósforo	%	0,06
Magnesio	%	0,15
Sodio	%	0,12
Potasio	%	1,56
Cobre	ppm	6,00
Hierro	ppm	85,00
Manganeso	ppm	7,00
Zinc	ppm	48,00
Energía	kcal/100g	419,00
Vitamina C	mg/100 g materia seca	12,51

NOTA: Evaluación realizada en germoplasma del Banco de Germoplasma del INIAP
Fuente: Espín *et al.* (2004)

1.4.3 Descripción taxonomía y botánica del miso

Según Standley (1993) citado por Seminario (2004b) el miso pertenece al orden Caryophyllales, familia Nyctaginacea, género *Mirabilis*; se considera que *M. prostrata* como uno de los probables parientes cercanos; crece silvestre y difiere morfológicamente por presentar raíces más delgadas, siendo algo más prostrado y la flor un poco más grande que la especie domesticada.

Aunque botánicamente es una planta perenne, se emplea mediante cultivo anual. La propagación puede ser sexual o asexual. La propagación asexual es la más común mediante el empleo de tallos subterráneos engrosados o brotes tiernos o porciones del tallo (esquejes) (Seminario, 2004b; Barrera *et al.*, 2004).

Entre la raíz y el tallo se forma una cepa o corona con abundantes reservas y yemas. A partir de estas yemas se generan tallos de base engrosada, especialmente si las plantas han recibido aporque. Esta porción engrosada de los tallos es la mejor parte para propagar. La **raíz** es la parte primaria comestible, son un grupo denso de raíces, su coloración varía de acuerdo con el morfotipo, presentando colores salmón, blanco, anaranjado, las raíces son engrosadas y largas, pueden medir hasta 50 cm de largo y 5 cm de diámetro (Tapia y Fries, 2007; Seminario, 2004b; Barrera *et al.*, 2004) (Figura 7).



Figura 7. Detalles de la planta de miso

NOTA: a) hoja verde con márgenes púrpura; b) hojas completamente verdes; c) planta completa, semilla vegetativa; d) flor blanca; e) flor púrpura; f) raíz pulpa amarilla; g) raíz pulpa blanca.

Morfológicamente, el miso puede alcanzar un metro de altura aproximadamente. Presenta **tallos** cilíndricos y están divididos por nudos, de los cuales sale pares de hojas opuestas. Las **hojas** presentan formas ovaladas o cordadas, de entre 3 y 8 cm de largo por 2 cm de ancho, presentan color verde oscuro o claro, en algunos casos con nervaduras y bordes rojizos (Hernández y León, 1992; Franco y Rodríguez, 1988; Barrera *et al.*, 2004) (Figura 7).

Las **flores** son pequeñas y se encuentran cubiertas de pelos viscosos y adherentes, el androceo está representado por tres a cuatro estambres, el pistilo está formado por un ovario

esférico terminado en un estilo curvo, presenta color lila, blanco o blanco con lila (Tapia y Fries, 2007; Seminario, 2004b; Barrera *et al.*, 2004). Presenta las **inflorescencias** en ramillas terminales, largas y finas, entre 3 y 6 cm de longitud, están cubiertas de pubescencias terminados en esferitas con sustancias gomosas, que permiten adherirse a cualquier superficie, con frecuencia se encuentran insectos pequeños pegados, de ahí su denominación como “*pega pega*” (Hernández y León, 1992; Tapia y Fries, 2007).

Las **semillas** son de tipo ortodoxas, son pequeñas y de color marrón oscuro, se reproduce de forma abundante, el peso de 100 semillas oscila entre los 0.52 y 0.57 gramos y presenta un porcentaje de germinación sobre el 85%. Las plántulas provenientes de semilla botánica durante los primeros meses desarrollan una raíz pivotante engrosada. posteriormente, con el aporque, se generan raíces tuberizantes, desde la corona (Seminario, 2004b).

1.5 CONSERVACIÓN *IN SITU* Y *EX SITU* DE LA AGROBIODIVERSIDAD

Ecuador posee una amplia variedad de ambientes altitudinales y ecológicos, dando paso a una gran diversidad biológica. A pesar de su extensión territorial relativamente pequeña, ha sido reconocido como uno de los 17 países más megadiversos del mundo por el gran número de especies endémicas que alberga. Se estima que la flora comprende entre 20000 y 25000 especies de plantas vasculares, de los cuales alrededor del 25% son endémicas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2018).

La agrobiodiversidad es definida como toda diversidad biológica asociada a los alimentos y la agricultura. La agrobiodiversidad incluye las prácticas utilizadas para la gestión de los sistemas agrícolas. La gestión de estos sistemas puede ser (i) manejada o planeada, propia de una época del año y (ii) esporádica o no planeada que representa a los cultivos nativos del suelo que proliferan todo el año (Brussaard *et al.*, 2007). La agrobiodiversidad es el sustento de los medios de vida y la conservación del hábitat de los ecosistemas agrícolas, lo que les permite responder a los riesgos ambientales incluido el cambio climático (FAO, 2007) a través de mecanismos de adaptación.

En Ecuador existe una importante diversidad de especies y diversidad genética (variedades de plantas y razas animales) que están presentes dentro de los agroecosistemas y que son clave para la seguridad y soberanía alimentaria. Sin embargo, en la actualidad mucha de esta riqueza agrícola está en peligro debido al desconocimiento de las propiedades nutricionales asociada a esta agrobiodiversidad, fundamentalmente debido a que, en la actualidad el conocimiento ancestral no es transmitido a nuevas generaciones, como tampoco lo es los beneficios ambientales que poseen. Estos aspectos están muy mediatizados por la homogeneidad de mercados lo que pone conduce a una clara vulnerabilidad de los recursos genéticos o riesgo de erosión genética (Tapia, *et al.*, 2011; Instituto Nacional de Biodiversidad [INABIO], 2019). Todo ello justifica la necesidad de fortalecer los procesos de conservación tanto *in situ* como *ex situ*.

La Política y Estrategia Nacional de Biodiversidad de Ecuador, formulada en el 2001 y ratificada en el 2008 a través de la Constitución de la República del Ecuador, tiene una visión clara y coherente del rol que juega la agrobiodiversidad para la nación y como el Estado debe cautelar la integridad del mismo. La Constitución del Ecuador reconoce los derechos de la naturaleza (Art. 71) y establece como interés público la preservación, conservación de los ecosistemas y la integridad del patrimonio genético del país, por lo que considera a la biodiversidad como parte de los sectores estratégicos. La Constitución hace referencia al derecho que tiene la población a tener acceso seguro y permanente a alimentos sanos, saludables, suficientes y nutritivos, preferentemente producidos a nivel local y respetando las

diversas identidades y tradiciones culturales (Art. 13, 32, 66 y 281). El Estado garantiza la conservación, uso sostenible de la biodiversidad y biodiversidad agrícola para alcanzar la soberanía alimentaria (Art. 14, 57, 250, 281, 397, 400, 404 y 410) (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2016).

1.5.1 Conservación *ex situ* de la agrobiodiversidad en Ecuador

La conservación *ex situ*, está relacionada con la conservación de una colección de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura que se mantiene fuera de su hábitat natural (FAO, 2009). La conservación *ex situ* debe servir como una herramienta complementaria a la conservación *in situ*. Es una estrategia confiable y segura utilizada a nivel mundial, aplicable a un alto número de especies y permite conservar germoplasma en estado vulnerable, previniendo la erosión genética en campo y facilitando el acceso a las muestras. Además, constituye una póliza de seguro y patrimonio nacional (Monteros-Altamirano *et al.*, 2018).

En el caso del Ecuador, la conservación *ex situ* de los recursos fitogenéticos para la agricultura y la alimentación está asegurada principalmente por el INIAP que en más de 30 años ha conservado en el Banco Nacional de Germoplasma cerca de 29000 accesiones, en colecciones de semillas, colecciones *in vitro* y colecciones en campo. Centra su trabajo en la caracterización, evaluación, regeneración, multiplicación, información y documentación de los recursos fitogenéticos (INIAP y FAO, 2017; INABIO, 2019).

1.5.2 Conservación *in situ* de la agrobiodiversidad en Ecuador

Se entiende por conservación *in situ*, la conservación de ecosistemas, hábitats naturales, mantenimiento y recuperación de poblaciones viables en entornos naturales. En el caso de especies domesticadas y cultivadas, esta conservación se centra en los entornos donde ha desarrollado características específicas. La conservación *in situ* de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura se realiza en su hábitat natural (FAO, 2009). La conservación *in situ* está asociada a la evolución del hombre y el legado familiar, por tanto, es un proceso vivo, constante, cuya dinámica se da en torno a las chacras familiares y la visión de los pobladores (Rea, 2004; Tapia, *et al.*, 2011). Para Estrada y Suárez-Duque (2020) la conservación *in situ* depende de cuatro factores: disponibilidad de semillas, manejo dado al cultivo, usos dentro de la finca y demanda del mercado.

En Ecuador, la conservación *in situ* ha estado liderada por organizaciones campesinas y Organismos No Gubernamentales (ONG), que han fomentado los procesos de intercambio de semillas, ferias locales, fortalecimiento de agricultores conservacionistas (guardianes locales), fortaleciendo las prácticas ancestrales en manejo y conservación de la diversidad local, que es patrimonio de los pueblos (INABIO, 2019). Las iniciativas por parte de varios organismos (INIAP, FAO, Fundación Heifer) en coordinación con gobiernos locales, universidades y organizaciones campesinas han contribuido a la conservación de cerca de 90 variedades por cerca de 4000 familias de agricultores campesinos (FAO, 2018; INABIO, 2019).

Los trabajos entre el INIAP y universidades y gobiernos provinciales han implementado Centros de Bioconocimiento y Desarrollo Agrario (CBDA) (Paredes y Tapia, 2014). Según la Ley Orgánica de Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de Agricultura de junio del 2017 los CBDA son espacios destinados a la conservación de la agrobiodiversidad local, investigación, multiplicación de semillas, capacitación, entre otros. Además, la presente Ley reconoce el Derecho del Agricultor acordado en el Tratado internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (TIRFAA) que permite el intercambio de semillas campesinas tradicionales, reconoce áreas para conservación de la agrobiodiversidad, y separa jurídicamente las variedades campesinas tradicionales de las semillas de variedades

comerciales certificadas que requieren una normativa específica para su producción y comercialización.

1.6 CARACTERIZACIÓN DE GERMOPLASMA

1.6.1 Caracterización morfológica del germoplasma

Para estimar la diversidad existente en una colección, una aproximación es la caracterización morfológica. La variabilidad que se expresa en caracteres visibles se denomina fenotípica y dentro de ella se encuentran las características botánicas-taxonómicas, las morfoagronómicas y las respuestas a factores bióticos y abióticos. Su utilización es posible si se conocen las características y comportamiento de las accesiones de una colección de germoplasma. Si la variabilidad genética que se maneja es amplia, es posible su utilización a través de colecciones núcleo (Franco e Hidalgo, 2003; Sevilla, 2004; Monteros *et al.*, 2018).

La caracterización morfológica puede realizarse en cualquier etapa del proceso de manejo de germoplasma, aunque es mejor en épocas tempranas de la conservación. Además, la información generada debe incrementar el valor agregado y el uso del germoplasma conservado (FAO 2013). La caracterización visual de la variabilidad botánica-taxonómica hace referencia a las características relacionadas con la (i) la morfología y la arquitectura de la planta (ii) y el manejo agronómico y de producción denominadas morfoagronómicas y evaluativas (si se relacionan con estímulos ambientales. Por otra parte, la caracterización molecular se refiere a la variación que no se detecta a simple vista sino con la ayuda de marcadores moleculares (Franco e Hidalgo, 2003).

Para medir la variabilidad de una especie, es necesario utilizar descriptores discriminatorios (característica o atributo relacionado con la forma, estructura y comportamiento de una accesión), y establecer experimentos con un mínimo de cinco plantas por accesión en lotes homogéneos, esto permitirá tener información para los análisis estadísticos (Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales [UPOV], 2002; Hernández, 2013).

Según Monteros *et al.* (2018) y FAO (2014) para los procesos de caracterización de germoplasma se utilizan descriptores para varios cultivos ya probados internacionalmente y publicados por Bioversity International, The International Union for the Protection of New Varieties of Plants (UPOV) y por National Plant Germplasm System (USDA-ARS-NPGS). Sin embargo, en aquellos casos en que no hay listas de descriptores publicados se debe guiar por la publicación de Bioversity International. En esta tesis se emplearon, para el tarwi se emplearon los descriptores de Lupinos (International Board for Plant Genetic Resources [IPGRI], 1981 hoy denominado Bioversity International); para el caso del miso y la jícama se emplearon los descriptores propuestos en los estudios de Morillo (1998) y Seminario y Valderrama (2012).

1.6.2 Caracterización ecogeográfica del germoplasma

El conocimiento de la variación morfológica y los patrones de distribución geográfica permite entender la evolución de las especies vegetales y fortalecer su conservación (Solís-Neffa, 2010). Los factores ambientales tienen un rol importante en la domesticación de las plantas y cultivos, permitiendo adaptarse a un amplio rango de ambientes. A través de mecanismos de acumulación de genes que han generado diversidad, la presión de selección específica que prevalece en un sitio refleja patrones de distribución de la especie (Hawtin *et al.*, 1996 citado por Tapia, 2015b).

Las características bioclimáticas, geofísicas y edáficas combinadas con características morfológicas de la especie puede ayudar a tener una mejor referencia de la diversidad genética

presente en un área determinada. Además, el análisis espacial combinado con datos de caracterización morfológica y ecogeográfica y usando los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite mejorar el monitoreo de la diversidad y formular e implementar estrategias más efectivas de conservación (Tapia, 2015b; Parra-Quijano *et al.*, 2015; Monteros *et al.*, 2018).

En los últimos años se han utilizado herramientas informáticas como es el programa CAPFITOGEN (Programa para el Fortalecimiento de las Capacidades en Programas Nacionales de Recursos Fitogenéticos de América Latina) que ha desarrollado varias herramientas que tienen como base científica aplicaciones de ecogeografía y de sistemas de información geográfica orientadas a la conservación *ex situ* y el uso eficiente y sostenible de los recursos fitogenéticos, a continuación se detallan las herramientas del programa:

- GEOQUAL: Realiza una evaluación de la calidad de la georreferenciación de los datos de pasaporte a través del análisis de las coordenadas de los sitios de recolección de germoplasma.
- ELC Mapas: Permite obtener mapas de caracterización ecogeográfica del terreno que reflejan escenarios adaptativos para una especie en un país o región determinados.
- Representa: Permite hacer un análisis de representatividad ecogeográfica de una especie dentro de una colección de germoplasma.
- ECOGEO: Esta herramienta apoya la caracterización ecogeográfica de los sitios de recolección del germoplasma, con más de cien variables disponibles.
- DIV mapas: Esta herramienta permite la obtención de mapas que muestran zonas de alta variabilidad ecogeográfica, fenotípica y/o genotípica, en base a la determinación de distancias ecogeográficas, fenotípicas o genotípicas en vecindades.
- ColNúcleo: Permite el desarrollo de colecciones núcleo/nucleares a partir de estrategias de afijación proporcionales y en base a mapas de caracterización ecogeográfica del terreno.
- FIGS_R: Permite aplicar filtros para seleccionar germoplasma más adecuado a determinados intereses de mejoradores de cultivos.
- Testable: Detecta cualquier error en sus tablas de entrada, ya sean de pasaporte o de datos fenotípicos, genotípicos o de naturaleza fenotípicas y ofrece la opción de corrección automática de los errores (Parra-Quijano *et al.*, 2015; FAO, 2021).

1.7 PUNTOS CALIENTES Y VACÍOS DE REPRESENTATIVIDAD

1.7.1 Puntos calientes de agrobiodiversidad

Los puntos calientes de biodiversidad o *hotspots* son las reservas de vida animal y vegetal más ricas y amenazadas del planeta, son los lugares de la tierra con mayor riqueza biológica y con alto nivel de especies endémicas. Estos *hotspots* son exclusivos de determinadas regiones del planeta. Además, estos lugares están definidos por haber perdido más del 70% de su hábitat original y alberga plantas endémicas (Myers, 1988).

El *hotspot* de la zona Andina tropicales comprende desde la cordillera de los Andes de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y algunas zonas de Argentina y Chile. Ocupa un rango latitudinal amplio y elevaciones hasta los 6000 msnm, Esta zona que posee una variada vegetación que es producto de las variaciones altitudinales y climáticas, presenta un relieve variado con pendientes pronunciadas, quebradas profundas y valles, llanuras de alta montaña en los que se han identificado hasta 160 tipos de ecosistemas (Young *et al.*, 2015).

En Ecuador se han identificado dos *hotspots*: los denominados *Western Ecuador* en la costa norte y *Uplands Western Amazonia* en toda la Amazonía Ecuatoriana entre los 500 y los 1500

m s.n.m. Según datos de Neill y Ulloa (2011), el país posee 18198 especies de flora, de las cuales cerca de 5500 son endémicas del Ecuador y la mayoría se vinculan con la región Amazónica. Las características del país como son los factores climáticos, geográficos y volcánicos han dado lugar a la conformación de 91 ecosistemas en el Ecuador Continental, de los cuales 24 corresponden a la región Litoral, 45 a la región biogeográfica de los Andes y 22 a ecosistemas amazónicos (MAE, 2013).

Para estudios de agrobiodiversidad, la identificación de *hostspots* o microcentros de diversidad, se lleva a cabo a través de inventarios, que es una forma de disponer de información detallada de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura en una zona determinada. Estas áreas asociadas a las condiciones ecológicas, sistemas de producción y patrones culturales permiten cuantificar la diversidad existente y la dinámica en el territorio (Tapia *et al.*, 2011). Así por ejemplo, se identificó que el cantón Cotacachi, presenta una alta diversidad genética en cultivos tradicionales, identificando 12 variedades de maíz, de 29 existentes en el país (Tapia 2015b). Los puntos calientes de agrobiodiversidad también se pueden identificar a través de SIG que permiten seleccionar las comunidades con las que se va a trabajar dentro de las provincias; la selección puede tener varios niveles: provincial, cantonal, parroquial y comunitario (Monteros, *et al.*, 2018).

1.7.2 Vacíos de representatividad

Los vacíos de representatividad y prioridades de conservación son análisis de planificación territorial, cuyo objetivo es identificar áreas prioritarias para la conservación basado en el estado actual de la biodiversidad, su representatividad dentro de áreas protegidas e información que validen su permanencia en el futuro. Es aplicable a un rango amplio de escalas geográficas, por lo que se puede aplicar a escala de país o regiones biogeográficas (Cowling *et al.*, 2003, citado por Cuesta *et al.*, 2013). En términos prácticos, se puede decir que aquellas especies y comunidades que no están representadas significan vacíos en los esfuerzos de conservación (Gómez, 2010).

Respecto a los recursos fitogenéticos para la alimentación y agricultura, la representatividad de una especie dentro de una colección de germoplasma se la puede determinar a nivel intra e interpoblacional, para especies cultivadas sería a nivel intra e intervietal (Parra-Quijano *et al.*, 2015). Por ejemplo, puede darse el caso que la diversidad contenida en unas pocas variedades en algunas comunidades sea similar a la cantidad de diversidad genética contenida en comunidades con muchas variedades, o puede ser que algunas comunidades, contengan la mayoría de los caracteres en regiones mucho más grandes (Sadaki *et al.*, 2011), aspectos básicos a conocer para la preservación de la biodiversidad.

El análisis de representatividad ecogeográfica, análisis de faltantes o vacíos “*gap analysis*”, plantea la posibilidad de usar mapas de caracterización ecogeográfica del territorio (como los producidos por ELC mapas) para conocer las condiciones en las que se desarrolla un cultivo. Se emplea información de la colección y de fuentes externas a la colección que den referencia a la presencia de poblaciones (muestras de herbario, bases de datos botánicas, referencias bibliográficas, etc.), combinado con sistemas de información geográfica para dar referencias de los ambientes que están subrepresentados en la colección (Parra-Quijano *et al.*, 2015).

En Ecuador, Tapia *et al.* (2018) identificaron que los cantones de Otavalo y Cotacachi son áreas de conservación de la diversidad de maíz por la relación que tiene con los saberes ancestrales y conocimiento asociado. Sin embargo, se requiere realizar esfuerzos de colecta para incrementar la representatividad de la colección del INIAP, tomando como referencia los sitios donde las colectas fueron bajas o no había registro. En el género *Musa* se determinó que

los esfuerzos de colecta deben realizarse hacia las estribaciones orientales y occidentales principalmente en las provincias de Bolívar y Cotopaxi (Tapia *et al.*, 2019).

Respecto a las tres especies en estudio, solo en tarwi se identificó zonas agroecológicas económicas óptimas para la producción, para lo cual se seleccionó cartografía de suelos y relieve, cartografía temática de clima, requerimientos agroecológicos del cultivo e infraestructura vial, identificando así las provincias como Imbabura, Cotopaxi y Chimborazo como las más idóneas (Caicedo y Peralta, 2000; MAG, 2014). En el caso de la jícama y miso, al ser consideradas especies subutilizadas u olvidadas y que son cultivadas en su centro de diversidad por agricultores tradicionales, son de interés entender la dinámica de distribución y posibles escenarios de adaptación o nichos ecológicos especiales tanto en el ambiente local como en sistemas de producción y consumo, siendo transcendental ampliar las necesarias investigaciones relacionadas a estas especies.

1.8 DENOMINACIONES

- **Datos pasaporte:** son los datos de entradas, es decir, aquellos tomados al momento de recolectar la muestra y se completan con los datos que se dan al momento de ingresar la muestra al Banco.
- **Número de entrada o accesión:** De acuerdo con el INIAP el número de entrada incluye tres letras que representan la denominación del país, en el caso de Ecuador es ECU.
- **País:** Corresponde al estado en donde se recolectó la muestra o entrada
- **Provincia:** Es la división política-administrativa de primer nivel en Ecuador, conformada por la unión de uno o más cantones que facilita su administración regional. En la actualidad, el país está integrado por 24 provincias, seis corresponden a la costa: Esmeraldas, Manabí, Santa Elena, Los Ríos, Guayas y El Oro; once a la sierra: Carchi, Imbabura, Pichincha, Santo Domingo de los Tzáchilas, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Bolívar, Cañar, Azuay y Loja; cinco al oriente: Sucumbíos, Napo, Orellana, Pastaza, Morona-Santiago y Zamora-Chinchipe; y una a la región insular: Galápagos.
- **Cantones:** Es la subdivisión territorial de la provincia. Los cantones son circunscripciones territoriales conformadas por parroquias rurales y la cabecera cantonal con sus parroquias urbanas.
- **Parroquia:** Corresponde a la subdivisión territorial del cantón, es la división político-territorial de menor rango. El conjunto de estas se organiza bajo la forma jurídico-política de la municipalidad que es la autoridad jurisdiccional del cantón en asuntos administrativos. Se dividen en parroquias urbanas y rurales.
- **Comunidad:** o localidad, corresponde al nombre del lugar, es la unidad más pequeña de delimitación de un territorio rural.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de esta tesis doctoral fue:

- Analizar la diversidad morfológica y ecogeográfica de tres cultivos nativos del Ecuador: tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet), jícama (*Smallanthus sonchifolius* Poep. & Endl) y miso (*Mirabilis expansa* Ruiz & Pav. Standley).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la variabilidad genética del cultivo de tarwi, a través de descriptores morfológicos y agronómicos, que se asocia con el Capítulo 1. Estudio de la diversidad morfológica y agronómica del tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) en la región Andina del Ecuador.
- Entender las capacidades adaptativas del cultivo de tarwi e identificar la potencialidad del germoplasma con tolerancia a estrés abiótico (condiciones adversas como temperaturas extremas, precipitación, entre otros), apartado que se asocia con el Capítulo 2. Caracterización ecogeográfica de la colección de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) en la región Altoandina del Ecuador.
- Identificar vacíos de colecta en el cultivo de jícama en Ecuador, que se asocia con el Capítulo 3. Distribución ecogeográfica de la jícama (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl. H. Robinson) en el Ecuador.
- Conocer los sitios de desarrollo del cultivo de miso a través de características morfológicas y ecogeográficas de la colección nacional del INIAP, que se asocia con el Capítulo 4. Estudio de la diversidad morfoagronómica y ecogeográfica de miso (*Mirabilis expansa* Ruiz & Pav. Standley) en el Ecuador.

CAPÍTULO 1. ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE TARWI (*Lupinus mutabilis* Sweet) EN LA REGIÓN ALTOANDINA DE ECUADOR

1.1 INTRODUCCIÓN

El género *Lupinus* comprende entre 300 y 400 especies con diversos centros de diversidad, pero pocas especies tienen importancia agrícola (Hondelmann, 1984). En la región Andina (Ecuador, Perú y Bolivia) se han identificado 83 especies, las cuales presentan una gran variabilidad en relación con la arquitectura de la planta, color del grano y la flor (Mujica, 1990; Jacobsen y Mujica, 2006). De todas ellas destaca la especie *L. mutabilis* S. (tarwi), por ser la única especie de este género que ha sido domesticada y cultivada en esta región (Blanco, 1980).

El tarwi es una especie originaria de América del Sur que se distribuye desde el norte de Colombia hasta el norte de Argentina, teniendo gran importancia en países como Ecuador, Perú y Bolivia (Jacobsen y Mujica, 2008; Tapia, 2015a). El tarwi es considerado como una de las leguminosas con mayor capacidad de adaptarse a suelos y condiciones climáticas extremas, permitiendo su permanencia a nivel de los sistemas productivos alto andinos contribuyendo a garantizar la seguridad alimentaria (Mamani *et al.*, 2015). El tarwi es una especie de gran rusticidad que crece y se desarrolla en ambientes desfavorables como áreas secas, suelos arenosos y pobres, es resistente a cambios de temperatura y a heladas y requiere poca agua (Jacobsen y Mujica, 2006; Tapia 2015a). En Ecuador, el tarwi es cultivado desde los 2800 hasta los 3600 m s.n.m. y forma parte integral de los sistemas de producción alto-andinos (Rivera *et al.*, 1998). El impacto positivo que genera se ve reflejado en el enriquecimiento del suelo por la fijación del N ($120\text{-}160\text{ kg ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$), constituyendo un aporte de N para el siguiente ciclo de cultivo (Aquino *et al.*, 2018).

Es una especie generalmente anual, de crecimiento erecto (Tapia y Fries, 2007; Tapia, 2015a). La inflorescencia es un racimo terminal dispuesta en forma verticilada (Tapia y Fries, 2007). Es una planta autógama (Gross, 1982), pero puede presentar polinización cruzada en aproximadamente 5 a 10% de los casos, dependiendo del ecotipo y las condiciones ambientales (Lezcano, 1994). El fruto está constituido por una vaina que mide entre 4 y 15 cm de largo, la semilla oscila entre 0,5 y 1,5 cm, puede variar en forma y color (Tapia, 2015a; Zavaleta, 2018).

En Ecuador, según el Instituto Nacional Ecuatoriano de Censos (INEC, 2002), en datos del III Censo Nacional Agropecuario (2002), la superficie sembrada de tarwi fue de 4217 ha en monocultivo y 1757 ha en cultivo asociado con fréjol o judía común (*Phaseolus vulgaris* L.) e intercalado con habas (*Vicia faba* L.), quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) y maíz (*Zea mays* L.), con una producción total en seco de 789 Mg que equivale al 66% del total de área sembrada. Probablemente existan pérdidas de producción relacionadas con problemas bióticos (enfermedades y plagas) y abióticos (sequías, exceso de lluvia, etc.): No obstante, existen variedades mejoradas con un rendimiento potencial de 1500 kg ha^{-1} (Peralta *et al.*, 2014). En la actualidad no hay datos oficiales de producción de tarwi, probablemente porque no es considerado un producto relevante dentro de la canasta básica ecuatoriana.

Según datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador (MAG), el consumo per cápita actual es de aproximadamente 4 kg año^{-1} por persona (Márquez, 2016; Mazón, 2018). El

consumo es mayor que la demanda de este producto alcanzando un déficit de aproximadamente 6000 Mg año⁻¹, que es parcialmente cubierto por las importaciones realizadas desde Perú y Bolivia de donde proceden aproximadamente 2000 Mg año⁻¹ (Mazón, 2018).

El tarwi es un alimento extraordinariamente nutritivo. Sus semillas tienen un alto contenido de proteína, entre el 40 y 50%, 20% de ácidos grasos esenciales (linoleico y oleico) y minerales (fósforo, hierro y potasio), 7,6% de fibra bruta, 4,1% de cenizas y 35,8% de carbohidratos (Jacobsen y Mujica, 2006; Ortega-David *et al.*, 2010).

La investigación sobre variabilidad genética de los cultivos se ha basado en descriptores morfológicos y marcadores moleculares, lo cual genera información relevante sobre la descripción y clasificación de las colecciones de germoplasma con el fin de emplearlos en programas de mejoramiento vegetal (Franco e Hidalgo, 2003; Elameen *et al.*, 2009).

La evaluación de la variabilidad de genotipos entre especies domesticadas y silvestres del género *Lupinus*, ha determinado características relacionadas con las fases fenológicas, altura de la planta, número de vainas del eje central, peso de 1000 semillas, son variables estratégicas definir estrategias en programas de mejora genética de la especie (Galek *et al.*, 2015)

En Europa en el Instituto Superior de Agronomía (ISA) de Portugal, evaluaron 23 accesiones de tarwi utilizando 37 rasgos morfológicos, seis marcadores ISSR y datos de tamaño de genoma; se identificó que el rendimiento resultó similar a *L. albus*, sin embargo, se requiere de mayor exploración de la diversidad genética y que pueda proporcionar fuentes adicionales de rasgos agronómicos útiles (Guilengue *et al.*, 2020). Por su parte, en Grecia la evaluación de ocho accesiones en dos localidades determinó que el tarwi tiene potencial agronómico y mejora la biodiversidad aérea, además, el rendimiento es similar a los *Lupinus* spp europeos, sin embargo, tiene un comportamiento inestable, por lo que manejarlo de forma comercial es aún una limitante siendo necesario continuar con las investigaciones (Barda *et al.*, 2021).

Las investigaciones en países andinos como Perú y Bolivia continúan en constante evaluación de germoplasma, lo que ha contribuido a identificar accesiones con características agronómicas deseables como adaptación, productividad y precocidad (Blanco, 2011; Huisa, 2018; De la Cruz, 2018; Lema, 2020). En germoplasma peruano, Chirinos-Arias *et al.* (2015) comprobó una alta diversidad genética a través de marcadores moleculares ISSR. En Colombia, se valoró las propiedades físicas, composicionales y fisicoquímicas de la semilla, determinando que existe una fuerte interacción entre el contenido de proteína, tamaño y capacidad de retención de agua de la semilla (Ortega *et al.*, 2010).

En Ecuador, las investigaciones en torno al tarwi surgen en los años 90 cuando se caracterizó 283 accesiones procedentes de América, países de cuenca Mediterráneo (Europa, África) y Rusia (Velásquez, 1993) y que se conservan en el Banco de Germoplasma del INIAP. Como resultado de esa investigación se determinó que el grupo 1 está representado por materiales de Ecuador (*L. mutabilis*), los agrupamientos 2 y 3 contienen entradas de *L. mutabilis* procedentes de Ecuador, Perú y Bolivia; el grupo 4 corresponde al igual que los anteriores grupos a la *L. mutabilis* y *L. hybridus*; el grupo 5 integra cuatro especies (*L. mutabilis*, *L. hybridus*, *L. luteus* y *L. angustifolius*); y finalmente, el grupo 6 está integrado por *L. albus*.

Posteriormente, las investigaciones se enfocaron en la evaluación de líneas promisorias, en diferentes ambientes de la Sierra centro-norte del Ecuador. Entre los años 1997-2001, los estudios se enfocaron en la producción, tratamientos post-cosecha y uso agroindustrial (Peralta, 2016), como es la extracción de aceites con características similares al aceite de oliva (Villacrés *et al.*, 2010). Además, se caracterizaron las propiedades vinculadas a los alcaloides (Villacrés *et al.*, 2009), se identificó el material resistente a antracnosis (Guaytarrilla y Falconi, 2014), y se realizaron estudios de control químico de sus enfermedades (Vega *et al.*, 2018).

El avance en programas de mejora genética del INIAP-Ecuador está relacionado con la comercialización de la variedad INIAP-450 Andino en el año 1999 y en 2010 la comercialización de la variedad INIAP-451 Guaranguito, variedades de grano grande, precoces y de amplia adaptación (Peralta *et al.*, 2013).

Considerando el interés por el cultivo de tarwi en diferentes partes del mundo, es necesario ampliar la producción y reconocer la variabilidad de los rasgos agronómicos en condiciones locales. Bajo estas premisas, los tres objetivos de la presente investigación fueron: (1) determinar el nivel de diversidad morfológica presente en 173 accesiones de tarwi conservadas en el INIAP; (2) clasificar los genotipos en grupos basados en sus características morfológicas cuantitativas y cualitativas; (3) identificar caracteres cualitativos y cuantitativos con mayor capacidad discriminante para la identificación de material con potencialidad agronómica.

1.2 MATERIALES Y MÉTODOS

1.2.1 Material genético

En este estudio se evaluaron 173 accesiones, el germoplasma fue colectado en dos períodos: *a)* desde 1975 a 1991, y *b)* desde 2014-2016, este último como parte del proceso de investigación doctoral; los sitios geográficos de colecta fueron identificados en base a datos pasaporte registrados por el Banco Nacional de Germoplasma del INIAP y considerando épocas de cosecha. En total se muestrearon 167 sitios geográficos y se recolectó germoplasma en 89. Las accesiones empleadas en este estudio provienen de nueve provincias de la Sierra ecuatoriana, situadas a altitudes desde los 1900 hasta los 3600 m s.n.m. (Tabla 1, Anexo 1).

Tabla 1. Número de accesiones de tarwi colectadas y conservadas en el Banco de Germoplasma del INIAP (períodos 1975-1991 y 2014-2016).

Provincias	Nº de accesiones colectadas periodo 1975-1991	(%) accesiones del Banco de Germoplasma	Nº de accesiones colectadas periodo 2014-2016	Porcentaje incremento Banco de Germoplasma (%)	Total de accesiones evaluadas	Rango altitudinal (m s,n,m,)
Carchi	8	9,52	14	15,73	22	2597-3172
Imbabura	4	4,76	5	5,62	9	2204-3057
Pichincha	7	8,33	4	4,49	11	2690-3500
Cotopaxi	12	14,29	20	22,47	32	2538-3507
Tungurahua	7	8,33	11	12,36	18	2600-3390
Chimborazo	40	47,62	30	33,71	70	2380-3600
Bolívar	1	1,19	-	0,00	1	2460-2837
Azuay	-	0,00	2	2,25	2	2450-2918
Loja	5	5,95	3	3,37	8	1900-2900
Total	84	100	89	100	173	

1.2.2 Caracterización de germoplasma

1.2.2.1 Diseño experimental

Para la caracterización morfológica, las accesiones fueron sembradas en campo siguiendo un diseño experimental de bloques completos al azar con 15 plantas por accesión,

cada planta fue considerada como réplica de la accesión. Sin embargo, sólo se evaluaron 10 plantas para eliminar el efecto de borde.

1.2.2.2 Características del sitio

El tarwi es un cultivo que se adapta bien a condiciones de altura y resiste al frío durante la maduración, por ello la colección de tarwi se cultivó en los campos de la Asociación Agrícola Plaza Pallares, de la comunidad de Ugsha, parroquia San Pablo, perteneciente al cantón Otavalo, provincia de Imbabura (Ecuador, 0°11'54"Norte de latitud y 78°08'29" Oeste de longitud) a 3069 m s.n.m. Según Cevallos *et al.* (2015) la zona de vida corresponde a Bosque muy húmedo Montano y bosque húmedo Montano, con una temperatura entre 14 y 19 °C en el día y entre 11 y 13 °C en la noche, mientras que la precipitación varía entre 750 y 1000 mm por año; con suelos franco-arenosos. Esta zona se dedica a la producción de varios cultivos andinos, entre ellos el tarwi. Además, según MAGAP (2014) la provincia de Imbabura está catalogada como zona potencialmente alta para la producción agroecológica y comercialización de tarwi.

1.2.2.3 Manejo agronómico

Las 173 accesiones de tarwi se sembraron en el mes de noviembre del 2015 y el cultivo finalizó en julio del 2016, Para el manejo del cultivo, se tomó como referencia el manual agrícola de cultivos andinos (Peralta *et al.*, 2014). La preparación de suelo consistió en un pase de rastra y surcado. La distancia de siembra fue entre surcos 0,80 m y entre plantas 0,60 m. Se depositaron dos semillas por sitio de siembra. La fertilización estuvo acorde a la recomendación en función del análisis del suelo (N:19,0 ppm; P₂O₅:137,8 ppm; K₂O:1,39 mEq/100 ml) y requerimientos nutricionales del cultivo. Para cubrir los requerimientos del cultivo se aplicó una dosis de N, P₂O₅ y K₂O de 28,5 – 10,2 – 19,8 kg ha⁻¹ respectivamente, los cuales fueron cubiertos con 700 kg ha⁻¹ de compost antes de la siembra y 25 kg ha⁻¹ de nitrato de amonio en la primera deshierba. Se realizó aplicaciones foliares antes de la floración.

La deshierba se realizó 15 días después de la siembra, y aporques a los 50, 90 y 120 días después de la siembra. La cosecha del eje central del tarwi empezó a los 178 días después de la siembra. Fueron continuas conforme el cultivo presentaba vainas secas, concluyendo el proceso a los 276 días. Tras la cosecha, las semillas fueron depositadas en el Banco de Germoplasma del INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, provincia de Pichincha, conservándose a una temperatura de -15°C.

1.2.2.4 Variables evaluadas

Se emplearon 28 descriptores que incluyeron 13 variables cuantitativas y 15 cualitativas (Tabla 2) en la evaluación morfoagronómica. Los estados de los descriptores se calificaron de acuerdo con las escalas de los sistemas estándar para evaluación de germoplasma de tarwi propuesto por International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR,1981). El registro de colores se hizo con la tabla de colores de Munsell. La evaluación en campo se inició cuando el 50% de plantas de una accesión presentaron flores en el eje principal.

Tabla 2. Descriptores cualitativos y cuantitativos usados para caracterizar 173 accesiones de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet).

Descriptores cualitativos			Descriptores cuantitativos	
Cod	Carácter	Estado	Cod	Carácter
FT	Formación del tallo	0. Tallo principal no prominente 1. Tallo principal prominente	AP	Altura de la planta (eje principal) (cm)
RE	Resistencia al encamado	3. Poco 5. Medio 7. Mucho	DF	Días a la floración
VP	Vigor de la planta	3. Endeble 5. Poco vigoroso 7. Vigoroso	DM	Días a la madurez
PHH	Pubescencia en haz del foliolo	0. Ausente 1. Presente	LP	Largo del pedúnculo
PEH	Pubescencia envés del foliolo	0. Ausente 1. Presente	LPI	Largo promedio de la inflorescencia
CBF	Color botón floral	1. Blanco	LV	Largo de la vaina
CAF	Color de las alas de flor	2. Amarillo 3. Naranja, 4. Rosa	AV	Ancho de la vaina
CQF	Color de la quilla de la flor	5. Rojo 6. Verde	NV	N° vainas por eje principal
CBM	Color de la banda marginal del estandarte	7. Azul 8. Violeta 9. Marrón	NGV	N° granos por vaina (eje principal)
PV	Pubescencia de la vaina	0. Ausente 3. Poco 5. Medio 7. Abundante	LS	Largo de la semilla (cm)
DV	Dehiscencia de la vaina	0. Indehiscente 1. Dehiscente	AS	Ancho de la semilla (cm)
FS	Forma de la semilla	1. Esférica 2. Esférica aplanada o lenticular 3. Oval 4. Oval aplanada 5. Cuboides 6. Cuboides aplanada	PS	Peso de 100 semillas (g)
CPS	Color predominante de la semilla	1. Blanco 2. Amarillo	RGP	Rendimiento (gramos planta ⁻¹)
CSS	Color secundario de la semilla	3. Crema 4. Marrón claro 5. Negro 6. Marrón 7. Gris 8. Marrón oscuro 9. Otros		
DCS	Distribución del color secundario de la semilla	0. Ausente 1. Media luna 2. Cejas 3. En el lomo 4. Salpicada 5. En bigote 6. Veteada 7. En media luna veteada 8. En cejas veteada 9. Ausente 10. Manchada 11. En lomo salpicada		

1.2.3 Análisis estadístico

Los datos obtenidos de la caracterización morfoagronómica se analizaron por medio del programa InfoStat/Profesional versión 2017 (Di Rienzo *et al.*, 2011). Se elaboró una base de datos clasificando las variables en continuas, discretas, ordinales y nominales. Posteriormente, se generó una base de datos resumida considerando la media y la moda de 10 unidades experimentales por accesión. Las variables categóricas fueron transformadas a variables binarias (0 y 1) para su posterior análisis.

Para analizar los descriptores cualitativos, se realizó un análisis descriptivo por análisis de frecuencia. En el caso de descriptores cuantitativos se usaron medidas de resumen como media, coeficiente de variación, valor mínimo, valor máximo.

Posteriormente, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para variables cuantitativas y un análisis de correspondencia múltiple (ACM) para variables cualitativas, a partir de estos resultados, se realizó el análisis de conglomerados con el método de agrupamiento jerárquico de Ward (1963) y el coeficiente de similaridad de Gower (1967). Para determinar las variables que más contribuyeron a la conformación de grupos, se empleó un análisis de varianza con la prueba LSD Fisher (1936) para las variables cuantitativas, tablas de contingencia usando el estadístico de χ^2 , Cramer (V), Coeficiente de asociación (P) y P-valor para las variables cualitativas (Franco e Hidalgo, 2003; Balzarini *et al.*, 2008).

Para identificar la variación interna de los grupos, se usó el valor del coeficiente de variación (CV) generado en el análisis de varianza para las variables cuantitativas, y para las variables cualitativas se calcularon las frecuencias absolutas de cada categoría y el índice de variación de la moda (IDM) propuesto por Wilcox (1973), la fórmula usada fue $1 - (\sum_{i=1}^k (f_m - f_i) / N(K - 1))$, donde f_i es la frecuencia de cada i categorías, f_m es la frecuencia de la categoría modal, K es el número de categorías y N es el número de casos.

1.3 RESULTADOS

1.3.1 Variabilidad genética en la colección de tarwi del Ecuador

1.3.1.1 Caracteres cuantitativos

La presente investigación se basó en el estudio de 13 variables cuantitativas (Tabla 3), de las cuales tres variables mostraron la mayor variación: altura de la planta (CV=20,9%), número de vainas en el eje principal de 3 a 18 vainas (CV=31,3%) y rendimiento (CV=78,4%). Las demás características mostraron menor variabilidad, principalmente las que están relacionadas con largo y ancho de la semilla (CV= 4,0%) así como los días a la floración (CV= 2,5%) y días a la madurez fisiológica (CV= 4,7%).

Lo expuesto da a entender que entre los caracteres evaluados existen diferencias relevantes en su aporte a la variabilidad de la especie. Dentro de la colección de germoplasma existen plantas con alturas entre 61 cm y 190 cm, con tamaño de inflorescencias entre 9 y los 29 cm. En cuanto al tamaño de la vaina, se registraron valores máximos para el ancho de la vaina de 1,4 cm, con un largo máximo de 17 cm., sin embargo, esta característica está presente en la accesión (Ecu-669).

La variable número de vainas por planta en el eje principal de la planta, es una de las características con mayor variación, existiendo variedades que llegan a producir entre 3 y 18 vainas por planta. Estas vainas pueden contener alrededor de 3 y 6 semillas, siendo el promedio de 5 semillas por vaina de todas las variedades. Respecto al tamaño de la semilla, si bien existe poca variabilidad, resultando el promedio de 0,8 cm de ancho y de 1,0 cm de largo aproximadamente.

Los valores máximos y mínimos que marcan el mayor intervalo de variabilidad indican diferentes grados de adaptación. Así la variable con mayor desviación estándar (81,4%) y coeficientes de variación fue el rendimiento (gramos planta⁻¹), encontrando accesiones que llegan a producir cerca de 12 g por planta, con un máximo de aproximadamente 500 g. Son siete las accesiones que presentan rendimientos superiores a 300 g (Ecu-645, Ecu-666, Ecu-670, Ecu-672, Ecu-674, Ecu-27506 y Ecu-27514) siendo el promedio de 103,8 g de semilla por planta. Con respecto al peso de 100 semillas, existen accesiones cuyo peso de semillas presenta valores mínimos de 12 g y máximo de 33 g.

Tabla 3. Media, desviación estándar (D.E.), coeficiente de variación (CV), mínimos y máximos de 13 caracteres cuantitativos evaluados en la colección nacional de tarwi (*L. mutabilis* Sweet).

Código	Variabes	Media	D.E.	CV (%)	Valor mínimo	Valor Máximo
LP	Largo del pedúnculo (cm)	10,37	1,62	15,60	4,00	15,75
LPI	Largo promedio de la inflorescencia (cm)	18,42	3,62	19,67	9,00	29,30
LV	Largo de la vaina (cm)	9,65	0,91	9,42	8,21	17,13
AV	Ancho de la vaina (cm)	1,61	0,25	15,41	1,35	3,30
LS	Largo de la semilla (cm)	0,99	0,04	4,00	0,77	1,09
AS	Ancho de la semilla (cm)	0,81	0,03	3,97	0,63	0,89
AP	Altura de la planta (cm)	133,50	27,89	20,89	61,60	190,00
NVP	Nº vainas del eje principal	9,51	2,98	31,32	3,50	18,40
NGV	Nº de granos por vaina	5,05	0,50	9,85	3,33	6,50
DFL	Días a la floración	121,66	2,99	2,45	120,00	127,00
DMz	Días a la madurez	192,73	9,09	4,72	178,00	206,00
RTO	Rendimiento (g planta)	103,78	81,38	78,42	12,75	499,50
P100s	Peso de 100 semillas (g)	26,03	3,43	13,18	12,00	33,00

1.3.1.2 Caracteres cualitativos

Se aprecia que dentro de la colección de tarwi el 92% presenta plantas con forma de tallo prominente. El 53% de la colección presentaron poca resistencia al encamado. En cuanto a la vigorosidad de la planta, el 89% fue valorado como plantas vigorosas. Respecto a descriptores relacionados con la hoja, el 98% presentó ausencia de pubescencia en el haz de la hoja y un 86% en el envés de la hoja. En relación con el color de la flor, el 100% de las accesiones presentaron botón floral color verde y a nivel de la estructura de la flor, el color de la quilla fue blanco en toda la colección. En; en cuanto a las otras dos estructuras de la flor (alas y estandarte), el 81% de las accesiones presentaron flores de color violeta, un 17% fueron de color azul y solo el 2% de la colección (4 accesiones) presentó flores completamente blancas (Tabla 4).

En cuanto a las características de la vaina, solo el 1% (ECU-22500) presentó vainas dehiscentes y el 100% presentaron vainas con pubescencia. La variable de la forma de la semilla mostró que el 69% fue de tipo oval aplanada, 24% mostraron formas tipo oval y menos del 3% presentaron formas tipo esférica, lenticular, cuboide y cuboide aplanado. Respecto al color de la semilla, el 100% de las accesiones fueron de color blanco, y solo el 7% de la población presentan color secundario en la semilla, así se destaca el color negro en un 4% de las semillas. Finalmente, la forma de distribución del color secundario destaca la forma de media luna en un 6% (Tabla 5).

Tabla 4. Análisis de frecuencia para las características cualitativas de tallo, hoja y flor en 173 accesiones de tarwi (*Lupinus mutabilis* S.).

Códigos	Característica	Categoría	Caracter	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
FT	Formación del tallo	0	Tallo principal no prominente	14	8%
		1	Tallo principal prominente	159	92%
RE	Resistencia al encamado	3	Poco	91	53%
		5	Media	67	39%
		7	Mucho	15	9%
VP	Vigor de la planta	5	Poco vigoroso	19	11%
		7	Vigoroso	154	89%
PHH	Pubescencia haz de las hojas	0	Ausente	170	98%
		1	Presente	3	2%
PEH	Pubescencia envés de las hojas	0	Ausente	148	86%
		1	Presente	25	14%
CBF	Color botón floral	6	Verde	173	100%
CAF	Color alas de la flor	1	Blanco	4	2%
		7	Azul	29	17%
		8	Violeta	140	81%
CQ	Color quilla	1	Blanco	173	100%
CBME	Color banda Marginal del Estandarte	1	Blanco	4	2%
		7	Azul	29	17%
		8	Violeta	140	81%

Tabla 5. Análisis de frecuencia para las características cualitativas de vaina y semilla en 173 accesiones tarwi (*Lupinus mutabilis* S.).

Códigos	Característica	Clase	Carácter	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
DV	Dehiscencia vaina	0	Indehiscente	172	99%
		1	Dehiscente	1	1%
PV	Pubescencia vaina	7	Abundante	173	100%
FS	Forma de la semilla	1	Esférica	3	2%
		2	Esférica aplanada o lenticular	5	3%
		3	Oval	42	24%
		4	Oval aplanada	120	69%
		5	Cuboide	2	1%
		6	Cuboide aplanada	1	1%
CPS	Color predominante semilla	1	Blanco	173	100%
CSS	Color secundario de la semilla	0	Ausente	160	93%
		4	Marrón claro	2	1%
		5	Negro	7	4%
		8	Marrón oscuro	3	2%
DCS	Distribución del color secundario	9	Ausente	160	92%
		1	En media luna	11	6%
		4	Salpicada	2	1%

1.3.2 Análisis de componentes principales (ACP)

La variabilidad de la colección de tarwi fue expresada en los primeros cuatro componentes principales (ACP) con un porcentaje de varianza explicada del 72%. El componente 1 explica el 34% y agrupa a las variables fenológicas (días a la floración, días a la madurez) y productivas (número de vainas de eje principal y rendimiento). El componente 2 explica el 17% de la variación y está relacionada con la semilla (largo y ancho de la semilla, y el peso de 100

semillas). Por su parte el componente 3 explica el 11% de la variación y asocia características asociadas a la longitud (altura de la planta, largo del pedúnculo y largo de la inflorescencia) (Figura 1).

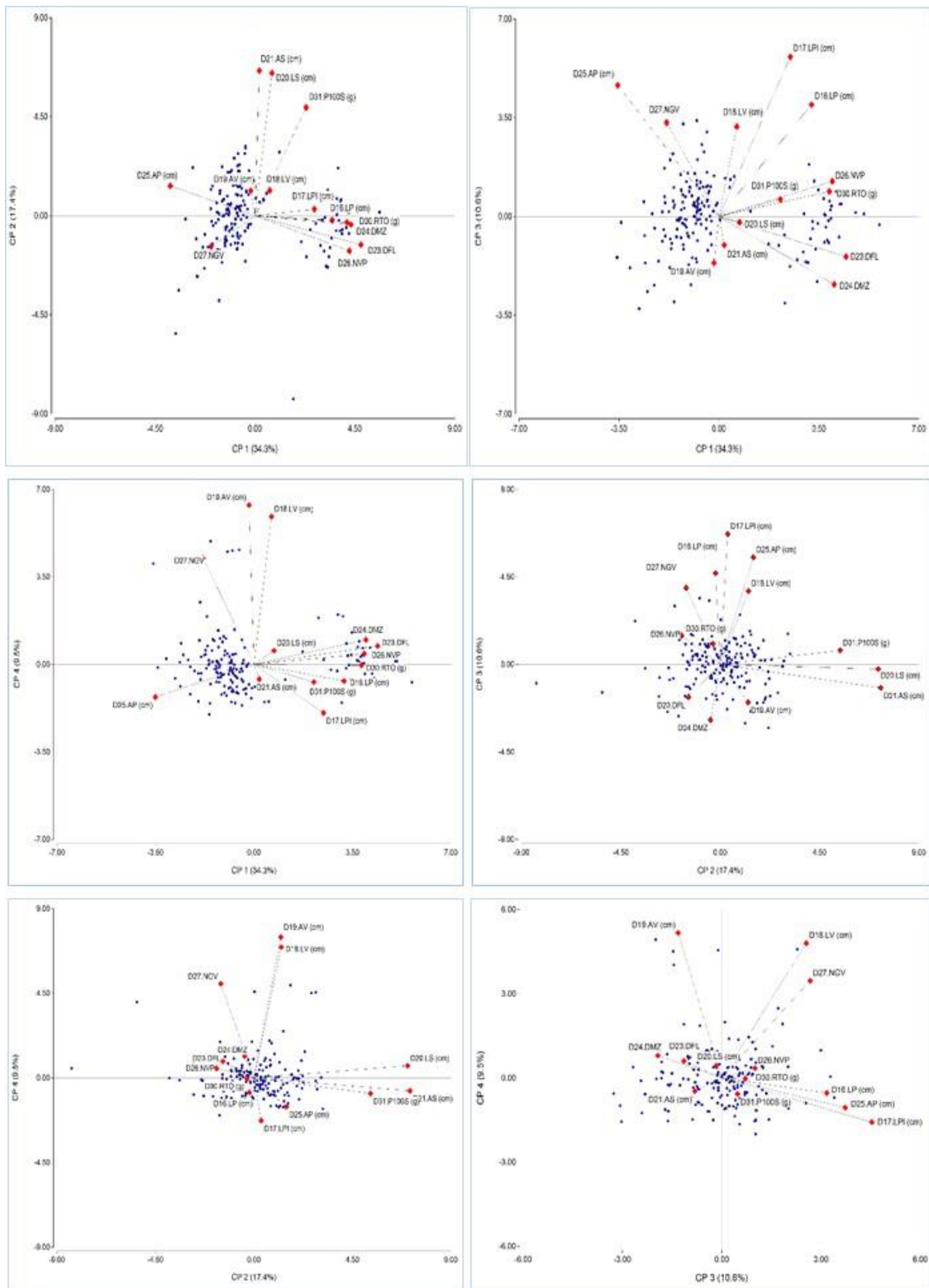


Figura 1. Análisis de componentes principales en la colección de tarwi del Ecuador

Finalmente, se consideró el aporte del cuarto componente (9%), ya que está representado por variables vinculadas a la morfología de la vaina, como son: el ancho y largo, y el número de granos por vaina y el número de granos por vaina) y que podrían dar respuesta a la identificación de materiales promisorios (Tabla 6, Figura 1).

Tabla 6. Análisis de componentes principales para variables cuantitativas evaluadas en 173 accesiones de tarwi.

Variable	Ejes			
	1	2	3	4
LP	0,32	-0,02	0,39	-0,07
LPI	0,24	0,03	0,55	-0,19
LV	0,06	0,11	0,31	0,58
AV	-0,02	0,10	-0,16	0,63
LS	0,07	0,59	-0,02	0,05
AS	0,02	0,60	-0,10	-0,06
AP	-0,35	0,12	0,45	-0,13
NVP	0,39	-0,14	0,12	0,04
NGV	-0,18	-0,13	0,32	0,42
DFL	0,43	-0,12	-0,14	0,07
DMZ	0,39	-0,04	-0,23	0,10
RTO	0,38	-0,03	0,09	-2,9E-03
P100S	0,21	0,45	0,06	-0,07
Proporción por eje	34	0,17	0,11	0,09
Proporción acumulada	0,34	0,52	0,62	0,72

1.3.3 Análisis de correspondencia múltiple (ACM)

En el análisis de correspondencia múltiple, las tres primeras dimensiones explican el 63,2% de la variación, así la primera dimensión muestra el 24,4%, la segunda un 20,4% y la tercera el 18,3% de la variabilidad. Según el valor Alfa Cronbach cada componente presentó un valor inferior a 0,7. La dimensión 1 está definida por el color de la flor (alas y borde de marginal del estandarte), y color de la semilla (color secundario de la semilla), así como la distribución de la misma. La dimensión 2 también se relaciona con el color de la flor y la forma de la semilla y finalmente, la dimensión 3 está explicada por el color secundario de la semilla y la distribución (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis de correspondencia múltiple para variables cualitativas evaluadas en 173 accesiones de tarwi.

Variable	Dimensión			Media
	1	2	3	
FT	0,008	0,006	0,028	0,014
PH	0,002	0,003	0,130	0,045
PE	0,014	0,001	0,097	0,037
CA	0,683	0,873	0,060	0,539
CBM	0,683	0,873	0,060	0,539
DV	0,001	0,000	0,000	0,000
FS	0,027	0,245	0,143	0,138
CSS	0,623	0,059	0,720	0,467
DCSS	0,525	0,055	0,715	0,432
RE	0,108	0,005	0,037	0,050
VP	0,010	0,136	0,027	0,057
Alfa Crombach	0,69	0,61	0,554	0,62a
Autovalores	2,68	2,54	2,016	2,31
Inercia	0,24	0,20	0,18	0,21
Porcentaje de la varianza	24,39	20,48	18,33	21,07

NOTA: a. El Alfa de Cronbach Promedio está basado en los autovalores promedio.

1.3.4 Análisis de conglomerados

Con base a los resultados obtenidos en el ACP y ACM se identificaron descriptores que expresan la mayor variabilidad en el conjunto de datos, así se seleccionó 13 variables cuantitativas (AP, LP, LPI, DF, DMZ, NVP, LV, AV, NGV, LS, AS, RTO, P100) y cinco variables cualitativas (CA, CB, FS, CSS, DCS).

A través del análisis de conglomerados se identificaron cuatro grupos, definidos con un coeficiente de similitud de 4 y una distancia máxima de 8,1 distancia a la cual el Grupo 1 llega a agruparse con el resto de los grupos. Los Grupos 2 y 4 comparten mayores características al estar relacionados y vinculados a una distancia de 4,1 aproximadamente. Ninguna accesión presentó distancia genética igual a cero. Esto significa que no hay duplicidades dentro de la colección y entre accesiones. Sin embargo, se identificaron 27 pares de accesiones que comparten mayor similitud a distancias entre 0,10 y 0,14 (Figuras 2 y 3).

En cuanto a la estructura de los grupos, el Grupo 1 integra 33 accesiones (19,1%) y se agrupan a una distancia de 1,9. El Grupo 2 está conformado por 26 accesiones (15%) y se agrupan a una distancia de 1,3. El Grupo 3 está integrado por el mayor número de accesiones (79) representando así el 45,6% de la colección, la distancia a la cual se conglomeran es cercana 1,35. Finalmente el Grupo 4 está integrado por 35 accesiones (20,2%) a una distancia máxima de 2,2 aproximadamente (Figuras 2 y 3).

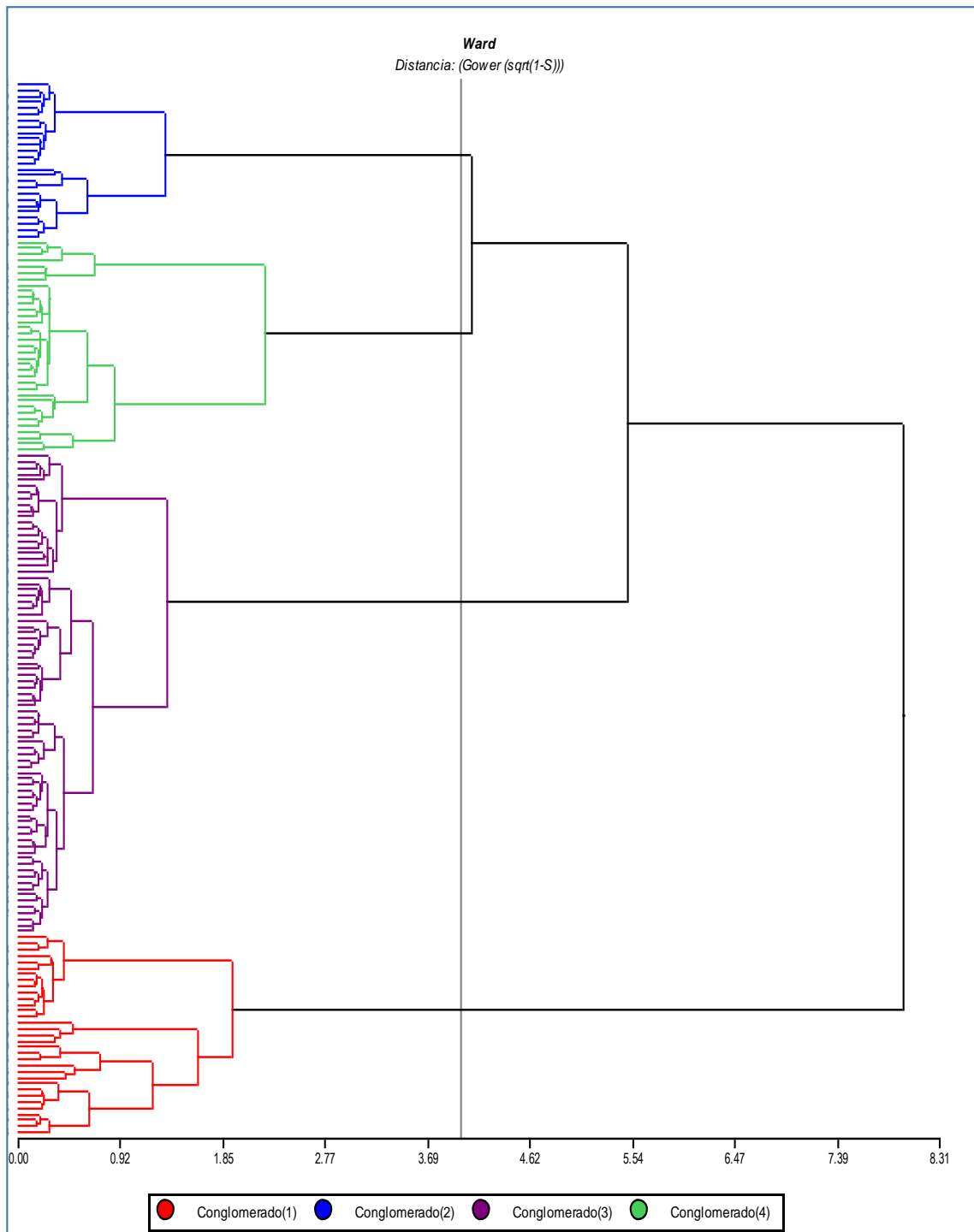


Figura 2. Dendrograma obtenido por análisis de conglomerados jerárquicos (método de Ward y distancia de similitud de Gower) para variables cualitativas y cuantitativas en 173 accesiones de tarwi.

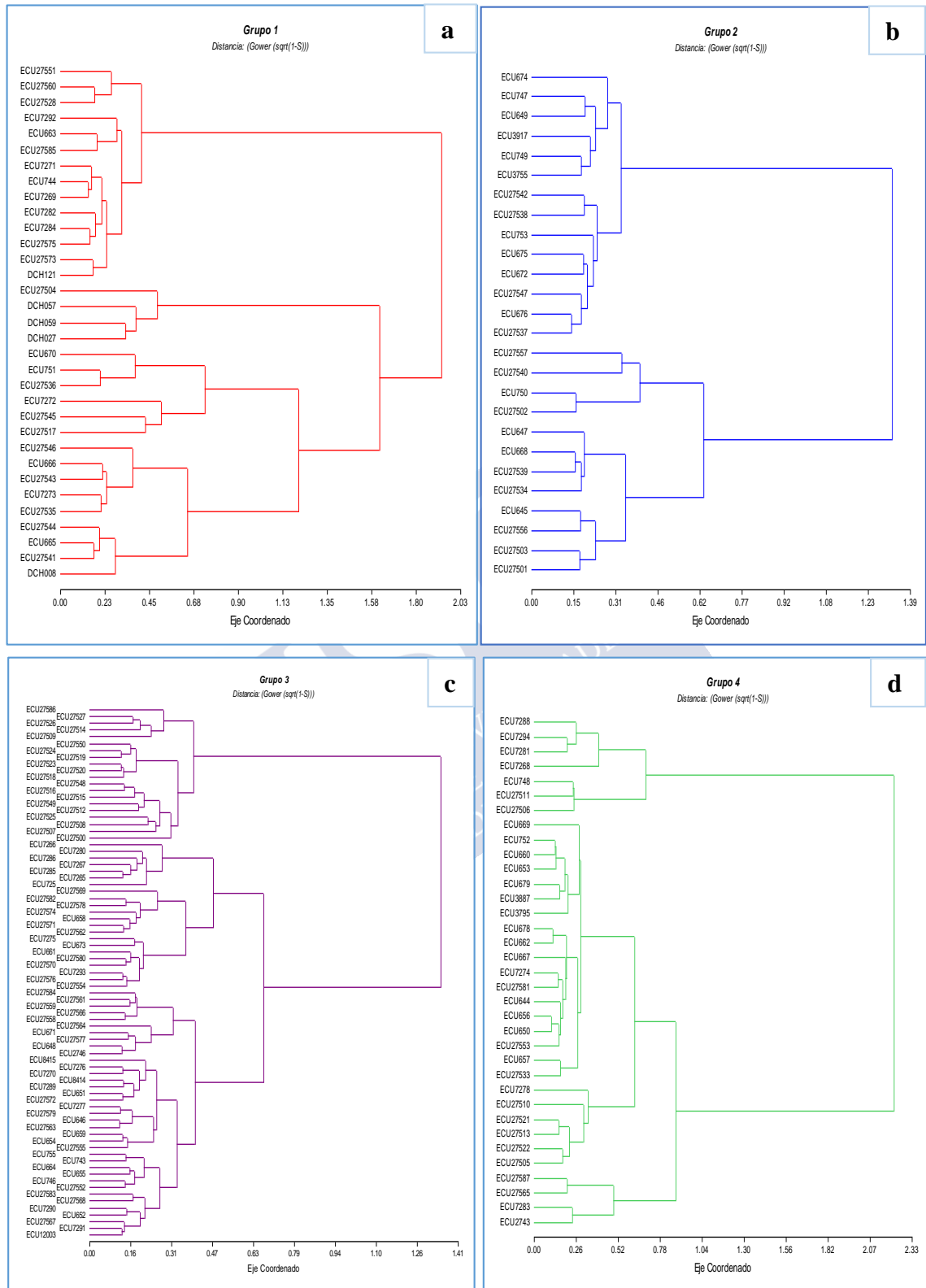


Figura 3. División del dendrograma de tarwi conformados por 173 accesiones

NOTA: a) Grupo 1; b) Grupo 2; c) Grupo 3; y d) Grupo 4.

1.3.5 Variabilidad morfológica de variables cuantitativas a nivel grupal

A través del análisis de varianza se identificó que, de las 13 variables cuantitativas ocho variables (LP, LPI, AP, NVP, NGV, DF, DMS, RTO) resultaron ser significativas (P -valor $<0,0001$) para la diferenciación entre grupos conformados. Según el coeficiente de variación promedio, el rendimiento (CV 64,7%) y número de vainas en el eje principal (CV 22,9%) resultaron ser las variables que mayor dispersión presentaron, mientras que las variables días a la floración (CV 1,33%) y días a la madurez de cosecha (CV 3,5%) fueron la más homogéneas, sin embargo, resultaron ser significativas para la diferenciación entre grupos (Tabla 8).

En cuanto a la estructura de los grupos, el Grupo 1 se caracteriza por presentar plantas con altura promedio de 120 cm, disponen de alrededor de 10 vainas del eje principal, con rendimiento promedio por planta de 127,4 g. El Grupo 2 presenta plantas con alturas de 94,1 cm, siendo las más pequeñas dentro de la colección, y a la vez, es el de mayor producción (203,5 g por planta). En el Grupo 3 presenta plantas de mayor altura (promedio de 147,1 cm) y con una baja producción (72,4 g por planta), al igual que el Grupo 4 que presenta plantas altas con una media de 144,59 cm y una producción de baja de 78,2 g por planta (Tabla 8). En la figura 4 se aprecia la distribución geográfica de cada grupo morfológico.

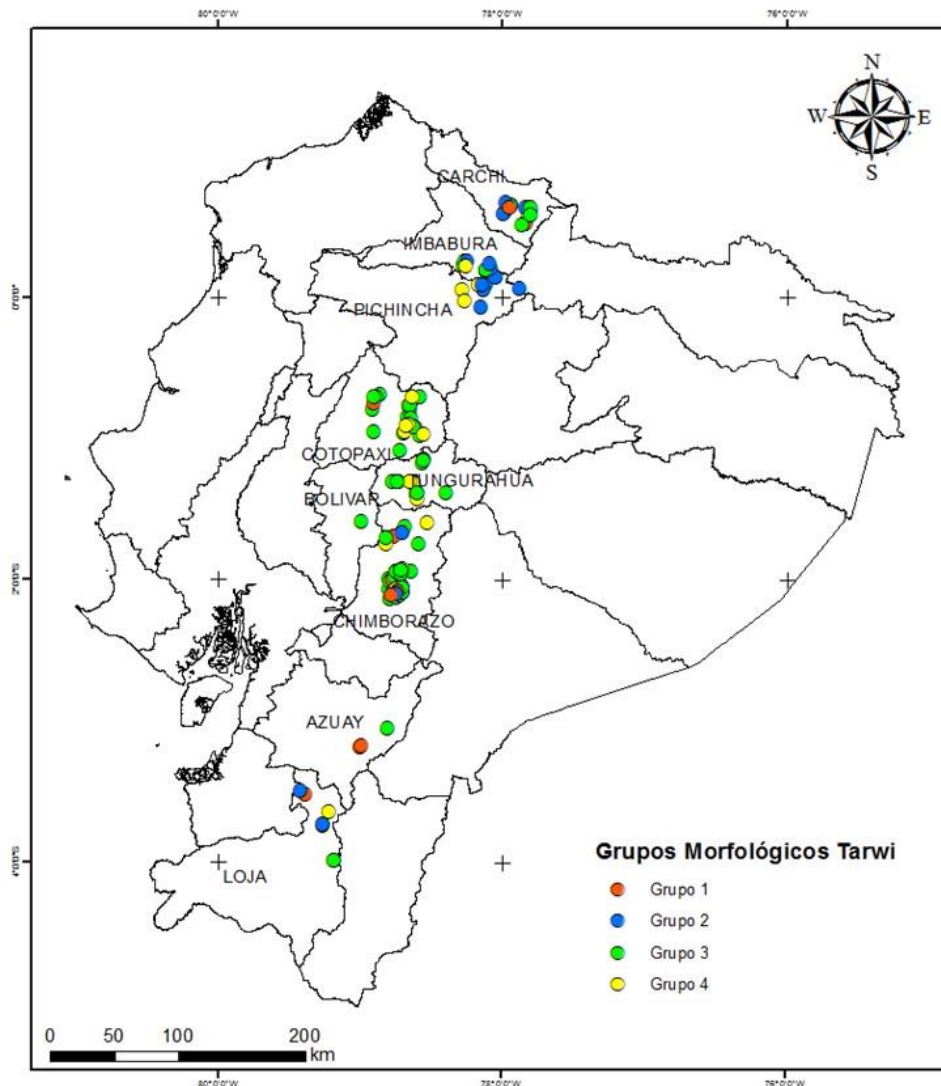


Figura 4. Mapa de distribución de tarwi según grupos conformados en el análisis de conglomerados.

Tabla 8. Valores promedio para caracteres cuantitativos en cuatro grupos conformados en el cultivo de tarwi (*L. mutabilis* Sweet).

Variables	CV%	Grupos				P-valor
		1 (33)	2 (26)	3 (79)	4 (35)	
LP (cm)	14,09	10,60 ± 0,25 b	11,96 ± 0,29 c	9,95 ± 0,16 a	9,90 ± 0,25 a	0,0001
LPI (cm)	18,52	18,42 ± 0,59 a	21,42 ± 0,67 b	17,98 ± 0,38 a	17,35 ± 0,58 a	0,0001
LV (cm)	9,42	9,57 ± 0,16 a	9,92 ± 0,18 a	9,59 ± 0,10 a	9,66 ± 0,15 a	0,4812
AV (cm)	15,53	1,62 ± 0,04 a	1,60 ± 0,05 a	1,61 ± 0,03 a	1,60 ± 0,04 a	0,9825
LS (cm)	3,96	0,98 ± 0,01 ab	0,99 ± 0,01 ab	1,00 ± 4,4E-03b	0,98 ± 0,01 a	0,1009
AS (cm)	3,95	0,81 ± 0,01 ab	0,81 ± 0,01 ab	0,82 ± 3,6E-03b	0,80 ± 0,01 a	0,1505
AP (cm)	15,10	120,17 ± 3,51b	94,12 ± 3,95 a	147,11 ± 2,27c	144,59 ± 3,41c	0,0001
NVP	22,85	10,53 ± 0,38 b	13,90 ± 0,43 c	8,17 ± 0,24 a	8,31 ± 0,37 a	0,0001
NGV	9,52	5,04 ± 0,08 b	4,72 ± 0,09 a	5,11 ± 0,05 b	5,15 ± 0,08 b	0,0021
DF	1,33	122,97 ± 0,28b	127,00 ± 0,32 c	120,09 ± 0,18 a	120,0 ± 0,27 a	0,0001
DMZ	3,47	195,82 ± 1,16b	206,00 ± 1,31 c	188,63 ± 0,73 a	189,2 ± 1,13 a	0,0001
RTO (g)	64,68	127,41 ± 11,68b	203,52 ± 13,16c	72,42 ± 7,55 a	78,2 ± 11,35 a	0,0001
P100 (g)	13,01	25,94 ± 0,59 ab	27,58 ± 0,66 b	25,91 ± 0,38 a	25,26 ± 0,57 a	0,0649

1.3.6 Variabilidad morfológica de variables cualitativas a nivel grupal

Las tablas de contingencia usada para determinar si existe asociación entre las categorías de cada variable cualitativa y los grupos resultaron ser significativas (P -valor = 0,0001). El análisis de contingencia permitió determinar que las cinco variables cualitativas empleadas en el análisis de grupos resultaron ser significativas para la discriminación de los mismos. El color de alas y estandarte de la flor fueron los caracteres con el mayor valor discriminante (173) y con los más altos coeficiente de asociación. Por su parte el color secundario de la semilla y la distribución del color secundario presentaron un valor de Chi² de 41,76 y 28,77 respectivamente (Tabla 9).

Tabla 9. Caracteres cualitativos de mayor valor discriminante entre grupos de entradas de la colección de tarwi (*Lupinus mutabilis* S.).

Variabes	Chi ²	Coef. (P)	Cramer (V)	P-valor
CAF	173,00	0,71	0,58	<0,0001
CBME	173,00	0,71	0,58	<0,0001
FS	113,65	0,63	0,41	<0,0001
CSS	41,76	0,44	0,25	<0,0001
DCSS	28,77	0,38	0,24	<0,0001

La variabilidad morfológica observada permitió determinar que el 88% de las accesiones del Grupo 1 presentaron flores (alas y estandarte) de color azul y solo el 12% (4 accesiones) fueron flores completamente blancas. Según el índice de variación de la moda (DM), estos caracteres presentaron un valor de 0,18. Sin embargo, en los Grupos 2, 3 y 4 este valor es 0, debido a que las accesiones presentan un solo estado de color de flor (alas y estandarte color violeta) (Tabla 10, Figura 5).

La forma de la semilla fue una de las variables con mayor variación, así el Grupo 2 presentó un valor DM=0,55. El grupo 2 alberga accesiones con semillas de tipo oval aplanada (54%), oval (31%), lenticular (8%), y un 4% corresponde a las formas esférico y cuboide aplanado. Por su parte, el Grupo 1 presentó el valor DM=0,36 en este grupo se conglomeran accesiones con cuatro formas de semilla: oval aplanada (70%), oval (21%), lenticular (3%) y esférica (6%). El Grupo 4 presentó un índice DM=0,27 y se registraron cuatro formas de semilla: lenticular (6%), oval (77%), oval aplanada (11%) y es el único grupo que presenta la forma de semilla tipo cuboide. Finalmente, el Grupo 3 presentó un índice DM=0, las accesiones que integran este grupo presentan una única forma de semilla (oval aplanada) (Tabla 10, Figura 5).

Tabla 10. Índice de variación de la moda de Wilcox (DM) para las variables morfológicas cualitativas.

Variables	Índice DM			
	G1	G2	G3	G4
CAF	0,18	0,00	0,00	0,00
CBME	0,18	0,00	0,00	0,00
FS	0,36	0,55	0,00	0,27
CSS	0,24	0,00	0,00	0,23
DCSS	0,27	0,00	0,00	0,26

La variabilidad encontrada en los caracteres color secundario de la semilla fue de DM= 0,24 y DM= 0,23 para el Grupo 1 y 4 respectivamente. En el Grupo 1 se puede encontrar tres colores secundarios en la semilla (9% marrón oscuro, 6% marrón claro y 3% color negro), mientras que en el grupo 4, el 17% de las accesiones presentan color secundario negro. Los Grupos 2 y 3 no presentaron color secundario en sus semillas. En cuanto a la variabilidad de la distribución del color secundario los Grupos 1 y 4 presentaron un DM= 0,27 y DM= 0,26 respectivamente. Es así como la forma de media luna estuvo presente en un 12 y 20% para los grupos en mención. Sin embargo, el Grupo 1 presentó una forma adicional como es la de tipo salpicada (6%) (Tabla 10, Figura 5 y 6).

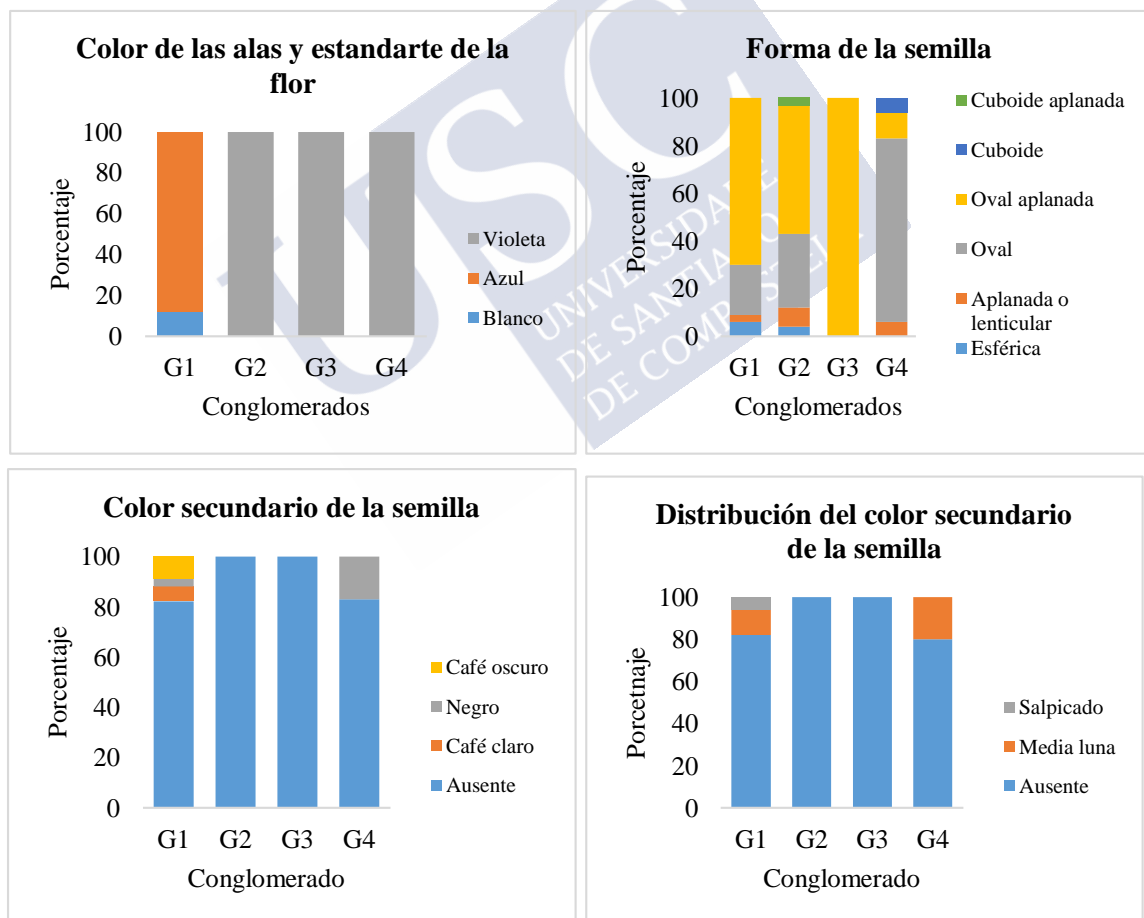


Figura 5. Frecuencias de las accesiones de la colección de *L. mutabilis* Sweet según el estado de los caracteres cualitativos con mayor poder discriminante entre grupos conformados.

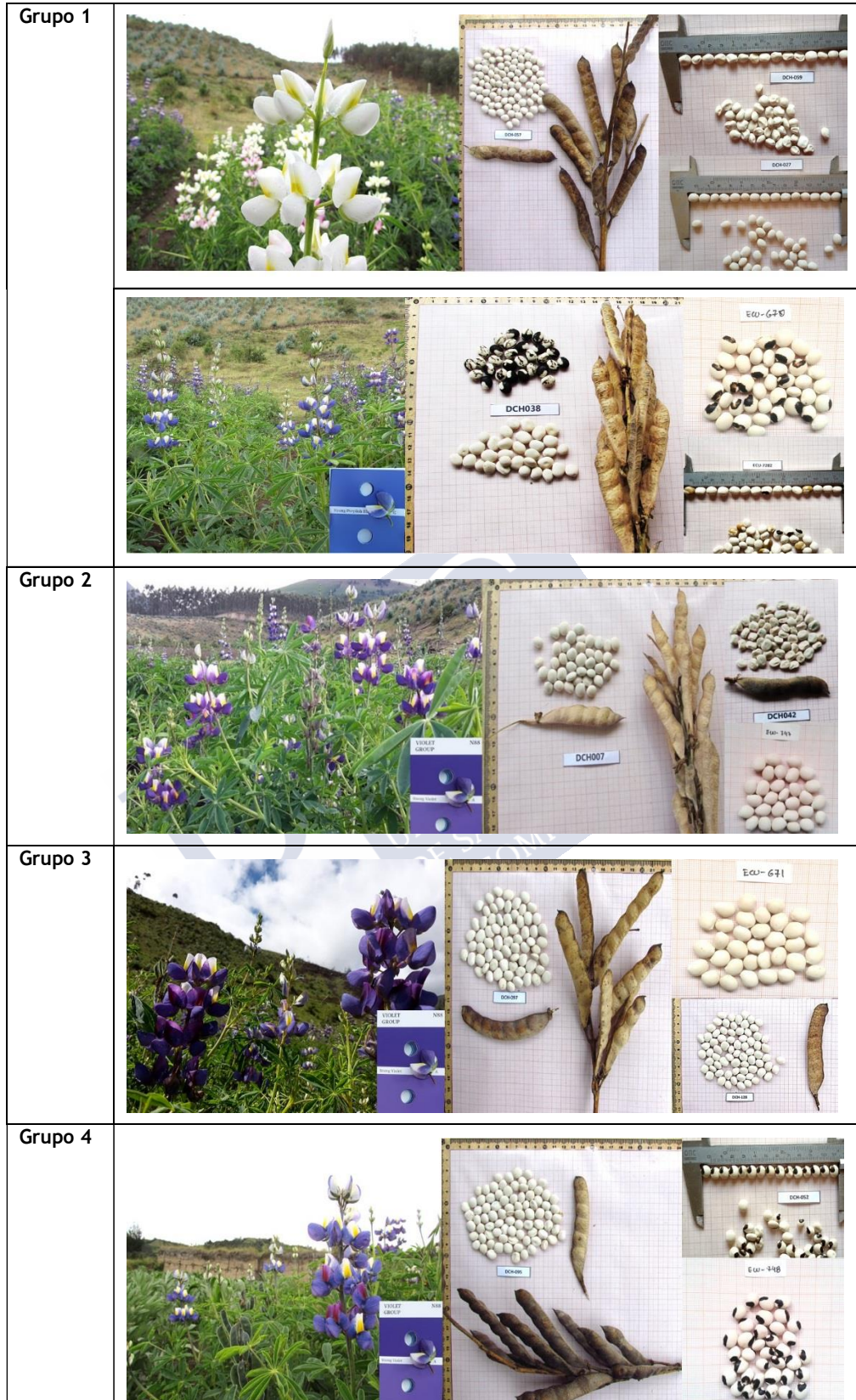


Figura 6. Variabilidad de tarwi presente en la colección nacional del Banco de Germoplasma del INIAP.

1.4 DISCUSIÓN

El análisis morfológico permitió identificar los niveles de variabilidad, y ampliar conocimientos sobre el tarwi en Ecuador, lo que facilita la identificación de materiales con características deseables, aspectos útiles en programas de mejora. La evaluación de la variabilidad genética de la colección de tarwi de Ecuador permitió identificar cuatro grupos de genotipos similares para todas las características, ninguna accesión presentó distancia genética igual a cero, es decir no hay duplicados dentro de la colección.

Dentro del grupo de variables cuantitativas, destaca el tamaño de la inflorescencia, altura de la planta, número de vainas por planta (eje principal), número de granos por vaina, rendimiento, peso de 100 semillas, y días a la floración y madurez fisiológica. Según Zakewskim Galek *et al.* (2015) estas variables permitieron identificar el 78% de la variabilidad del género *Lupinus* (ocho especies entre domesticadas y silvestres). Investigaciones en *L. albus* (Martín *et al.*, 1985) y en *L. hispanicus* (Lema y Lindner, 2002; Lema *et al.*, 2005) demostraron que además de las variables antes mencionadas, el tamaño de la semilla y vaina son atributos importantes que permiten la clasificación de la diversidad observada. Sin embargo, en el caso del tarwi, el tamaño de la semilla no fue significativo. A nivel de datos cualitativos las variables más influyentes están relacionados con el color de la flor y semilla, así como la forma de la semilla.

Dentro de la colección de germoplasma se puede encontrar variabilidad en tamaño de planta, las diferencias en altura de la planta pueden deberse a características genotípicas en respuesta a condiciones ambientales y a un efecto de fertilización. Sin embargo, no necesariamente una planta con buena altura da respuesta de buen rendimiento como lo observado en los grupos 1, 3 y 4. Caso contrario se aprecia en el grupo 2 que registra una producción de aproximadamente 60% más que los grupos 3 y 4 y un 38% más que el Grupo 1. Los valores de altura están dentro de los rangos identificados en germoplasma de origen Andino (Caicedo y Peralta, 2000; Tapia y Fries, 2007).

Comparado con variedades mejoradas del Ecuador (INIAP-450 Andino e INIAP-451 Guaranguito), el rendimiento (gramos por planta⁻¹) es similar a los rangos óptimos de producción (Caicedo *et al.*, 2010; Peralta *et al.*, 2010). En nivel grupal, destacan materiales nativos del Grupo 2 (Ecu-674, Ecu-672, Ecu-645, Ecu-27502, Ecu-27547 y Ecu-27556) que presentan potencial productivo y que podrían ser empleados para procesos de mejoramiento genético o incentivar la producción de este germoplasma según sitio de procedencia.

Las accesiones procedentes de la provincia del Carchi mostraron plantas con alturas superiores a los 2 m tal y como señala Almeida (2015). Sin embargo, estas accesiones presentan rendimientos relativamente bajos, lo que podría convertirse en una limitante para procesos de mejora genética. No obstante, para los agricultores estas accesiones son ventajosas porque pueden usarse como cerco vivo o para separar parcelas de diferentes cultivos (Estrella, 1998). Dentro de la silvicultura andina esto es un elemento más del paisaje productivo y va en concordancia con la visión agrocéntrica campesina (Kómetter, 2011), aspecto que se debe tener en cuenta, ya que se vincula al secuestro de carbono.

Para Georgieva *et al.* (2018) el potencial de germoplasma de *L. albus* está determinado por el número de vainas, semillas por planta y peso de las semillas, siendo factores determinantes de la productividad. Sin embargo, en el caso de tarwi Velásquez (1993), Guaytarilla y Falconí (2014) consideran que estos caracteres están fuertemente influenciados por el ambiente, por lo que pueden o no expresar su máximo potencial, permitiendo discriminar entre accesiones y entre grupos. Así, los materiales del grupo 2 destacan por presentar mayor número de vainas en el eje central, seguido del grupo 1, a pesar de que la variación en número de granos por vaina

es baja, los materiales del grupo 2 albergan menos de 5 semillas por vaina respecto a los otros grupos.

Timmerman *et al.* (2004) y Ligarreto *et al.* (2003) indican que lo idóneo sería tener un número igual o superior a 6 semillas por vaina, como lo muestra la accesión Ecu-675 del grupo 2. No obstante, la mejora genética se vuelve compleja cuando se aumenta el número de granos por vaina porque puede disminuir el número de vainas por planta. Además, la accesión en mención, podría ser una fuente importante de genes ya que supera el número de vainas del eje central y peso de 100 semillas, respecto a la variedad INIAP-451 Guaranguito y mantiene valores similares que la variedad INIAP-450 Andino, cabe recalcar, que el origen de estas variedades mejoradas es de procedencia peruana (Peralta *et al.*, 2012).

En el caso del germoplasma de Ecuador, el 33% de las accesiones de la colección de tarwi presentaron el peso de 100 semillas dentro de los rangos óptimos de las variedades mejoradas (28-30g), y solo un 5% presentaron valores superiores a los ya señalados, comparado con el estudio de Velásquez (1993). Las semillas de *L. mutabilis* también resultaron ser las de mayor peso (26-30g). Comparando el tarwi con otras leguminosas como el frijol o judía común (*Phaseolus vulgaris*) y la arveja o guisante (*Pisum sativum*) el tamaño de las semillas es intermedio y comparado con la semilla de soja (*Glycine max*) el tarwi presenta un 17% más de diámetro, lo que puede ser un indicador de la capacidad de nutrientes que puede almacenar (Ortega-David *et al.*, 2010).

Velásquez (1993) sugiere que la variable de peso de 100 semillas depende del tamaño de la semilla. En el presente estudio, estas variables resultaron no ser significativas en la diferenciación entre grupos, lo que implica que existen semillas relativamente homogéneas dentro de la colección de tarwi. Además, los valores registrados son similares a las características de las variedades mejoradas (Peralta *et al.*, 2014).

En cuanto a las características cualitativas, la variabilidad de la colección de tarwi está relacionada con características de alta heredabilidad como el color de la flor y semilla, así como la forma. según Leakey (1988) estas características no están influenciados por el ambiente, son de herencia simple y pueden emplearse en procesos de caracterización y mejora genética.

Respecto a la variabilidad morfológica del tarwi, en el Grupo 1 se ubican las accesiones con mayor variabilidad respecto a formas y colores de la flor y semilla, seguido del Grupo 4, Sin embargo, en el Grupo 2 es posible encontrar todas las formas de semilla descritas por IBGRI (1981), lo que demuestra la variabilidad existente inter-accesión. Según Tapia (2015) el tarwi andino presenta una amplia diversidad genética, distribuido a lo largo de la región andina (Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia) planteando la hipótesis de que podrían ser reconocidos como subespecies. Sin embargo, se requiere de análisis moleculares que den respuesta a la variabilidad existente.

Por su parte, Chirinos-Arias *et al.* (2015) en el estudio molecular con marcadores tipo ISSR (*Inter Simple Sequence Repeat*) aplicado a 30 accesiones de tarwi peruano, encontraron bandas de polimorfismos relativamente altas (58,8%) para la especie de autopolinización con cierto grado de alogamia. Este sistema mixto de polinización probablemente proporciona mayor diversidad comparada con otras especies autógamias. El mismo autor sugiere que el alto grado de polimorfismo puede estar explicado por el color de la testa ya que es un indicador de polinización cruzada. En el caso de Ecuador, no se han reportado investigaciones enfocadas en análisis de diversidad basado en el uso de marcadores moleculares, tampoco se han realizado a nivel de la región andina, lo cual podría ser de interés sobre todo si se quiere comprobar la hipótesis de la presencia de subespecies dentro de la especie

Según Blanco (1980), los colores más comunes en la flor de tarwi son el azul y violeta, y menos frecuentes el color blanco, crema, rosado y amarillo. Para Gross (1982) esta variación

en color se debe a la presencia de antocianinas y flavonoides. En la colección de tarwi se identificaron tres colores siendo el más dominante el color violeta, seguido por el color azul y solo el 2,3% de la colección presentó flores blancas, una característica que destaca es que este germoplasma proviene del sur del país (Azuay y Loja) y son parte de las accesiones del grupo 2.

Según Peralta (2016) la presencia de tarwi de flor blanca está ligado a un aspecto cultural ya que lo emplean principalmente como adorno floral para las iglesias y no para consumo. Una de las razones es la falta de conocimiento sobre los usos culinarios. Para Lagunes-Espinoza *et al.* (2012), este tipo de manejo ejerce cierto tipo de presión sobre los bancos de tales propágulos lo que podría tener un efecto negativo sobre la reserva de semillas.

En la colección de tarwi, el 100% de las accesiones corresponde a semillas blancas y solo el 6.9% presentaron color secundario, siendo el grupo 3 el que mayor diversidad de colores secundarios presenta a nivel de semillas, seguido del grupo 2. Gross (1982) señala que el color de la semilla es una característica genética de herencia compleja, encontrando genes para color y sus combinaciones. Aniszewski *et al.* (2001) sugieren que la variación en color de la testa y forma de la semilla en *Lupinus* está relacionada con la hibridación que se da entre especies del mismo género y variación en el contenido de alcaloides. Otras hipótesis, sugieren la presencia de elementos transponibles, tal como sucede en maíz (*Zea mays*) (Gulisano *et al.*, 2019).

Para Velásquez (1993) el color de la semilla merece una atención especial, pues orienta la selección de fenotipos con fines de mejoramiento, ya que el mercado exige granos de color blanco puro; esto posiblemente también ha conducido a que el agricultor seleccione sus semillas previo la siembra, para garantizar oportunidad de venta y consumo.

Por su parte, Martínez-Castillo *et al.* (2004) consideran que esta selección obedece a patrones de colonización, incorporación de los pequeños productores al mercado y a la obtención de mejores precios. Para Dugje *et al.* (2009) estos procesos influyen en la selección de los genotipos poniendo en riesgo de erosión genética a la especie, ya que induce a que algunos genotipos se pierdan o sean desplazados por materiales con atributos deseables.

Para Clements *et al.* (2008) y Ochoa-Zavala *et al.* (2016), la domesticación dirigida por características morfológicas favorables al ser humano ha conducido a la selección de germoplasma con semillas más grandes y colores uniformes. Esto podría estar relacionado con las características observadas dentro de las colecciones regionales Andinas, donde más del 95% del germoplasma conservado es de color blanco perlado (Gulisano *et al.*, 2009).

El desafío para creadores de líneas puras es desarrollar semillas con colores uniformes y heredables, combinada con genes de altos rendimiento (Gulisano *et al.*, 2019). Dentro de la colección es posible encontrar germoplasma que presenta estas características, sin embargo, también existen accesiones con colores secundarios del Grupo 1 que presentan buenos rendimientos (ECU27508, ECU670 y ECU751) y con tamaños de planta inferiores a 1 m. Esto coincide con De la Cruz (2018), que identificó dos ecotipos peruanos con características deseables relacionados con producción y adaptación, siendo la característica más prominente la presencia de color secundario en la semilla.

Con lo expuesto anteriormente, surge la necesidad de revalorizar este tipo de germoplasma y promover cambios en las preferencias alimentarias, ya que el color no tiene efecto sobre la calidad nutricional. Así lo demostraron Gross *et al.* (1998) quienes evaluaron el valor nutritivo en más de 300 genotipo de tarwi, identificando que el rango de proteína varía de 41 a 51% y aceite de 14 a 24%, valores altos comparados con otros granos de consumo masivo.

Finalmente, en Ecuador las variedades mejoradas de tarwi provienen de progenitores de origen peruano que se caracterizan por ser variedades precoces (167 a 225 días a la cosecha) dependiendo de las condiciones donde se desarrollen (Peralta *et al.*, 2010; Caicedo *et al.*, 2010;

Peralta et al., 2013). Esta característica también se puede encontrar en la colección nacional de tarwi, sin embargo, la cosecha de estos materiales es progresiva conforme va madurando en las ramas laterales, lo que puede convertirse en una limitante en caso de querer mecanizarse el proceso de cosecha. Peralta (2016) menciona que el 100% de los productores desearían variedades de ciclo corto (<7 meses), aunque también existen agricultores que les gustaría seguir manteniendo las variedades locales o tradicionales, ya que es parte de su patrimonio cultural y alimentario.

La oportunidad de disponer materiales de ciclo corto podría ser un aspecto que beneficiaría al agricultor al permitirle tener más ciclos de siembra en el año, además que se lograría cubrir la demanda per cápita, por lo que es necesario desarrollar investigaciones para generar genotipos de maduración temprana, de rendimiento estable, con tolerancia a la sequía, y bajo contenido de alcaloides siendo estos últimos una limitante al momento de producir y consumir.

1.5 CONCLUSIONES

- La variabilidad de tarwi está representada por características relacionadas con productividad como el tamaño de la planta y rendimiento, relacionado con la cantidad de vainas por planta, granos por vaina y peso de la semilla. Además, aunque es bajo el porcentaje de presencia de semillas con colores secundarios, esta característica también sugiere la presencia de variabilidad genética, que puede explicarse por el grado de polinización cruzada, el flujo genético y el manejo que el agricultor da a sus semillas.
- A través de la presente investigación se identificaron materiales promisorios para fines de mejora genética de tarwi. El potencial productivo y nutricional del cultivo es una opción para fortalecer la seguridad y soberanía alimentaria de los pueblos andinos, siendo necesario continuar con trabajos de evaluación de germoplasma, manejo de cultivo, usos tradicionales e innovación, con lo cual se podrían mejorar los niveles productivos y de calidad y satisfacer la demanda nacional e internacional.
- El desarrollo de investigaciones que permitan conocer la variabilidad entre y dentro de una población es de vital importancia para fortalecer los procesos de conservación *in situ* y *ex situ*, además de promover estrategias regionales que incentiven el consumo de tarwi con sus distintas formas y colores.

CAPÍTULO 2.

CARACTERIZACIÓN ECOGEOGRÁFICA DE LA COLECCIÓN DE TARWI (*Lupinus mutabilis* Sweet) EN LA REGIÓN ALTOANDINA DE ECUADOR

2.1 INTRODUCCIÓN

El lupino (*Lupinus* spp.) es uno de los cultivos de relativa importancia a nivel mundial. Existen dos grandes grupos de especies de *Lupinus*, los del viejo mundo (*Lupinus luteus* y *L. albus*) cultivados en la zona de la cuenca Mediterránea (España, Italia y Grecia), y los *Lupinus* de América, siendo el tarwi o lupino de los Andes (*Lupinus mutabilis* Sweet) el único dentro de este género que ha sido domesticado y cultivado desde Colombia hasta Argentina, teniendo mayor importancia a nivel de Ecuador, Perú y Bolivia (Jacobsen y Mujica, 2008; Tapia 2015a). Según Gross (1982) la clasificación taxonómica del tarwi se define como: Orden: Rosales, Suborden: Leguminosae, Familia: Fabaceae, Género: *Lupinus*, Especie: *L. mutabilis* Sweet.

Los granos andinos como el tarwi constituyen un patrimonio de la región andina. Las características agronómicas y nutricionales lo convierte en un importante cultivo que promueve la seguridad y soberanía alimentaria (Jacobsen y Mujica, 2006; Peralta *et al.*, 2013). El tarwi posee altos contenidos de proteínas, aceites y minerales como el calcio, fósforo y hierro, además, ayuda a prevenir algunas enfermedades. Sin embargo, las sustancias anti nutricionales como los alcaloides le confieren un sabor amargo, siendo una limitante para el consumo y comercialización (Villacrés *et al.*, 2006).

En Ecuador la producción de tarwi se concentra principalmente en las provincias de Cotopaxi y Chimborazo y en menor proporción en Pichincha, Bolívar, Imbabura, Tungurahua y Carchi (MAGAP, 2014). Según el III Censo Nacional Agropecuario realizado en 2002, la superficie sembrada de chocho o tarwi fue de 4189 ha bajo sistema de monocultivo y 1754 ha en asociación, con una producción total de 758 Megagramos. Según datos del MAGAP (2016), considerando un escenario de política activa con énfasis en la inversión y promoción de la producción agropecuaria para el 2025, la superficie sembrada de tarwi será de 14135 ha con un rendimiento medio de 3,3 Mg ha⁻¹. No obstante, el escenario económico nacional cambió significativamente, lo que obliga a una revisión exhaustiva de las metas agropecuarias y plantear nuevos escenarios, ya que el cultivo de tarwi forma parte del 69% de las UPAS relacionadas con la agricultura familiar campesina.

En Ecuador, la aptitud agrícola territorial la constituyen 5,9 millones de hectáreas (24% del territorio nacional). Estas tierras son aptas para el desarrollo de la agricultura en sus condiciones naturales de suelos, topografía y clima. Así 42% de la superficie con aptitud agrícola (2,5 millones de hectáreas) tienen vocación “Muy Apta y Apta; el 35% de la zona apta para agricultura son tierras “Moderadamente aptas” (algo más de dos millones de hectáreas); y el 23% del área con aptitud para la agricultura (1,3 millones de hectáreas) se clasifican como suelos “Marginalmente aptos”, presentando limitaciones como la profundidad del suelo (capa arable), textura mayormente arenosa y/o de pendientes muy fuertes o abruptas. Estas condiciones no permiten la mecanización del suelo ni el fácil establecimiento de infraestructura de riego, siendo el tarwi uno de los cultivos presentes en las distintas aptitudes agrícolas de la

Sierra ecuatoriana sobre todo porque requiere un mínimo de 300 mm de precipitación por ciclo (MAGAP, 2016; Peralta *et al.* 2012).

L. mutabilis se adapta bien a climas templados, ni demasiado seco ni cálido, es relativamente susceptible a heladas, ya que temperaturas por debajo de $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ causa la muerte de la planta, principalmente cuando está en etapa de crecimiento (Blanco, 1982). Según Huanca (2006), el cultivo de tarwi es propio de suelos pobres y marginales, se desarrolla mejor en suelos francos a francos arenosos y requiere un balance adecuado de nutrientes. Los requerimientos de humedad son variables dependiendo de los ecotipos. Sin embargo, el tarwi se cultiva bajo secano (350 – 800 mm). Sin embargo, la planta es susceptible a sequías durante la formación de flores y frutos, afectando seriamente a la producción (Gross, 1982). El tarwi es considerado un cultivo de subsistencia en los Andes, demostrando su potencial como cultivo de bajos insumos (Cowling, Buirchell, y Tapia, 1998) y con potencial de adaptación ante proceso de cambio climático (Peralta *et al.*, 2015).

El conocimiento de la variabilidad morfológica y la distribución geográfica permite conocer y entender la evolución de las especies vegetales y su subsistencia (Ruiz *et al.*, 2008; Solis-Neffa, 2010). Los estudios biogeográficos se refieren a procesos de recopilación, caracterización, sistematización y análisis de diferentes tipos de taxones (Contreras-Medina, 2006; Parra-Quijano *et al.*, 2012). Además, permite establecer estrategias de muestreo (Aguirre-Morales *et al.*, 2016), para lo cual es necesario emplear variables o descriptores ecológicos como son la precipitación, temperatura, características del suelo, latitud y altitud, que pueden estar o no asociados a caracteres morfológicos, agronómicos, bioquímicos o genéticos (Steiner y Greene, 1996; Parra-Quijano *et al.*, 2008).

En el género *Lupinus*, en Argentina, se determinaron ocho regiones potencialmente aptas para la producción de lupino blanco (*Lupinus albus* L.) siendo estos sitios de secano, con riego eventual complementario o integral. Las áreas óptimas para el cultivo del lupino blanco son aquellas que presentan deficiencia hídrica inferior a 100 mm (Ravelo y Planchuelo, 2003). Varios estudios han demostrado que el clima, es uno de los principales factores que afectan la distribución y variación de las especies vegetales, ya que actúa de forma directa sobre los procesos fisiológicos y reproductivos e indirectamente por las interacciones ecológicas (Shao y Halpin, 1995).

Así se demuestra en estudios realizados en Ecuador, donde se determinó que 11 variables bioclimáticas (temperatura y precipitación), siete edáficas y tres geofísicas tienen efecto sobre los escenarios adaptativos del cultivo de camote (*Ipomoea batata*) identificando cuatro provincias con mayor prioridad para su conservación (Vásquez *et al.*, 2019). En el caso del maíz (*Zea mays*), identificaron que 10 accesiones potencialmente adaptadas a ambientes extremadamente fríos y 40 accesiones a condiciones secas (Tapia *et al.*, 2015). La información generada puede utilizarse para determinar áreas de importancia para futuras misiones de colecta o si se requiere una taxa en particular y para determinar áreas de conservación de los recursos fitogenéticos (Bennett y Maxted, 1997; Guarino *et al.*, 2005). Esta información puede utilizarse en mejora vegetal, además, de ser un elemento vital para fomentar la seguridad alimentaria, mejorar la producción agrícola y sostener la productividad (Hunter y Heywood, 2011).

A través de la presente investigación se plantearon tres siguientes objetivos específicos: (1) identificar las variables climáticas, edáficas y geofísicas que determinan la distribución de tarwi en la Sierra ecuatoriana; (2) determinar patrones de distribución geográfica asociados a la variabilidad morfológica del tarwi; (3) definir zonas agrícolas óptimas para la producción y conservación del tarwi.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1 Área de estudio

El área de estudio está situada en la región Altoandina del Ecuador, que presenta variadas condiciones topográficas que favorecen la gran diversidad de microclimas y especies. En esta zona predominan las pendientes suaves (< 5%) en zonas de valles y fuertes (entre 15 y 25%) en zonas de montaña (Tapia *et al.*, 2015). Los suelos son fértiles y de origen volcánico. Los suelos de la región presentan importantes variaciones derivadas de la pendiente y altitud. Los suelos de la zona centro norte son profundos y de textura media a gruesa con contenidos de materia orgánica media a alta, mientras que los suelos de la zona sur son de textura fina, poco profundos y con un bajo contenido de materia orgánica (Winckell *et al.*, 1992).

En esta región la temperatura está vinculada estrechamente con la altura. Entre los 1500 y 3000 m s.n.m. la temperatura media anual varía entre los 10 °C y 16 °C con máximas que pueden superar los 25 °C y mínimas que se aproximan a 0 °C. La precipitación total anual varía entre los 500 y 2000 mm dependiendo de la zona y se concentra en dos estaciones lluviosas: de febrero a mayo (muy intensa y copiosa) y de octubre a noviembre (más liviana y menos abundante). Respecto a las estaciones secas, se dan en dos periodos: la primera estación seca y muy marcada es de junio a septiembre, y la segunda menos acentuada entre diciembre y enero (Pourrut, 1983; Portilla, 2018).

2.2.2 Colección de germoplasma

La colección nacional de tarwi del Ecuador está conformada por 173 accesiones procedentes de nueve provincias de la Sierra ecuatoriana (Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Azuay, Bolívar y Loja) colectadas entre los años 1975 – 1997 y 2014 – 2015, y se conservan en el Banco de Germoplasma del INIAP (Tabla 1).

Con las coordenadas geográficas se elaboró la denominada “tabla de datos de pasaporte”, según las directrices de FAO-Bioversity (2012). La ubicación geográfica se registró con el receptor GPS Garmin 62sc en grados, minutos y segundos; sistema de proyección WGS84.

Tabla 1. Número de accesiones y procedencia de la colección nacional de tarwi del Ecuador.

Provincias	Nº de accesiones	Rango altitudinal (m s.n.m.)
Carchi	22	2620 - 3172
Imbabura	9	2500 - 3057
Pichincha	11	2690 - 3500
Cotopaxi	31	2760 - 3507
Tungurahua	17	2722 - 3390
Chimborazo	71	2780 - 3750
Bolívar	1	2460
Azuay	3	2450 - 2957
Loja	8	2220 - 2780
Total	173	

2.2.3 Selección de variables (Herramienta SelecVar)

La selección de variables ecogeográficas se realizó utilizando la herramienta SelecVar del programa CAPFITOGEN (Parra-Quijano *et al.*, 2015), que consiste en la aplicación de métodos

estadísticos para extraer información geográfica que se emplean para desarrollar variables predictoras de la distribución de especies vegetales que pueden tener efecto significativo en los resultados. Para determinar la heterogeneidad y mínima redundancia se empleó el Análisis Correspondencia Binaria (BCA siglas en inglés) para descartar variables que o bien no aportan al análisis o bien aportan la misma información que otras. Otro análisis que permitió explorar datos y reducir dimensiones es el Análisis de Componentes Principales (ACP) que facilitó la selección de variables discriminantes con mayor peso absoluto (sin considerar su sentido positivo o negativo) y poca redundancia (correlación lineal) entre sí. Para ello se estableció una matriz de datos con 173 accesiones de tarwi y 105 variables del programa CAPFITOGEN vr. 2.0 (Anexo 1) (Parra-Quijano *et al.*, 2015).

Tabla 2. Variables ecogeográficas identificadas en el cultivo de tarwi

Nº de variables	Código*	Datos ecogeográficos	Unidad	Fuente
Bioclimáticas				
1	bio_3	Isotermalidad (BIOCLIM2/BIOCLIM7)(*100)		Worldclim ¹
1	bio_1	Temperatura media anual	°C	Worldclim
1	bio_10	Temperatura media del mes más cálido (3 meses más cálidos)	°C	Worldclim
1	bio_9	Temperatura media del cuarto más seco (3 meses más secos)	°C	Worldclim
1	bio_2	Rango medio de temperaturas diurnas	°C	Worldclim
1	bio_7	Rango de temperatura anual (BIOCLIM5 - BIOCLIM6)	°C	Worldclim
1	tmax_12	Temperatura máxima de diciembre	°C	Worldclim
1	tmin_2	Temperatura mínima de febrero	°C	Worldclim
1	tmin_3	Temperatura mínima de marzo	°C	Worldclim
1	tmin_6	Temperatura mínima de junio	°C	Worldclim
1	tmin_11	Temperatura mínima de noviembre	°C	Worldclim
1	bio_12	Precipitación anual	mm	Worldclim
1	bio_17	Precipitación del cuarto más seco (3 meses más secos)	mm	Worldclim
1	prec_1	Precipitación media de enero	mm	Worldclim
1	prec_7	Precipitación media de julio	mm	Worldclim
1	prec_11	Precipitación media de noviembre	mm	Worldclim
1	vap_annual	Presión de vapor anual		Worldclim
Edáficas				
1	t_clay	Contenido de arcilla en suelo superficial	% peso	MAG ²
1	t_sand	Contenido de arena en suelo superficial	% peso	MAG
1	t_silt	Contenido de limo en suelo superficial	% peso	MAG
1	t_oc	Contenido de carbono orgánico en suelo superficial	% peso	MAG
1	t_ph_h2o	pH en suelo superficial en solución suelo-agua (relación 1:2.5)	-log(H+)	MAG
1	s_ph_h2o	pH en subsuelo en solución suelo-agua	-log(H+)	MAG
1	t_ece	Salinidad del suelo superficial	dS/m	MAG
1	t_caco3	Carbonato de calcio en superficie de suelo (CaCO ₃)	% peso	MAG
Geofísicas				
1	alt	Elevación. Metros sobre el nivel del mar	m	SRTM ³
1	slope	Pendiente (en grados) de la superficie del terreno	°	SRTM
1	wind_annual	Velocidad del viento anual	Km/h	SRTM
28				

NOTA: 1. Worldclim (<http://www.worldclim.org>, acceso julio, 2020) (30 arc-sec-onds resolution); 2. Ministerio de Agricultura y Ganadería (<http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>) acceso julio, 2020; 3. Shuttle Radar Topography Mission (<http://srtm.csi.cgiar.org/>) acceso julio, 2020; * Códigos asignados en el manual CAPFITOGEN vr. 2.0 (Parra-Quijano *et al.*, 2015; <http://www.capfitogen.net/es/programa/>)

Finalmente, para determinar la contribución de las variables a la distribución de la especie, se empleó el método de clasificación *Random Forest* (RF) que además de producir agrupamientos con alta precisión dentro de ambientes caracterizados por la interacción entre variables, también determina la importancia que tiene la variable en la clasificación. Siendo las variables de mayor importancia en la clasificación aquellas de mayor valor de decrecimiento medio de la precisión (decrecimiento medio del índice de Gini) (Parra-Quijano *et al.*, 2015).

Adicionalmente se realizó una revisión bibliográfica y se implementó una encuesta a 11 expertos nacionales (Anexo 2, 3) de diferentes instituciones como: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias-INIAP, Universidad Técnica del Norte-UTN, y expertos productores de tarwi en Ecuador. La utilización de la herramienta SelecVar y las encuestas permitió la selección de 28 variables ecogeográficas (tres geofísicas, ocho edáficas y 17 bioclimáticas) (Tabla 2).

2.2.4 Mapa de caracterización ecogeográfico del terreno o ELC

Los mapas de caracterización ecogeográfica de la tierra “ELCmapas” (*Ecogeographical Land Characterization* en sus siglas en inglés) del programa CAPFITOGEN vr. 2.0 que son herramientas que ayudan a describir diferentes condiciones ambientales potenciales para la adaptación del taxón vegetal y se utilizaron para evaluar la representación de la variabilidad ecogeográfica e identificar sitios potenciales para la conservación *in situ* y colección *ex situ* (Parra-Quijano *et al.*, 2008, 2012a, b; Parra-Quijano *et al.*, 2015).

Se emplearon 28 variables ecogeográficas: 17 variables bioclimáticas, ocho edáficas y tres geofísicas previamente seleccionadas (herramienta "SelecVar") que fueron consideradas para generar el mapa ELC para tarwi. Se utilizó los datos de latitud y longitud de las 173 accesiones de en estudio, los cuales fueron incluidos como variables geofísicas para obtener mapas con categorías agregadas espacialmente. El programa CAPFITOGEN determina el número de grupos a usar dentro del grupo de agrupamiento basado en el algoritmo de agrupamiento “K-means” con determinación del punto de corte en la disminución de la suma de cuadrados intragrupo (Ketchen y Shook, 1996 citado por Parra-Quijano *et al.*, 2015); el número de grupos óptimos es el alcanzado con el método “elbow” o "codo" que permite actuar sobre una gran cantidad de datos. La resolución para generación del mapa fue de 5 x 5 km (30 segundos de arco) (Parra-Quijano *et al.*, 2015).

El análisis arroja tablas excel “Tabla_ELC_celdas_pais.ext”, las cuales contienen los valores de las variables seleccionadas y los valores de las categorías ELC (bioclimáticas, edáficas y geofísicas para cada centroide (fila) de cada celda que contiene el territorio del país objeto de estudio, también contiene los valores de latitud y longitud de cada centroide. Por su parte el número de categorías “numero_categorias_pais.txt” contiene el recuento de categorías ecogeográficas producidas y representadas en el mapa ELC resultante y el número de categorías producidas por componente. Finalmente, la tabla de estadísticas ELC “Estadistic_ELC_pais.txt” se describe los análisis estadísticos descriptivos por cada variable original involucrada en la creación del mapa ELC (Parra-Quijano *et al.*, 2015).

2.2.5 Caracterización ecogeográfica

La caracterización ecogeográfica se realizó a través de la herramienta ECOGEO del programa CAPFITOGEN, el cual permitió extraer información ambiental del sitio donde crece un individuo o población. Se empleó datos geográficos de 173 accesiones procedentes de la colección nacional de germoplasma de tarwi del INIAP-Ecuador y 28 variables ecogeográficas (definidas con SelecVar) (Parra-Quijano *et al.*, 2015).

La información generada a partir de la caracterización ecogeográfica es una matriz de datos donde las filas corresponden a las accesiones en evaluación y las columnas a los descriptores o variables ecogeográficas. A partir de esta base de datos, se realizó un análisis multivariante (InfoStat/Profesional versión 2017 [Di Rienzo *et al.*, 2011]). Para determinar similitudes ambientales entre los diferentes sitios de recolección se realizó un análisis de conglomerados con el método de agrupamiento jerárquico de Ward (1963) y el coeficiente de similaridad de Gower (1967).

Para determinar las variables que más contribuyeron a la conformación de grupos, para variables cuantitativas se empleó un análisis de varianza con la prueba LSD Fisher (1936); para datos cualitativos se usó tablas de contingencia con el estadístico de Chi², Cramer (V), Coeficiente de asociación (P) y *p-valor*. Para identificar la variación interna entre grupos, se empleó el valor de coeficiente de variación (CV) generado en el análisis de varianza, y para variables cualitativas se calcularon las frecuencias absolutas de cada categoría y el índice de variación de la moda (DM) propuesto por Wilcox (1973), la fórmula usada fue $1 - (\sum_{i=1}^k (f_m - f_i) / N(K - 1))$, donde f_i es la frecuencia de cada i categorías, f_m es la frecuencia de la categoría modal, K es el número de categorías y N es el número de casos.

2.2.6 Mapa de diversidad ecogeográfica - DIV mapas

La generación de mapas de diversidad ecogeográfica es una forma diferente de mostrar cómo está distribuida la diversidad genética, se basa en la estimación de parámetros propios de la población en estudio, es decir, la diversidad se estima a nivel local con la determinación de vecindades o áreas de influencia, permitiendo identificar de forma sencilla y rápida zonas o regiones donde se concentra alta diversidad (Parra-Quijano *et al.*, 2015).

Los mapas de diversidad ecogeográfica y morfológico, fueron generados a partir de la información morfológica y ecogeográfica; se calculó el valor promedio de las distancias (morfológicas y ecogeográficas) entre muestras de una celda. Dada la diferente naturaleza de las variables, la distancia aplicada fue la de Gower (1971).

Los mapas de diversidad se generaron superponiendo una retícula o conjunto de celdas de forma cuadrada de un tamaño de 5x5 km aproximadamente (2,5 arc-minutos) sobre los mapas de diversidad fenotípica y ecogeográfica, esta área de influencia determina las celdas vecindario, que son las celdas donde no ocurren entradas pero que se encuentran suficientemente cerca de las inicialmente seleccionadas.

A través de la herramienta DIV mapas del programa CAPFITOGEN vr 2.0, se obtención de obtuvo mapas que muestran zonas de alta variabilidad (*hot spots*) a nivel intraespecífico. Los mapas fueron procesados en ArGIS versión 2019 para facilitar la interpretación. Se adicionó la capa de ubicación de las accesiones para luego, calcular el número total de morfotipos que presentaron altos valores (Parra-Quijano *et al.*, 2015).

Los mapas aparecen representados con diferentes colores el promedio de las distancias ecogeográfica y morfológica de las entradas del área de influencia de cada celda; en el caso de mapas de diversidad ecogeográfica la distancia tiene posibles valores desde 0 (cuando hay entradas que hayan sido colectadas en ambientes idénticos) hasta el infinito; en mapas de diversidad morfológicos la distancia va de 0 (para el caso de entradas donde todas las entradas presentan características morfológicas similares) hasta 1 (máxima diferencia) (Parra-Quijano *et al.*, 2015).

2.2.7 Análisis de correlación de Mantel

Para evaluar la correlación de caracteres morfológicos y ecogeográficos, se realizó mediante test de Mantel (1967), la prueba es equivalente al análisis de correlación de Pearson

(5%) entre los valores de las matrices de distancia (cuadráticas) con permutaciones al azar (10000). El análisis fue realizado utilizando el software Infostat vr. 2018.

2.3 RESULTADOS

2.3.1 Mapa ELC

La variabilidad bioclimática, geofísica y edáfica está representada por variables como la precipitación, temperatura y elevación entre otras, las cuales dan referencia de los rangos de adaptación o distribución geográfica del tarwi a nivel de Ecuador.

El mapa ELC identificó seis categorías eco-geográficas distribuidas a lo largo de la Sierra ecuatoriana. Las categorías más frecuentes fueron la 2 (47,77%), 4 (25,77%) y 10 (23,66%); por su parte, las categorías menos frecuentes fueron las categorías 1 (0,06%) ubicada al norte del país, categoría 3 (1,85%) y 9 (0,89%) distribuidas al sur del país (Figura 1, Anexo 3).

En la categoría ecogeográfica 2 es posible encontrar sitios geográficos o agroecosistemas con precipitación anual de 958,7 mm, la temperatura media anual es de 9,2 °C y el rango medio de temperaturas diurnas es de 9,7 °C, siendo la temperatura de mes de diciembre la más alta para esta categoría (14,7 °C) y las temperaturas mínimas de febrero, marzo, junio y noviembre están alrededor de los 4 °C. Este agroecosistema se distribuye en altitudes que sobrepasan los 3300 m s.n.m., con pendientes muy suaves (0,19%), suelos tipo franco y pH de suelo superficial ácido (5,3). Esta categoría se la puede identificar en toda la Sierra ecuatoriana e incluso en provincias de la Amazonía como son Napo y Sucumbíos, seguramente estos sitios geográficos están dentro de las estribaciones montañosas en las zonas de transición entre las dos regiones (Tabla 3).

En cuanto a la categoría 4, se caracteriza porque la precipitación anual es de 870,9 mm, rango temperatura media anual de 11,8 °C. Se encuentra ubicada en una altitud en torno a los 3277 m s.n.m. Los suelos son franco arenoso, con pH en suelo superficial ligeramente ácido (6,4). Por su parte, la categoría 10, presenta agroecosistemas con temperatura media anual de 13,8°C, precipitación anual de 902,8 mm, con una altitud media de 2108 m s.n.m. Los suelos presentan textura franco arcillo arenoso con pendiente muy suave, suelos con pH en suelo superficial tipo neutro (7,1) (Tabla 3).

Las categorías menos frecuentes como la categoría 1, está presente en el cantón Montúfar provincia del Carchi, el agroecosistema de este sitio presenta 958,7 mm de precipitación anual, con temperaturas anuales de 12,5 °C y una temperatura mínima próxima a los 7 °C. Este grupo se encuentra a una altitud de 2789 m s.n.m., con pendiente plana, suelos franco arenoso y suelos ligeramente ácidos (pH=6,2) (Tabla 3).

Las categorías 3 y 9 se distribuyen al sur del país en las provincias de Cañar y Azuay. La categoría 3 presenta una precipitación total anual de 923,6 mm, con una temperatura media anual de 11 °C. Se ubica a una altitud de 3129 m s.n.m. Los suelos son tipo arcillosos y medianamente ácidos (5,8). Los agroecosistemas de la categoría 9 presentan una precipitación total anual de 1197,7 mm, con temperatura media anual de 14 °C, en suelos arcillosos y medianamente ácidos (pH=6,0). En cuanto a las variables bioclimáticas como la isothermalidad (índice de variación de temperatura) en las 6 categorías se registra un valor entre 8,5 y 8,9. Se desarrolla en suelos con pendientes planas y muy suaves, con contenido de carbonato de calcio muy bajo y suelos no salinos. Respecto a la velocidad del viento presenta valores entre 2,3 y 3,3 km h⁻¹ considerado como brisa suave (Tabla 3).

Tabla 3. Características bioclimáticas, edáficas y geofísicas identificadas en la Categorías ecogeográficas del mapa ELC para tarwi en Ecuador.

Variables	Categorías ELC					
	1	2	3	4	9	10
Bioclimáticas						
Precipitación anual (mm)	917,00	958,66	923,62	870,89	1169,71	902,78
Precipitación del cuarto más seco (mm)	135,00	129,77	172,59	119,17	206,21	71,98
Precipitación enero (mm)	67,00	82,53	61,31	69,13	61,71	94,39
Precipitación noviembre (mm)	115,00	75,93	70,48	77,14	78,43	64,84
Precipitación julio (mm)	47,00	48,65	71,48	38,20	124,64	20,89
Isotermalidad (°C)	8,90	8,64	8,50	8,72	8,66	8,72
Temperatura media anual (°C)	12,50	9,17	11,05	10,07	14,51	17,09
Rango medio de temperaturas diurnas (°C)	10,70	9,67	9,87	10,31	11,66	12,07
Rango de temperatura anual (°C)	11,90	11,14	11,55	11,76	13,39	13,76
Temperatura media del cuarto más seco (3 meses más secos) (°C)	11,90	8,74	10,83	9,58	14,81	16,76
Temperatura media del mes más cálido (3 meses más cálidos) (°C)	12,80	9,45	11,44	10,34	14,94	17,36
Temperatura máxima diciembre (°C)	18,20	14,65	17,09	15,83	21,39	23,47
Temperatura mínima febrero (°C)	7,30	4,66	6,59	5,22	9,24	11,59
Temperatura mínima marzo (°C)	7,40	4,85	6,67	5,45	9,24	11,63
Temperatura mínima junio (°C)	7,00	4,16	5,80	4,75	8,48	10,74
Temperatura mínima noviembre (°C)	7,30	4,07	5,78	4,66	8,34	10,82
vapor de agua anual	1,21	0,99	1,09	1,03	1,30	1,50
Edáficas						
Contenido de arena en suelo superficial (% peso)	60,0	41,3	24,0	57,4	24,0	59,6
Contenido de limo en suelo superficial (% peso)	31,0	43,2	20,0	32,0	20,0	27,6
Contenido de arcilla en suelo superficial (% peso)	9,0	15,5	56,0	10,6	56,0	12,8
Textura suelo	Franco arenoso	Franco	Arcilloso	Franco arenoso	Arcilloso	Franco arcillo arenoso
Carbonato de calcio (% peso)	0,10	0,00	0,00	0,43	0,00	1,25
Contenido de carbón orgánico en suelo superficial (% peso)	0,89	4,31	0,48	0,91	0,47	0,75
pH en suelo superficial en solución suelo-agua (1:2,5) [-log(H ⁺)]	6,19	5,28	5,83	6,43	6,00	7,09
pH en subsuelo en solución suelo-agua (1:2,5) [-log(H ⁺)]	7,09	5,74	6,19	7,29	6,19	7,71
Salinidad en suelo superficial (dS/m)	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,08
Geofísicas						
Altitud (m s.n.m.)	2789	3394	3129	3277	2634	2108
Pendiente (°)	0,19%	3,67%	3,65%	3,61%	2,70%	3,31%
Velocidad del viento (km/h)	2,32	3,31	2,92	3,17	2,52	2,43

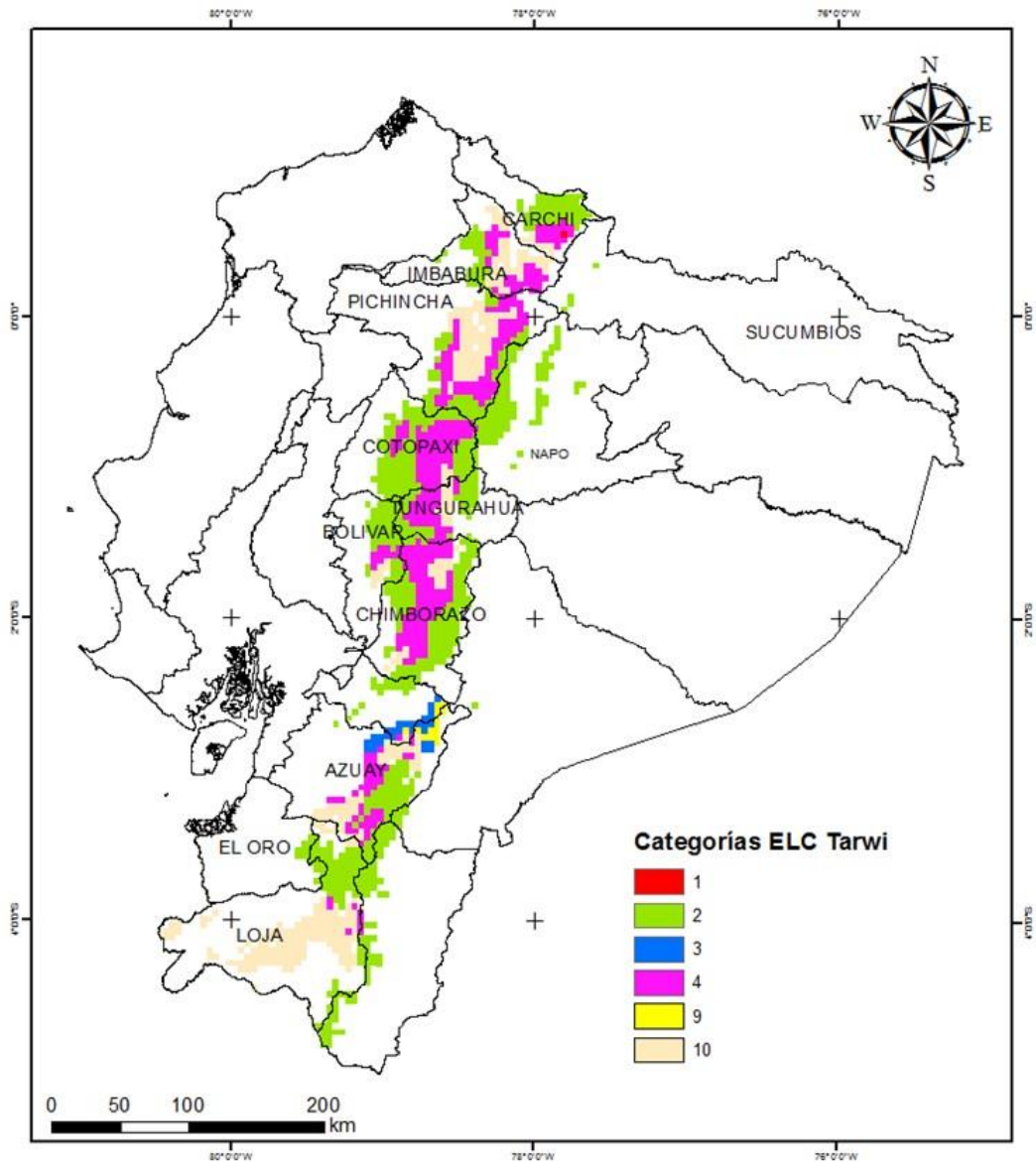


Figura 1. Mapa de caracterización ecogeográfica del área terreno (ELC) para tarwi en Ecuador.

2.3.2 Caracterización ecogeográfica del tarwi a nivel nacional

El análisis de conglomerados aplicado a variables bioclimáticas, edáficas y geofísicas, permiten identificar las tipologías de las mismas relacionadas con sus diferencias y semejanzas. Para este análisis se eliminaron las variables como velocidad del viento, contenido en carbonato de calcio y salinidad en suelo porque presentan la misma característica, tal como se mencionó previamente.

A partir de la distancia de similitud, se identificaron tres grupos de accesiones con una distancia máxima de 8. El grupo 1 está integrado por 80 accesiones, el grupo 2 está conformado por 55 accesiones y el grupo 3 por 37 accesiones. En los tres grupos conformados es posible encontrar un grupo de accesiones que comparten características ecogeográficas iguales por lo que la distancia es igual a cero (Figura 2).

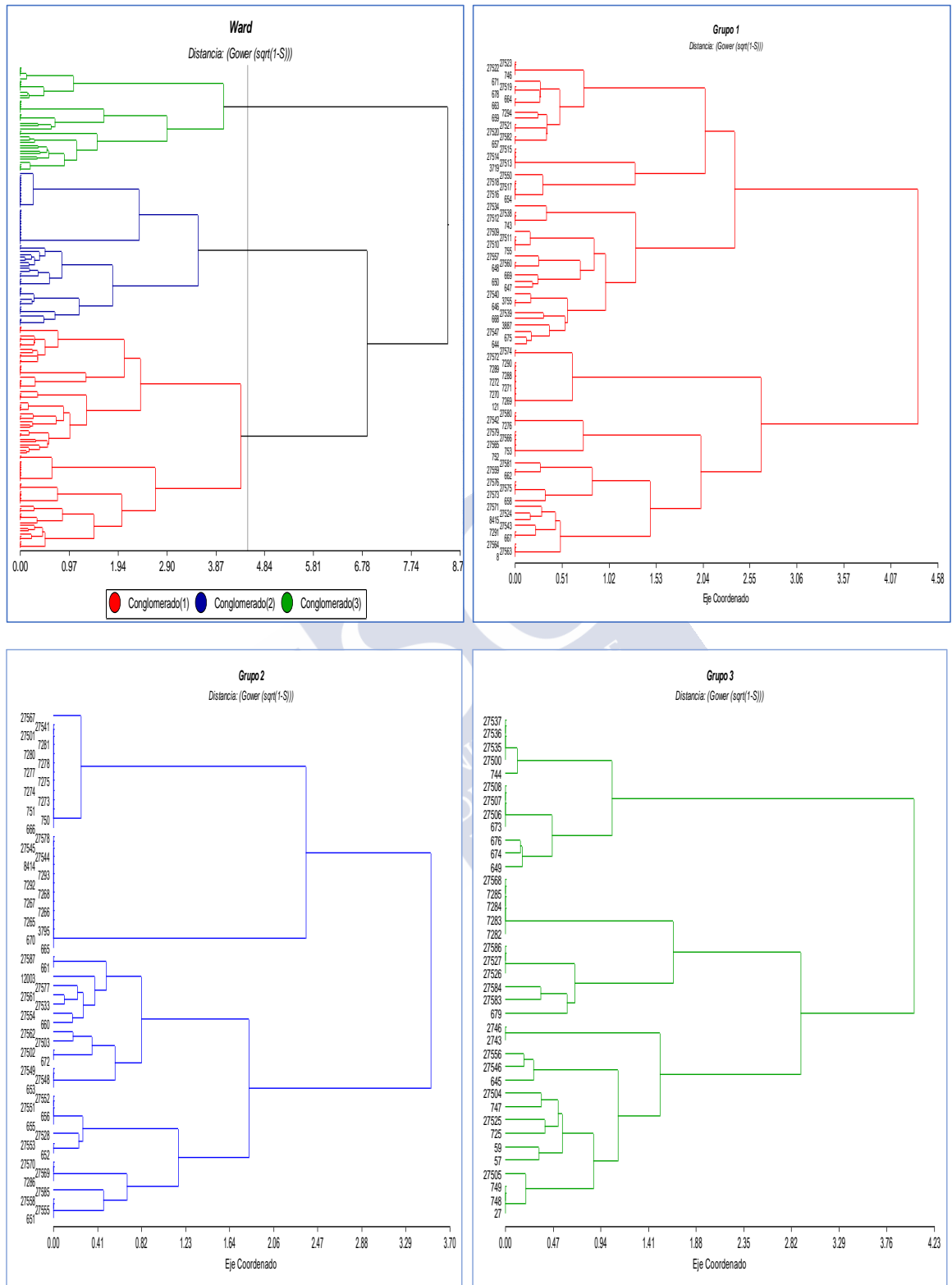


Figura 2. Dendrograma obtenido por análisis de conglomerados jerárquicos (método de Ward y distancia de similitud de Gower) para variables cualitativas y cuantitativas ecogeográficas en 173 accesiones de tarwi.

Los agroecosistemas que integran el grupo 1, están presentes en siete provincias como son Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Bolívar, se distribuyen en rangos altitudinales que van desde los 2517 a los 3928 m s.n.m., con temperaturas que oscilan de 6 a 14 °C. El grupo 2 está presente solo en dos provincias (Cotopaxi y Chimborazo), se distribuye desde los 2762 y 3371 m s.n.m., con temperaturas que oscilan entre 9 y 13 °C, tanto el grupo 1 y 2 se presentan en suelos franco arenoso.

Finalmente, el grupo 3 integra siete provincias que son Carchi, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Azuay y Loja, presenta el mayor rango de distribución altitudinal desde los 2184 y 3782 m s.n.m., este grupo se distribuye en suelos franco, franco arcillo arenoso y franco arenoso, con temperaturas que van desde los 7 hasta los 16,2 °C. Esto implica que las accesiones que integran este grupo están presentes en agroecosistemas con amplia variabilidad ecogeográfica.

2.3.3 Variabilidad ecogeográfica identificada en grupos de accesiones de la colección de tarwi

La variabilidad ecogeográfica se evaluó tanto con variables cualitativas como cuantitativas correspondiente a 28 variables para cada uno de los grupos ecogeográficos identificados en el análisis de conglomerados.

2.3.3.1 Variabilidad bioclimática por grupos

Entre las variables climáticas, de 17 variables bioclimáticas, solo siete resultaron ser significativas ($P\text{-valor} \leq 0,05$) para la diferenciación de grupos ecogeográficos, las cuales están relacionadas con precipitación y temperatura. En la tabla 15 se observa que las variables que presentan mayor coeficiente de variación son: precipitación media de julio ($CV=45,5\%$), noviembre ($CV=36,1\%$), enero ($CV=31,7\%$), precipitación media de los tres meses más secos ($CV=30,7\%$) y la precipitación anual ($CV=19,2\%$).

Julio es uno de los meses secos en la sierra ecuatoriana, y está relacionado con los tiempos de cosecha, basado en los datos bioclimáticos para la región andina; las precipitaciones de este mes oscilan entre los 25 y 41 mm, siendo el valor promedio de 31 mm aproximadamente. Al observar las características por grupo, se puede identificar que las accesiones que integran el grupo 2, se relacionan con rangos de precipitación inferior al registrado para los grupos 1 y 3, así se puede apreciar como la precipitación media de noviembre y enero donde se registra rangos promedios de 69,86 y 56,91 mm respectivamente. Con respecto a la precipitación anual, el valor total registrado es de 763,08 mm, el grupo 2 presenta rangos de 690,20 mm, siendo el grupo 3 donde se registra mayor precipitación anual con 869,97 mm (Tabla 4).

En cuanto a las condiciones térmicas, el rango de temperatura anual ($CV=8,9\%$) y el rango medio de temperaturas diurnas ($CV=6,9\%$) presentan bajos coeficientes de variación, sin embargo, son dos de las variables que aportan a la diferenciación entre grupos conformado. Así la temperatura media anual registrada es de 12,2 °C y el rango medio de temperaturas diurnas es de 10,7 °C. A nivel grupal, se puede identificar que el grupo 3 está integrado por accesiones que se relacionan con las temperaturas más bajas (11,1 °C y 9,8 °C respectivamente) respecto a los grupos 1 y 2 (Tabla 4).

Tabla 4. Valores promedio para caracteres bioclimáticos en tres grupos conformados para el cultivo de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet).

Variable	Media	CV (%)	Grupo 1 (80)	Grupo 2 (55)	Grupo 3 (37)	P-valor
Precipitación media Julio (mm)	31,33	45,51	30,66 ± 1,59b	25,38 ± 1,92a	41,46 ± 2,34c	0,0001
Precipitación media Noviembre (mm)	69,86	36,09	74,24 ± 2,82b	57,55 ± 3,40a	79,14 ± 4,15b	0,0001
Precipitación media Enero (mm)	56,91	31,74	55,53 ± 2,02b	46,69 ± 2,44a	74,43 ± 2,97c	0,0001
Precipitación del cuarto más seco (3 meses más secos) (mm)	99,69	30,70	99,18 ± 3,24a	90,64 ± 4,13a	114,19 ± 5,03b	0,0018
Precipitación anual (mm)	763,08	19,19	762,96 ± 16,38b	690,20 ± 19,75a	869,97 ± 24,08c	0,0001
Rango de temperatura anual (°C)	12,18	8,90	12,38 ± 0,12b	12,61 ± 0,15b	11,14 ± 0,18a	0,0001
Rango medio de temperaturas diurnas (°C)	10,73	6,88	10,83 ± 0,08b	11,21 ± 0,10c	9,83 ± 0,12a	0,0001
Temperatura mínima Noviembre (°C)	5,30	37,48	5,35 ± 0,22a	4,94 ± 0,27a	5,67 ± 0,33a	0,2124
Temperatura mínima Junio (°C)	5,39	34,62	5,36 ± 0,21a	5,16 ± 0,25a	5,74 ± 0,31a	0,3483
Temperatura mínima Febrero (°C)	5,84	33,38	5,84 ± 0,22a	5,58 ± 0,26a	6,15 ± 0,32a	0,3898
Temperatura mínima Marzo (°C)	6,07	31,77	6,03 ± 0,22a	5,90 ± 0,26a	6,32 ± 0,32a	0,5915
Temperatura media del cuarto más seco (3 meses más secos) (°C)	10,45	20,43	10,47 ± 0,24a	10,42 ± 0,29a	10,41 ± 0,35a	0,9820
Temperatura media del mes más cálido (3 meses más cálidos) (°C)	11,18	19,89	11,20 ± 0,25a	11,17 ± 0,30a	11,09 ± 0,37a	0,9745
Temperatura media anual (°C)	10,92	19,61	10,94 ± 0,24a	10,93 ± 0,29a	10,82 ± 0,35a	0,9611
Temperatura máxima Diciembre (°C)	16,88	14,58	16,91 ± 0,28a	17,24 ± 0,33a	16,24 ± 0,40a	0,1613
Vapor de agua	1,07	11,87	1,07 ± 0,01a	1,06 ± 0,02a	1,09 ± 0,02a	0,4609
Isotermalidad	8,78	3,74	8,72 ± 0,04a	8,86 ± 0,04b	8,79 ± 0,05ab	0,0569

2.3.3.2 Variabilidad edáfica por grupos

Respecto a las variables edáficas, el contenido de arcilla en suelo superficial presentó la mayor variación (CV=37,8%), el contenido de arena y limo en suelo superficial presentaron un coeficiente de variación de 7,6% y 13,0% respectivamente. Estas tres variables aportan a la diferenciación entre grupos conformados. Así el grupo 1 presenta contenido de arcilla de 8,4%, limo 31,9% y arena 59,7%; el grupo 2 se caracteriza por presentar contenido de arcilla de 4,5% limo de 38,3% y arena 57,3%. Finalmente, el grupo 3 integra características como contenido de arcilla de 14,2%, limo 36,3% y arena 49,6% (Tabla 5).

La combinación de estas partículas de arcilla, limo y arena dan referencia del tipo de textura de suelo. Así el grupo 1 y 2 se caracterizan por integrar accesiones que se desarrollan en suelo de tipo franco arcilloso y el grupo 3 son de tipo franco, franco arcillo arenoso y suelos tipo franco.

Tabla 5. Valores promedio para caracteres edáficos en tres grupos conformados para el cultivo de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet).

Variable	Media	CV (%)	Grupo 1 (80)	Grupo 2 (55)	Grupo 3 (37)	P-valor
Contenido de arcilla en suelo superficial (% de peso)	8,49	37,82	8,44 ± 0,36b	4,45 ± 0,43a	14,16 ± 0,53c	0,0001
Contenido de limo en suelo superficial (% de peso)	34,87	13,02	31,90 ± 0,51a	38,27 ± 0,61c	36,27 ± 0,75b	0,0001
Contenido de arena en suelo superficial (% de peso)	56,65	7,62	59,66 ± 0,48c	57,27 ± 0,58b	49,57 ± 0,71a	0,0001

Por su parte, a través del análisis de tablas de contingencia se determinó que variables relacionadas con el pH y carbono orgánico en el suelo contribuyen a la diferenciación entre grupos (P-valor = 0,0001). Así la variable pH de suelo superficial fue el carácter con mayor valor discriminante (271,3) (Tabla 6).

Tabla 6. Caracteres cualitativos edáficos de mayor valor discriminante entre grupos de entradas de la colección de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet).

Variables	Chi ²	Coef. (P)	Cramer (V)	P-valor
pH suelo superficial	271,26	0,78	0,73	0,0001
pH subsuelo	168,00	0,71	0,58	0,0001
Contenido de carbono orgánico en el subsuelo	160,33	0,69	0,56	0,0001

Según el índice de variación de moda (DM), la variabilidad ecogeográfica basada en datos edáficos permitió determinar que el grupo 3 presenta mayor variabilidad para la variable pH de suelo superficial con un DM= 0,51, seguido del grupo 1 (DM= 0,17). Así en el grupo 1 el 86% de las accesiones se desarrollan en suelos ligeramente ácidos, el grupo 2 se distribuye en suelos prácticamente neutros (98%) mientras que en el grupo 3 el 59,4% de las accesiones se desarrollan en suelos ácidos y un 32,4% en suelos medianamente ácidos y un porcentaje muy bajo de accesiones en suelos prácticamente neutros y ligeramente alcalinos. A nivel de pH de subsuelo, las accesiones de los grupos 1 y 2 se caracterizan por desarrollarse en suelos neutros (100%), mientras que las accesiones del grupo 3 se desarrollan en suelos ácidos (24,2%), medianamente ácidos (33,3%), ligeramente ácidos (36,3%) y el restante en suelos medianamente alcalinos, presentando además un DM= 0,82 (Tabla 7 y Figura 3).

Tabla 7. Índice de variación de la moda de Wilcox (DM) para variables edáficas

Variable	Índice DM		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
pH suelo superficial	0,17	0,02	0,51
pH subsuelo	0,00	0,00	0,82
Contenido de carbono orgánico en el subsuelo	0,00	0,00	0,57

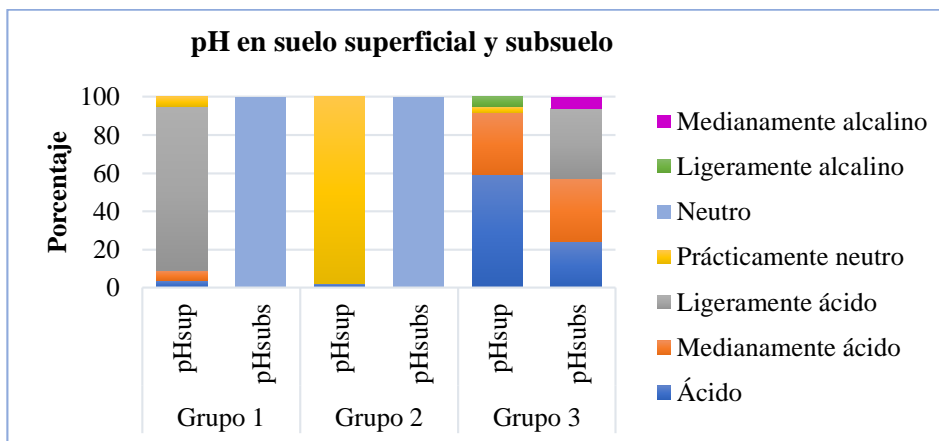


Figura 3. Características de pH para suelo superficial (pHsup) y pH en subsuelo (pHsubs) identificado en la colección de tarwi.

La variabilidad encontrada para la variable contenido de carbono orgánico en el subsuelo presenta un DM=0 en los grupos 1 y 2, en estos grupos el 100% de las accesiones se desarrollan en suelos con contenido de carbono orgánico muy bajo; por su parte, en el grupo 3, el presenta un DM=0,57 lo que implica que las accesiones de este grupo se distribuyen en suelos con contenidos de carbono orgánico alto (62,2%), bajo (32,4%) y muy bajo (5,4%) (Figura 4).

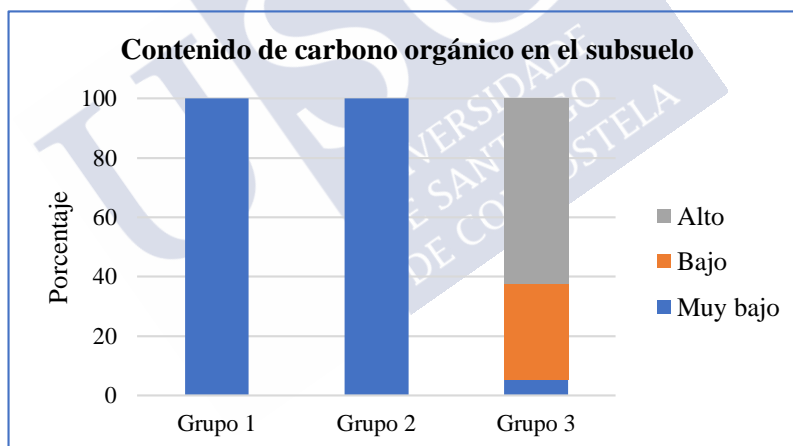


Figura 4. Contenido de carbono orgánico en subsuelo identificado para tres grupos de accesiones de la colección de tarwi.

2.3.3.3. Variables geofísicas por grupos

La variable rango altitudinal resultó ser una variable con baja dispersión (CV=11,1%) para la diferenciación entre grupos ecogeográficos conformados, siendo el rango promedio de distribución 3152 m s.n.m. Sin embargo, basado en los datos de colecta de germoplasma a nivel de país el rango de distribución es a partir de los 2184 m s.n.m. y como rango máximo alcanza los 3928 m s.n.m. lo que demuestra que el tarwi tiene un amplio rango de distribución altitudinal (Tabla 8).

Tabla 8. Valores promedio para caracteres geofísicos en tres grupos conformados para el cultivo de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet).

Variable	Media	CV (%)	Grupo 1 (80)	Grupo 2 (55)	Grupo 3 (37)	p-Valor
Altitud (m s.n.m.)	3152,51	11,07	3160,98 ± 39,03a	3174,69 ± 47,07a	3114,11 ± 57,38a	0,7030

Respecto a la variable pendiente, el índice DM encontrado por grupo es DM=0,47 para el grupo 1, DM=0,38 para grupo 2 y DM=0,24 para el grupo 3; la pendiente de tipo muy suave (2,1 a 5%) la más sobresaliente en los tres grupos (>60%). Además, el tipo de pendiente plana (0 a 2%) se puede encontrar en el grupo 1 en un 30%, en el grupo 2 en un 25% y en el grupo 3 un 8%. En menos del 10% es posible encontrar accesiones tanto del grupo 1 como el grupo 3 distribuidas en agroecosistemas con pendientes suaves (5,1 a 12) (Figura 5).

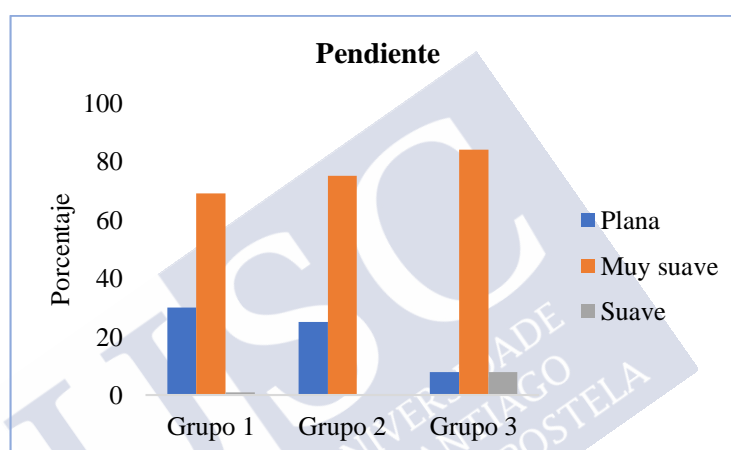


Figura 5. Variabilidad geofísica identificada en tres grupos de accesiones de la colección de tarwi.

2.3.4 Mapas de diversidad ecogeográfico para tarwi

La región Andina del Ecuador presenta una variedad de agroecosistemas producto de la influencia de cuencas hidrográficas, valles interandinos, zonas de transición hacia la Amazonía, microclimas y zonas de vida (Holdrige, 1978). La combinación de condiciones bioclimáticas, edáficas y geofísicas de los sitios de colecta permitieron sitios diferenciadas ha influenciado la adaptación de tarwi a diversas zonas.

En el caso del mapa de diversidad ecogeográfica los valores de 0 indican que las entradas fueron colectadas en ambientes idénticos y rangos más amplios determinan la presencia de zonas agroecológicas diversas. Para el caso del tarwi los valores identificados van de 0,00 a 10,58 como distancia máxima. Estos rangos fueron clasificados en: alta (9,3-10,58); media (8,2-9,2); baja (6,9-8,1); muy baja o nula (0-6,8) (Figura 6, Tabla 9).

En el mapa de diversidad ecogeográfica de tarwi se identificaron 12 cantones con áreas ecogeográficas con rangos muy alto (9,3-10,58) ubicados en seis provincias (Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo y Bolívar). El área geográfica con la máxima diversidad ecogeográfica (10,58) se ubica en la provincia de Chimborazo, cantón Guamote, parroquia Cebadas; además, se identificó dos cantones (Riobamba y Colta) dentro del mismo rango de alta diversidad ecogeográfica.

Hacia la zona centro sur del país, la provincia de Cotopaxi también presenta zonas con alta diversidad ecogeográfica con valores de 10,0 y están ubicados en los cantones Latacunga, Sigchos, Salcedo; mientras que, hacia la parte norte del país, la provincia del Carchi presenta tres cantones, Mira, Espejo y Bolívar, como zonas ecogeográficas diversas. En las provincias de Imbabura, Pichincha, y Bolívar se identificó un cantón por provincia con alta diversidad ecogeográfica (Figura 6, Tabla 9).

En cuanto a la categoría de diversidad ecogeográfica media (8,2 - 9,2) se identificaron 15 cantones en seis provincias de la Sierra (Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo y Azuay). Las zonas de baja diversidad ecogeográfica (6,9 – 8,1) y muy baja o nula diversidad ecogeográfica (0,0 – 6,8) están distribuida en todas las provincias del callejón interandino. Además, se identificó tres provincias que se distribuyen hacia las estribaciones occidental y oriental de la cordillera de los Andes, que se caracterizan por presentar zonas con agroecosistemas homogéneos, sin embargo, son zonas donde no se ha reportado la presencia de tarwi. No obstante, podrían ser áreas potenciales para introducir la especie, así destacan en la Costa, la provincia de los Ríos, cantón Zaruma y en la región Amazónica está en la provincia de Sucumbios en el cantón Gonzalo Pizarro (Figura 6, Tabla 9).

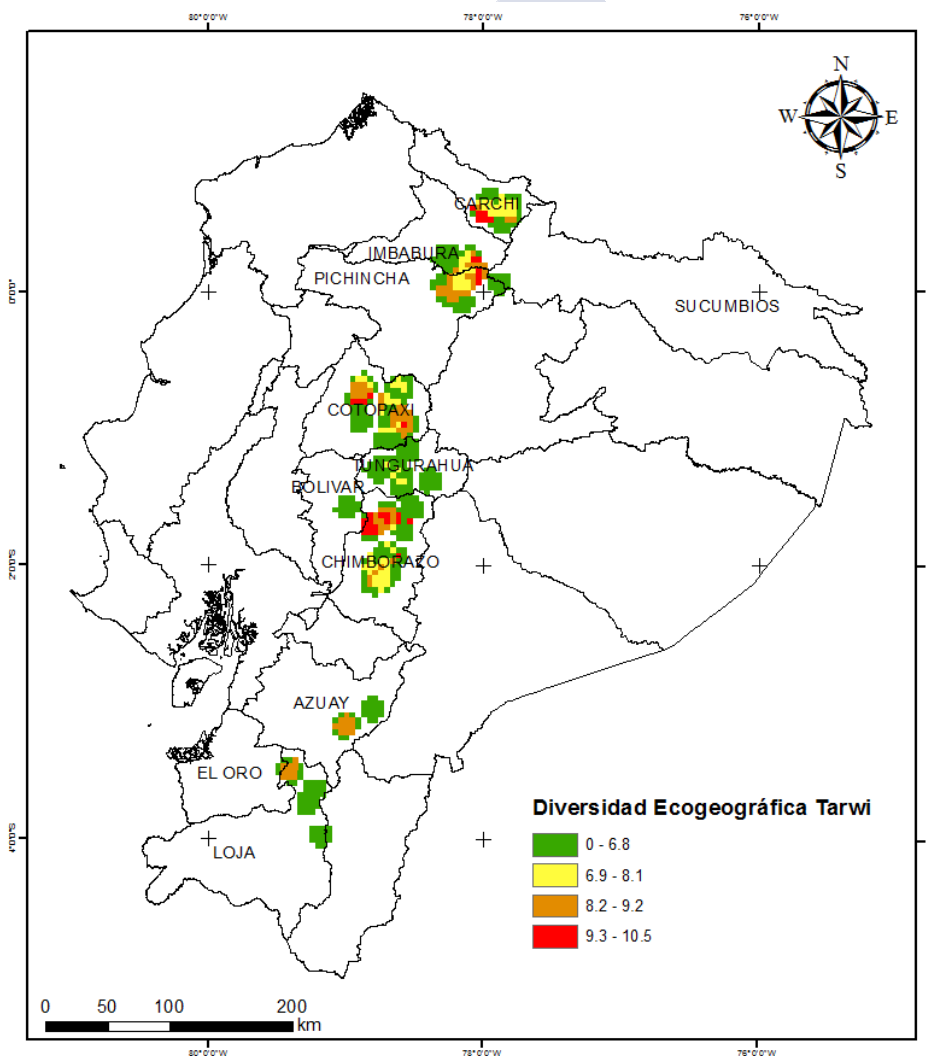


Figura 6. Mapa de diversidad ecogeográfica para tarwi a nivel de Ecuador.

Tabla 9. Rangos de diversidad ecogeográfica para tarwi y distribución en provincias y cantones del Ecuador.

Provincia	Valor	Rangos ecogeográfica	Cantón
Carchi	0,0 - 6,8	Muy baja o nula	Espero, Tulcán, Bolívar
	6,9 - 8,1	Baja	Tulcán, Montúfar, Bolívar
	8,2 - 9,2	Media	Mira (Chontahuasi)
	9,3 - 10,5	Alta	Mira, Espejo, Bolívar
Imbabura	0,0 - 6,8	Muy baja o nula	Cotacachi, Otavalo, Ibarra
	6,9 - 8,1	Baja	Ibarra, Otavalo
	8,2 - 9,2	Media	Ibarra, Otavalo, Pimampiro,
	9,3 - 10,5	Alta	Ibarra
Pichincha	0,0 - 6,8	Muy baja o nula	Pedro Moncayo, Cayambe,
	6,9 - 8,1	Baja	Pedro Moncayo, Cayambe,
	8,2 - 9,2	Media	Pedro Moncayo, Cayambe,
	9,3 - 10,5	Alta	Cayambe
Cotopaxi	0,0 - 6,8	Muy baja o nula	Sigchos, Latacunga, Pujilí, Salcedo
	6,9 - 8,1	Baja	Latacunga, Saquisilí, Pujilí
	8,2 - 9,2	Media	Sigchos, Saquisilí, Latacunga
	9,3 - 10,5	Alta	Latacunga, Sigchos, Salcedo
Tungurahua	0,0 - 6,8	Muy baja o nula	Píllaro, Ambato, Mocha, Pelileo, Tisaleo, Quero, Patate, Baños de Agua Santa
	6,9 - 8,1	Baja	Ambato, Quero
Chimborazo	0,0 - 6,8	Muy baja o nula	Guano, Penipe, Riobamba, Colta, Guamote, Alausí
	6,9 - 8,1	Baja	Colta, Guamote, Riobamba, Alausí
	8,2 - 9,2	Media	Guamote, Riobamba
	9,3 - 10,5	Alta	Riobamba, Colta, Guamote
Bolívar	0,0 - 6,8	Muy baja o nula	Guaranda, Chimbo
	9,3 - 10,5	Alta	Guaranda
Azuay	0,0 - 6,8	Muy baja o nula	Gualaceo, Chordeleg, Sigsig, Cuenca, Nabón, Girón
	8,2 - 9,2	Media	Cuenca, Sigsig, Nabón, Girón
Loja	0,0 - 6,8	Muy baja o nula	Saraguro, Loja
	8,2 - 9,2	Baja	Saraguro
El Oro	0,0 - 6,8	Muy baja o nula	Zaruma
Zamora Chinchipe	0,0 - 6,8	Muy baja o nula	Zamora
Sucumbíos	0,0 - 6,8	Muy baja o nula	Gonzalo Pizarro

2.3.5 Mapa de diversidad fenotípica de tarwi

Los mapas de diversidad permiten identificar de manera sencilla y rápida, las zonas o áreas donde se concentra una alta variabilidad (Parra-Quijano *et al.*, 2015). En el caso del mapa de diversidad fenotípico los valores de 0 indican que hay una sola entrada o que todas las entradas presentan fenotipos idénticos, y valores de hasta 1 como diferencia máxima entre accesiones.

En el caso de la diversidad morfológica del tarwi, los valores van de 0 a 0,68 como distancia máxima, estos rangos fueron clasificados en: alta (0,53-0,68); media (0,41-0,52); baja (0,32-0,40); muy baja o nula (0,0-0,31) (Tabla 10, Figura 7).

En la zona andina, se identificaron 16 cantones pertenecientes a siete provincias que presentan esta condición, así destacan las provincias centro sur del país, como son: provincia de Cotopaxi, cantones Sigchos, Latacunga, Salcedo, Pujilí; provincia de Azuay, en los cantones Cuenca, Sigsig, Girón y Nabón; en las otras provincias como son Carchi, Imbabura, Pichincha, Chimborazo y Loja, se identificaron entre uno y dos cantones dentro de este rango. Respecto a la diversidad morfológica media (0,41 - 0,52), se detectaron 21 cantones en siete provincias; con distancias morfológicas bajas (0,31 - 0,40) se identificaron 23 cantones distribuidos en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo. Además, a lo largo de la sierra ecuatoriana, se pueden encontrar sitios con muy baja o nula diversidad morfológica (0,0 - 0,30) (Tabla 10, Figura 7).

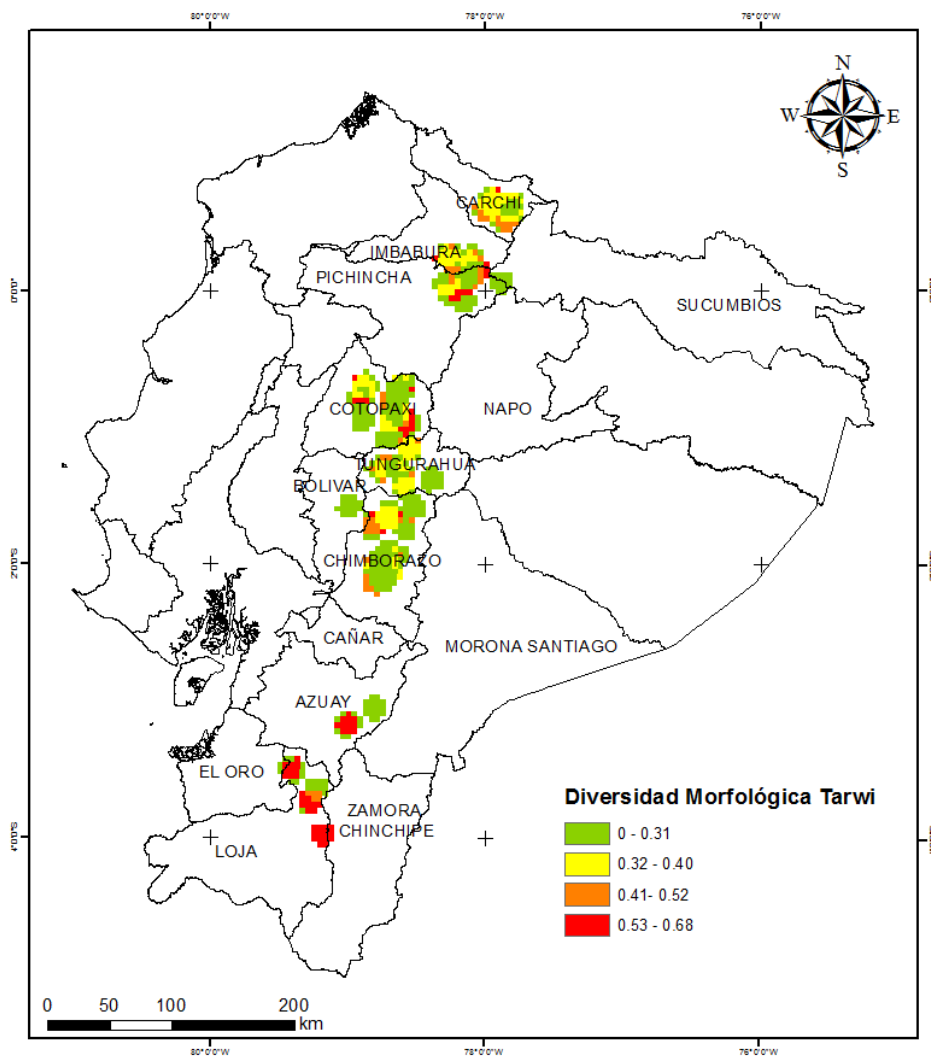


Figura 7. Mapa de diversidad fenotípica para el cultivo de tarwi.

Tabla 10. Rangos de diversidad morfológica en tarwi y distribución en provincias y cantones de la sierra ecuatoriana

Provincia	Rangos	Rango morfológico	Cantón
Carchi	0,0 - 0,31	Muy Bajo o Nula	Tulcán, Huaca, Montúfar, Espejo, Mira, Bolívar
	0,32 - 0,40	Baja	Espejo, Mira, Bolívar, Montúfar, Tulcán
	0,41 - 0,52	Media	Mira, Bolívar, Espejo, Bolívar, Montúfar
	0,53 - 0,68	Alta	Espejo, Tulcán
Imbabura	0,0 - 0,31	Muy Bajo o Nula	Cotacachi, Antonio Ante, Ibarra, Otavalo
	0,32 - 0,40	Baja	Cotacachi, Otavalo, Ibarra
	0,41 - 0,52	Media	Antonio Ante, Ibarra, Otavalo
	0,53 - 0,68	Alta	Otavalo, Pimampiro
Pichincha	0,0 - 0,31	Muy Bajo o Nula	Cayambe, Pedro Moncayo, Quito
	0,32 - 0,40	Baja	Pedro Moncayo, Cayambe
	0,41 - 0,52	Media	Pedro Moncayo, Cayambe
	0,53 - 0,68	Alta	Cayambe
Cotopaxi	0,0 - 0,31	Muy Bajo o Nula	Sigchos, Latacunga, Saquisilí, Pujilí, Saquisilí, Salcedo
	0,32 - 0,40	Baja	Sigchos, Latacunga, Pujilí, Salcedo
	0,41 - 0,52	Media	Saquisilí, Salcedo
	0,53 - 0,68	Alta	Sigchos, Latacunga, Salcedo, Pujilí
Tungurahua	0,0 - 0,31	Muy Bajo o Nula	Ambato, Tisaleo, Cevallos, Pelileo, Quero, Patate, Baños de agua Santa
	0,32 - 0,40	Baja	Píllaros, Ambato, Pelileo, Quero
	0,41 - 0,52	Media	Ambato, Pelileo
Chimborazo	0,0 - 0,31	Muy Bajo o Nula	Guano, Riobamba, Penipe, Chambo, Colta, Pallatanga, Guamote, Alausí
	0,32 - 0,40	Baja	Riobamba, Guano, Colta, Guamote, Pallatanga
	0,41 - 0,52	Media	Colta, Riobamba, Pallatanga, Guamote, Alausí
	0,53 - 0,68	Alta	Riobamba
Bolívar	0,0 - 0,31	Muy Bajo o Nula	Guaranda
Azuay	0,0 - 0,31	Muy Bajo o Nula	Gualaceo, Sigsig, Chordeleg, Cuenca, Girón, Nabón
	0,53 - 0,68	Alta	Cuenca, Sigsig, Girón, Nabón
Loja	0,0 - 0,31	Muy Bajo o Nula	Saraguro
	0,41 - 0,52	Media	Saraguro, Loja
	0,53 - 0,68	Alta	Saraguro, Loja

2.3.6 Análisis de correlación de Mantel

Las zonas geográficas donde existe mayor diferencias o rango alto de diversidad morfológica son zonas donde se esperarí encontrar germoplasma con adaptaciones más divergentes y de forma indirecta una mayor diversidad fenotípica (Parra-Quijano *et al.*, 2015). Al comparar los mapas de diversidad ecogeográfica y morfológica se aprecia que zonas con alta diversidad ecogeográfica, presentan una distribución de la diversidad morfológica media, sin embargo, estos sitios podrían poseer un gran potencial para establecer estrategias de conservación.

Los resultados del análisis de correlación entre la matriz de distancia morfológica y matriz de distancia ecogeográfica del tarwi, indicaron que existe correlación entre matrices (P-valor= 0,044). Sin embargo, es bajo el valor del coeficiente de correlación ($r=0,09$) (Figura 8); esto implica que los resultados obtenidos de la caracterización morfológica y ecogeográfica son coherentes lo que se puede verificar en los grupos conformados, y que fueron expresados mediante los dendrogramas.

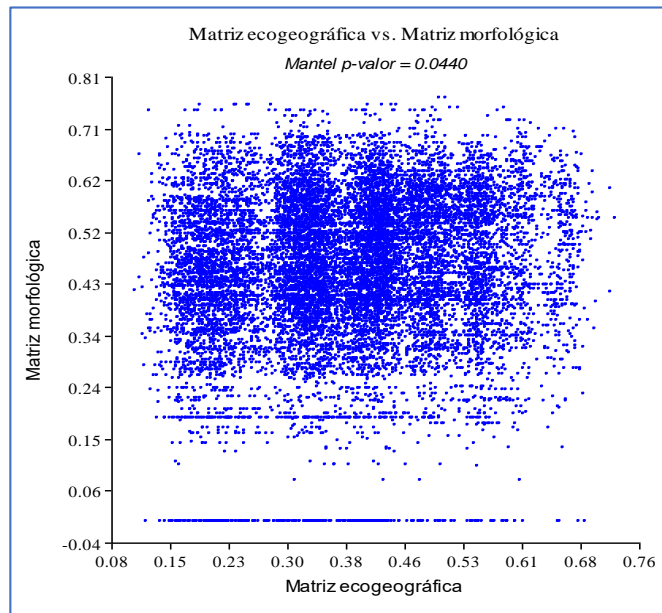


Figura 8. Relación entre la matriz de distancia morfológica (Matriz A) y ecogeográfica (Matrix B)

2.4 DISCUSIÓN

2.4.1 Mapa ELC

El Ecuador se caracteriza por ser uno de los países megadiversos del planeta, siendo la zona andina uno de los ocho mayores centros de domesticación de plantas cultivadas en el mundo (FAO, 2001). La ubicación geográfica del país a nivel del paralelo cero, se ve influenciado por diferentes sistemas sinópticos que ocurren durante el año, lo cual regula el clima y la variabilidad de climas en el país, siendo la principal manifestación la variabilidad de precipitación (Hidalgo-Proaño, 2017). Los resultados obtenidos en la presente investigación permitieron conocer la variabilidad ecogeográfica de 173 accesiones de tarwi colectadas a lo largo de Sierra ecuatoriana.

El mapa ELC muestra los agroecosistemas idóneos para la presencia y distribución del tarwi. En el caso de la presente investigación las categorías 1, 3 y 9 estuvieron presentes con menos frecuencia. Según Parra-Quijano *et al.* (2012) estas áreas corresponden a zonas con ambiente marginales para el cultivo en estudio, por ejemplo, en la provincia del Carchi resalta la presencia de categoría 1, única categoría que presenta el tipo de pendiente plana. Las otras dos categorías ubicadas hacia la zona austral del país presentan características de temperatura y precipitación dentro de los rangos óptimos, sin embargo, se caracterizan por presentar suelos tipo arcillosos, que según Tapia (2015a) no son óptimos para la producción de tarwi. Diversos informes técnicos consultados entre los años 1982 y 1988 dan a conocer que en las provincias

australes (Cañar, Azuay y Loja) no existía el cultivo de Tarwi y solo se podían encontrar plantas individuales (Peralta, 2016).

La provincia de Cañar presenta cinco tipos de climas: Ecuatorial de Alta Montaña, Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo, Tropical Megatérmico Húmedo, Tropical Megatérmico Semi-Húmedo y el Nival (MAGAP, 2015) condiciones climáticas que estarían influenciando la presencia de categorías ecogeográficas únicas como se pudo apreciar en el Mapa ELC. Según el Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Cañar uno de los principales productos agrícolas es el tarwi (MAGAP, 2015). Durante los últimos años instituciones del Estado y organizaciones campesinas han trabajado en incrementar la producción de este cultivo en la provincia, llegando a producir 1595 kg ha^{-1} de la variedad Andino-450 (INIAP, 2016), lo que justifica que, en esta provincia pese a las condiciones climáticas, existe una baja o casi nula variabilidad genética de tarwi.

Para Parra-Quijano *et al.* (2015) las categorías ecogeográficas identificadas podrían contribuir a determinar si la especie puede o no presentarse en un determinado sitio geográfico. Así por ejemplo, una de las categorías ecogeográficas se ubicó en la región amazónica destaca la parroquia La Sofía (provincia de Sucumbíos), esta parroquia pisos altitudinales de páramos y tropicales muy húmedos, con temperaturas que oscila entre 7 y 23 °C, lo que ha incidido en el desarrollo actividades agropecuarias a pequeña escala (Navarrete, 2015). Es posible que, dentro de este territorio, la producción de tarwi se convierta en una alternativa productiva, sin embargo, es necesario realizar ensayos de campo para determinar el mejor genotipo para esta zona.

El mapa ELC permite observar que prevalece la categoría 2 como escenarios adaptativos para el tarwi. Al tomar como referencia los sitios de colecta, se aprecia que el 58% de las accesiones están presentes en la categoría 4 principalmente en las provincias de Cotopaxi y Chimborazo; de acuerdo con la clasificación ecológica, estas dos provincias se encuentran zonas clasificadas como estepa espinosa Montano bajo (eeMB) y etapa Montano (eM) subpáramo seco (Peralta, 2012). En la actualidad estas dos provincias junto con la provincia de Tungurahua albergan cerca de 1150 ha de cultivo de tarwi (Márquez, 2020).

Por el contrario, a nivel de la categoría 10 (presente en un 23% dentro del callejón interandino) se identifica que el 2,8% de las accesiones que fueron recolectadas en zonas geográficas de Imbabura y Tungurahua, 1,1% en Pichincha, 0,5% en Chimborazo y Loja, siendo en esta última provincia donde predomina la categoría en mención. Esta categoría resulta interesante porque registra el promedio más bajo para la condición altitudinal (<2500 m s.n.m.), la temperatura más alta en cada variable ecogeográfica seleccionada, con una precipitación de enero mayor que las otras categorías y menor rango de precipitación anual, Esto que podría dar respuesta de adaptación del tarwi al cambio climático, principalmente porque la región Alto Andina es altamente vulnerable y el género *Lupinus* por su resiliencia a condiciones adversas de clima y suelo ofrece una alternativa productiva (INIAP y MAGAP, 2016) para estas zonas. Además, la capacidad de protección generada por la alta cobertura de su follaje evita la pérdida de humedad del suelo, evitando daños por sequías y amortiguando el efecto negativo de las heladas (Malpica y Varela, 2017).

2.4.2 Caracterización ecogeográfica del tarwi

El análisis de conglomerados manifestó que tres poblaciones ecogeográficas son relativamente independientes. Sin embargo, dentro de cada grupo existen poblaciones que se desarrollan en ecosistemas muy similares. La agrupación integra accesiones que provienen de distintas provincias, a excepción del grupo 2 que integra accesiones de dos provincias (Cotopaxi y Chimborazo). Los otros dos grupos integran siete de las nueve provincias. La diferencia está

que en el grupo 1 se encuentran accesiones de la provincia de Imbabura y Bolívar y en el grupo 3 accesiones de las provincias de Azuay y Loja, lo que podría dar referencia de la variabilidad de tarwi distribuida a nivel de país.

Respecto a características ecogeográficas como es la precipitación, a nivel de conglomerados, cada grupo registra precipitación anual óptima para la producción de tarwi, este registro pluviométrico corresponde a dos estaciones lluviosas que se dan de octubre a noviembre (más livianas y menos abundantes) y de febrero a marzo (muy intensas y copiosas) (Portilla, 2018), épocas que coinciden con los periodos de siembra y floración del cultivo (Peralta *et al.*, 2014), respectivamente.

Según el MAGAP (2014) las clases óptimas de aptitud agroecológica para la producción de tarwi implica una precipitación óptima de 500 a 1000 mm año⁻¹, y como no apta cuando la precipitación es mayor a 1500 mm, En la zona andina la fluctuación pluviométrica varía de 700 y 1500 mm año⁻¹ (Portilla, 2018). Sin embargo, en las provincias de Chimborazo y Cotopaxi las precipitaciones varían de 250 a 500 mm año⁻¹ (Peralta, 2016), lo que estaría incidiendo en que la precipitación para el período más seco (tres meses más secos) registrada en el grupo 2 sea menor que los otros grupos.

Al respecto conviene mencionar que según la caracterización de fincas productoras realizado en Chimborazo y Cotopaxi, la mayoría de estas zonas geográficas son desérticas y secas, donde el manejo de los cultivos se realiza con dificultad (Peralta, 2016). Durante la década de los 90, se registraba una superficie de 0,97 ha en promedio por agricultor, con una producción de 317,39 kg ha⁻¹, rendimiento bajo respecto a lo esperado. En la actualidad, los suelos desérticos como el de Palmira (Chimborazo) son empleados para sembrar tarwi por la ventaja de adaptación que presenta respecto a otros cultivos como maíz (*Zea mays* L.). Además, a criterio de los agricultores las variedades nativas de tarwi presentan mayores rendimientos (Márquez, 2020). Esta dinámica de manejo de la diversidad local podría dar respuesta sobre el estado de conservación del tarwi, aspectos a destacar en los siguientes apartados.

Autores como Peralta *et al.* (2002), Peralta *et al.* (2014) y Basantes (2015) consideran que el clima ideal para la producción de tarwi en Ecuador es de 300 mm ciclo⁻¹. Además, los ecotipos precoces necesitan 450 mm por ciclo y para los ecotipos más tardíos el requerimiento está entre 600 y 700 mm por ciclo (Tapia 2015a). El tarwi es considerado un cultivo de secano (300-800 mm) y requiere de cinco meses libres de estrés hídrico para que el crecimiento sea exitoso (Groos y Von Baer, 1981). Tomando en cuenta los rangos de precipitación anual y la distribución en el año, el país presenta un gran potencial productivo para satisfacer la demanda de mercados. No obstante, la precipitación no es la única variable que incide en la presencia y producción del cultivo, ya que variables como la temperatura, tipo de suelo, pH entre otros, también tienen efecto sobre la distribución de la especie.

De acuerdo con Caicedo y Peralta (2000), Peralta *et al.* (2002), Peralta *et al.* (2014) y Basantes (2015), el tarwi es una planta de clima moderado, las exigencias de temperatura pueden ser muy variables atendiendo al origen genético de las semillas, siendo las condiciones necesarias para su producción temperaturas con rangos entre 7 y 14 °C, y como óptima y moderada temperaturas entre 8 y 14 °C (MAGAP, 2014). Teniendo en cuenta estos valores, solo existe un sitio geográfico (provincia de Chimborazo) del grupo 1 que registra temperaturas de 1 °C inferiores al valor mínimo óptimo y en el grupo 3 se registran tres sitios geográficos (provincia de Loja) con temperatura anual por encima del rango óptimo (16 °C), lo que demuestra la versatilidad que tiene el tarwi para adaptarse a distintas condiciones climáticas. Mamani *et al.* (2015) sugieren que las leguminosas del género *Lupinus* destacan por su diversidad biológica y ecológica y sobre todo la capacidad de adaptarse a condiciones de climas

y suelos desfavorables siendo considerada una especie rústica y con potencialidad para adaptarse a procesos de cambio climático.

Espinoza (2010) citado por Huanca *et al.* (2018) considera que el tarwi requiere temperaturas entre 12 y 20 °C para un buen desarrollo, según Meneses (1996) la temperatura óptima está entre 20 a 25 °C. En la Sierra ecuatoriana y tomando como referencia las variables ecogeográficas seleccionadas, la variable temperatura máxima de diciembre presenta temperaturas sobre los 20 °C para los tres grupos ecogeográficos; a nivel centro y norte de la Sierra la época de siembra empieza desde diciembre a febrero para coincidir las cosechas con los meses secos (entre junio y septiembre) (Peralta *et al.*, 2014).

Estudios en variedades europeas de *Lupinus* han demostrado que el incremento de la temperatura media (3 °C) eleva la concentración de alcaloides (Frick *et al.*, 2017), característica que le da cierta desventaja frente a otras leguminosas (Jacobsen y Mujica, 2006). Por su parte Gros y von Baer (1973) mencionan que la variación de temperatura durante la fase fenológica del cultivo puede incidir en el contenido de aceites, aspecto que debería ser evaluado en futuras investigaciones, sobre todo considerando la variabilidad ecogeográfica y distribución del tarwi en la zona andina.

El tarwi es un cultivo susceptible a las heladas que ocasionan retraso en la floración o presencia de granos no llenos (chupados). Además, eventos desfavorables como las granizadas pueden causar daño en las vainas y aborto de flores según indica Tapia (2015). A nivel de los grupos ecogeográficos, ninguna zona presentó temperaturas por debajo de 0 °C. En Ecuador, las provincias que presentan riesgo muy alto y alto de heladas son las provincias de Carchi, Pichincha Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Bolívar (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de “El Niño” [CIIFEN], 2019). No obstante, las temperaturas mínimas registradas para el mes de noviembre fluctúan entre 1 y 1,8 °C principalmente en la provincia de Chimborazo que posee accesiones que integran los grupos 1 y 3, siendo de vital importancia para el agricultor determinar las fechas de riesgo extremo de heladas y establecer calendarios de siembra.

De los componentes ecogeográficos que se relacionan con la distribución del tarwi está la altitud, autores como Canahua y Román (2016) mencionan que esta leguminosa puede presentarse a partir de los 1500 m s.n.m. si bien de forma experimental han conseguido buenos rendimientos a nivel de mar (Jacobsen y Mujica, 2006). Caicedo y Peralta (2000) dan a conocer que la franja altitudinal de distribución del tarwi en Ecuador está entre los 2500 y 3400 m s.n.m. sin limitaciones para su implementación, y sobre los 3400 hacia los 3600 m s.n.m. con riesgo a heladas y granizadas. Según datos de colecta realizados en el país, el tarwi se distribuye a partir de los 2100 m s.n.m., esto podría convertirse en una ventaja competitiva de producción para las variedades nativas o locales, principalmente porque las variedades mejoradas presentan rangos óptimos de producción a partir de 2800 hasta 3500 m s.n.m. (Peralta *et al.*, 2014).

A nivel de la colección de tarwi del Ecuador, es posible encontrar germoplasma por encima de los 3600 m s.n.m. (límite de la frontera agrícola), destacándose las accesiones de los grupos 1 y 3 de la provincia de Chimborazo. Esta distribución altitudinal estaría dando respuesta a la presencia de temperaturas menores a los 2 °C tal como se mencionó en apartados anteriores. Sin embargo, el localizar germoplasma por encima de la cota implica deterioro de los ecosistemas de páramos de esta provincia (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo, 2015).

El tarwi se adapta a suelos de textura gruesa y arenosa, con relativa baja fertilidad, franco arenoso y arcilloso arenoso con limitaciones (Blanco, 1977 citado por Zavaleta, 2018; Mujica, 1992; Caicedo y Peralta, 2000; Tapia, 2015a). Así por ejemplo accesiones de los tres grupos ecogeográficos están presentes en suelos franco arenoso. Sin embargo, en el grupo 3 hay

accesiones que también se desarrollan en suelos tipo franco y franco arcillo arenoso. Según el MAGAP (2014) este tipo de suelos también son considerados como óptimos para la producción de tarwi.

Respecto a las características del suelo como pH, los agroecosistemas en los que se desarrolla el tarwi son de ácidos a ligeramente ácidos, característica que está presente en los grupos 1 y 3, mientras que en el grupo 2 destacan los suelos prácticamente neutros. Según Peralta *et al.* (2014) y MAGAP (2014) consideran que el pH óptimo para el desarrollo del tarwi está entre 5,5-7,0. Para Gross (1982) los *Lupinus* en condiciones de suelo ácido tienen la habilidad de extraer mayor cantidad de minerales esenciales. No obstante, la capacidad de fijación de nitrógeno por el *Rhizobium lupinies* es muy escasa, debiendo utilizarse en lo posible cepas nativas de cada zona de cultivo (Jacobsen y Mujica, 2006). No obstante, la capacidad de fijación de nitrógeno podría variar entre 50 y 100 kg ha⁻¹ (Tapia, 2015a), lo que le brinda la capacidad de mejorar la fertilidad de suelos (Taco-Taype y Zúñiga-Dávila, 2020).

Cuando se habla de salud de los suelos, el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) es un componente importante de la materia orgánica. En Ecuador el tarwi se desarrolla mayoritariamente en suelos con contenidos de carbono orgánicos bajo y muy bajo y solo. Este tipo de suelos son usuales en la Sierra ecuatoriana debido a la excesiva intensidad de labranza del suelo (Naranjo *et al.*, 2017).

La cantidad de COS no depende solo de las condiciones ambientales, sino que se ve fuertemente afectado por el manejo del suelo (Martínez *et al.*, 2008), que puede conducir a una baja productividad y erosión de suelo (FAO, 2017). Esto podría ser una de las razones por las que la producción de tarwi en el país no llega a alcanzar los rendimientos deseables, existiendo un déficit de aproximadamente 6000 Mg año⁻¹ (Mazón, 2018). Deben desarrollarse investigaciones que conduzcan a las mejoras de los rendimientos, la revalorización del cultivo y el fomento del consumo que son alternativas que permitirán superar los problemas de desnutrición a nivel de país y de la región andina, sobre todo porque a nivel de la zona andina las condiciones agroclimáticas son favorables para su desarrollo y producción.

2.4.3 Mapas de diversidad ecogeográfica y morfológica

Los mapas generados a partir de datos ecogeográficos y morfológicos de 173 accesiones de tarwi, permitieron determinar que no necesariamente las zonas donde existe una alta diversidad ecogeográfica alberga una alta diversidad morfológica. Según Parra-Quijano *et al.* (2015) el mapa de diversidad ecogeográfica representa los escenarios adaptativos de donde provienen las accesiones o sitios de recolección, esto implica el uso de caracteres ambientales de tipo abiótico.

En el norte del país (Pichincha, Imbabura y Carchi) se identifican pocas celdas con alta diversidad ecogeográfica dentro de las cuales se identificó dos accesiones Ecu-645 (Pichincha) y Ecu-647 (Imbabura) que se distribuyen dentro de estas áreas de alta diversidad ecogeográfica. Por el contrario, en la provincia de Carchi no existen reportes de colecta de germoplasma realizada por INIAP a nivel de estas áreas, por lo que sería oportuno realizar nuevas exploraciones que permitan determinar si existe o no variabilidad fenotípica o a su vez, estas zonas sean consideradas estratégicas para la conservación *in situ* de tarwi a nivel de país. En las provincias mencionadas, se identificó que el germoplasma colectado se distribuye principalmente en zonas con baja y muy baja diversidad ecogeográfica. Esto podría ser una de las razones por las que en los mapas de diversidad fenotípica se evidencia sitios geográficos con baja diversidad morfológica o fenológica.

En la provincia de Pichincha específicamente el cantón Cayambe, existen celdas con alta diversidad ecogeográfica, que coinciden con las zonas identificadas con alta diversidad

morfológica. Sin embargo, dentro de estas áreas no existe referencia de germoplasma colectado, lo que podría ser un área geográfica con potencial para la conservación *in situ* del tarwi. Por el contrario, en Imbabura y Carchi existen pocas celdas con alta diversidad morfológica pero que no coinciden con las zonas de alta diversidad ecogeográfica, lo que indica que en estos ambientes podría existir germoplasma con variabilidad morfológica distinta a la existente. De Cara García (20016) menciona que los cambios respecto al clima afectan a la morfología y fisiología de plantas que se refleja en cambios en distribución de masa en los distintos órganos de la planta y que además da pauta a procesos de evolución de los cultivos.

En el sur del país (Chimborazo y Cotopaxi) de igual manera se identifican celdas con alta diversidad ecogeográfica, dentro de los cuales se dispone de tres accesiones en la provincia de Cotopaxi (Ecu-27584, Ecu-7294 y Ecu-27550) y seis accesiones en la provincia de Chimborazo (Ecu-658, Ecu-672, Ecu-27503, Ecu-27502, Ecu-27562 y Ecu-27581) que están dentro de estos espacios. Las celdas con alta diversidad ecogeográfica son sitios que presentan una variedad de ecosistemas producto de la influencia de la cordillera de los Andes, cuencas hidrográficas, valles interandinos y zonas de vida (Holdridge, 1978). Lo interesante de estos territorios, es que a nivel de Cotopaxi existen pocas celdas con alta diversidad ecogeográfica, pero con mayor número de celdas con alta diversidad morfológica, contrario a lo que ocurre a nivel de Chimborazo. Según Tapia (2015b) estas condiciones climáticas, edáficas y geofísicas aportan al desarrollo a lo largo del tiempo de una importante variabilidad y diversidad.

En las provincias australes (Cañar, Azuay y Loja) ubicadas al sur del país, prevalecen áreas con media y muy baja diversidad ecogeográfica, donde además es minoritario el número de accesiones colectadas. Lo interesante de este territorio es que existen celdas tanto en la provincia de Azuay como Loja que presentan alta diversidad morfológica. Según el MAGAP (2014) las dos provincias son catalogadas como zonas agroecológicas económicas de potencialidad baja (17% Loja, 15% Azuay) para la producción de tarwi, una de las razones es la presencia de agroecosistemas marginales y la restringida accesibilidad a servicios e infraestructuras.

Loja es una de las provincias con una extraordinaria diversidad de ecosistemas (22) y una variedad de grupos taxonómicos entre flora y fauna, diversidad genética silvestre guardada en bosques en su agrobiodiversidad (Aguirre *et al.*, 2017). Esta variabilidad de ecosistemas sustenta la existencia de zonas con alta variabilidad morfológica de tarwi, lo que estaría dando respuesta a la presencia de tarwi con características distintivas, como es el color de la flor. Por ejemplo, destaca la presencia de tarwi de flor blanca (únicas dentro del territorio nacional) y violetas de color que prevalece dentro de la colección de germoplasma. Esta distribución estaría determinada en gran medida por variables climáticas (precipitación y temperatura). Fitzpatrick *et al.* (2008) y Rehfeldt *et al.* (2009) aseguran que los cambios en el clima modifican la distribución y abundancia de una especie, resultando que las respuestas plásticas a condiciones ambientales cambiantes pueden incluir ajustes muy específicos del desarrollo, la morfología, fisiología y reproducción de los individuos, que a su vez tiene impacto en la supervivencia y persistencia en estos ambientes (Matesanz *et al.*, 2019).

La presencia de tarwi de flor blanca dentro del territorio lojano no está ligada necesariamente al consumo del grano, sino a un arraigo cultural que los pobladores de usar las flores como ornamento para las iglesias, así lo mencionaron agricultores de la zona y también fue reportado por Peralta (2016). Sin embargo, existen cantones como es Saraguro donde paulatinamente se ha ido incrementando la producción de tarwi, así lo menciona Chamba *et al.* (2016) quienes reportan que existen cerca de 4 hectáreas están dedicadas a la producción de tarwi, considerando la disponibilidad de riego, ya que esto les permite sembrar en cualquier mes del año.

Tapia (2015a) sugiere que el proceso continuo de domesticación del tarwi y sus parientes silvestres están relacionados con las especies de América del Norte, el proceso de migración hacia el sur ha conducido a la presencia de tres subespecies diferentes del tarwi. Es decir, diferenciar el “chocho” como la subespecie con plantas de mayor tamaño y más tardía en el norte (Colombia hasta Cajamarca-Perú) “tarwi” en la región central de la sierra en el Perú y “tauri” con las variedades más precoces en la zona sur de influencia de la cultura aymara al sur del Perú y el altiplano de Bolivia. Sin embargo, no existen estudios moleculares que integren y corroboren esta hipótesis.

En la zona andina se identificaron áreas geográficas con baja y muy baja diversidad ecogeográfica, lo que indica ambientes más homogéneos donde además se distribuye cerca del 90% de las accesiones colectadas. Esto podría ser una ventaja competitiva ya que existen áreas que podrían ser empleadas para la producción de tarwi. Así basado en los estudios de zonificación agroecológica se destacan las provincias de Cotopaxi, Chimborazo, Pichincha e Imbabura que son consideradas como centros de producción de tarwi (Caicedo y Peralta, 2000; MAGAP, 2014), siendo característico del callejón interandino las zonas de vida estepa Montano (eM) subpáramo seco y estepa espinoso Montano Bajo (eeMB) (Peralta, 2016).

En el centro sur del país prevalece la producción de la variedad Andino 450 y en pocos territorios las variedades nativas (Márquez, 2020), cada productor destina cerca de una hectárea a la producción de tarwi, de los cuales el 82% destinan a la venta, un 8% al consumo y el restante para semilla. Sin embargo, esta producción no abastece el mercado nacional (Mazón, 2018), por lo que la identificación de estos microcentros de diversidad ecogeográfica podrían dar respuesta a los procesos de adaptación de la especie y la posibilidad de establecer estrategias de mejora tanto para la producción como para la conservación *in situ* del tarwi, así como establecer políticas públicas para la planificación (Tapia, 2015b; Pérez *et al.*, 2020).

Finalmente, los mapas de diversidad morfológica y diversidad ecogeográfica determinan áreas con presencia de diversidad morfológica en distintos escenarios ecogeográficos. Según el análisis de correlación de Mantel, existe una correlación positiva entre las matrices de distancia morfológica y ecogeográfica, esto indica que zonas con baja diversidad ecogeográfica presentan baja diversidad morfológica y viceversa, sin embargo, al ser una asociación baja se aprecia que zonas con alta o media diversidad morfológica están distribuidas en zonas con baja diversidad ecogeográfica, lo que implica que el tarwi puede adaptarse a diferentes condiciones ambientales.

Un mapa de diversidad ecogeográfica puede servir de solución intermedia mientras se desarrolla estudios fenotípicos y genéticos que corroboren la presencia de variabilidad dentro de una especie (Parra-Quijano *et al.*, 2015). De especial relevancia son los estudios genéticos que responderían a identificar si la variabilidad morfológica encontrada en la caracterización de germoplasma es real y no solo es efecto de la variación climática. Por otro lado, establecer escenarios de conservación *in situ* de los recursos fitogenéticos permite priorizar áreas de conservación a nivel de finca, sin olvidar que el componente social y económico ya que son factores que dinamizan el uso de la diversidad el cultivo (Tapia, 2015b).

2.5 CONCLUSIONES

- Se encontró que, de las 105 variables estudiadas las que mejor describieron los diferentes escenarios ambientales determinaron para la adaptación del tarwi a lo largo de la sierra ecuatoriana y en algunas áreas geográficas de la región amazónica incluyeron 28 variables ecogeográficas de las cuales el 60,7% corresponde a variables bioclimáticas como la temperatura y precipitación, el 28,5% a variables edáficas y un 10,7% geofísicas.

- Existe correlación positiva entre datos morfológicos y ecogeográficos pero hay una baja asociación, lo cual implica que la diversidad morfológica del tarwi puede o no estar presente en agrosistemas homogéneos o heterogéneos. Esto también está relacionado a que el tarwi al ser un cultivo rústico puede adaptarse a diferentes condiciones ambientales.
- En las zonas con características óptimas para la producción, destacan todas las provincias de Imbabura, Pichincha, Cotopaxi y Chimborazo por presentar una alta diversidad ecogeográfica y con aptitud agroecológica óptima para la producción de este cultivo. Además, provincias de la zona austral presentan una media y baja diversidad ecogeográfica, pero con presencia de variabilidad morfológica.



CAPÍTULO 3.

DISTRIBUCIÓN ECOGEOGRÁFICA DE LA JÍCAMA (*Smallanthus sonchifolius* [Poepp. & Endl.] H. Robinson) EN EL ECUADOR

3.1 INTRODUCCIÓN

La región Andina es uno de los centros más importantes de diversidad, donde se encontraron 38 especies de plantas domesticadas, destacando los tubérculos y raíces con 25 especies que pertenecen a 16 géneros botánicos y 15 familias que incluyen mono y dicotiledóneas (Hawkes, 1989). Los cultivos andinos históricamente han formado parte de la dieta de sus pobladores originarios. Son considerados cultivos rústicos, resistentes a condiciones climáticas extremas. Además, son alimentos de alta calidad por sus propiedades nutritivas y medicinales. La gran diversidad genética de los cultivos hace que exista una variabilidad de formas, colores y tamaños presentando así ventajas comparativas y competitivas ante cultivos tradicionales (Jacobsen *et al.*, 2003).

La jícama o yacón (*Smallanthus sonchifolius* [Poepping and Endl.] H. Robinson) es una de las 21 especies que pertenecen al género *Smallanthus*. Tiene su origen en la región andina y fue domesticada hace varios siglos por los pobladores de las culturas preincaicas. Existen evidencias arqueológicas sobre el uso de la jícama en las culturas Nazca y Mochica desarrolladas en la costa peruana, encontrándose restos arqueológicos de raíces en la cultura Candelaria del noreste argentino (Zardini, 1991). Las formas silvestres fueron encontradas por Bukasov en la meseta de Cundinamarca en Colombia (Hernández y León, 2004).

La jícama pertenece a la familia Asteraceae, género *Smallanthus*, inicialmente clasificado por Wells dentro de *Polymnia*, pero Robinson en 1972 lo reclasificó en un género que había sido creado por Mackensi en 1993 como *Samallanthus*, siendo el género más usado entre los taxónomos para identificar a la jícama o yacón (Seminario *et al.*, 2003). Esta especie recibe varios nombres, en Ecuador se lo conoce como jícama, con derivaciones como chicama, shicama, jiquima y jiquimilla; en Bolivia los nombres están asociados con el aymara por lo que se le conoce como aricoma o aricumay en quechua, llagón, llacñun y llacuma; en Colombia como arboloco; en Venezuela y Colombia como yacón, jíquima, jiquimilla y en Perú como yacón, jícama, aricama o aricoma y finalmente en Argentina es conocida como llacón o yacón (Seminario, Valderrama y Manrique, 2003; Hernández y León, 2004).

Grau y Rea (1997) consideran que la jícama se adapta fácilmente a espacios libres dejados en la vegetación. Parientes cercanos como *S. siegesbeckius* (Perú) y *S. macroscyphus* (Argentina) suelen invadir campos abandonados de café y de caña de azúcar respectivamente, por lo que existe una alta posibilidad que un híbrido de dos o más especies de *Smallanthus* colonizadoras de hábitats sometidos a perturbancias dieran origen a una especie ancestral de la jícama.

La jícama tiene una amplia distribución geográfica, tanto en estado cultivado como silvestre, extendiéndose desde Venezuela hasta el noreste de Argentina. Además, ha sido introducida en algunos países como Nueva Zelanda, Japón, Corea, Brasil, República Checa, China, Estado Unidos, Paraguay, Taiwán (Seminario *et al.*, 2003). Los últimos reportes mencionan que la jícama crece bien en países como Australia, Tasmania y Nueva Zelanda

donde el clima es templado, y recientemente en países como Filipinas, Malasia, Rusia donde está ampliamente disponible en los mercados locales (Lim, 2015).

León (1964) señala que el yacón es una planta perenne de 1,5 a 3 m de altura. El sistema radical está compuesto de raíces reservantes y carnosas de número de 4 a 20, que pueden alcanzar hasta un tamaño de 25 cm de longitud y 10 cm de diámetro, y un sistema extensivo de delgadas raíces fibrosas. Las raíces de almacenaje se forman a partir de un sistema ramificado de ejes subterráneos. Son mayoritariamente napiformes, pueden alcanzar hasta 25 cm de largo y 10 cm de grosor y pesan entre 0,2-2 kg por planta; la producción media de raíces alcanza entre 20 y 40 t ha⁻¹, el tiempo de cosecha puede ir entre 6 y 12 meses; el color la raíz comestible puede ser blanca, crema, rosada (estriado), lila o marrón (Doser *et al.*, 2009).

Las hojas son enteras y con peciolo, con borde dentado, la lámina foliar tiene la forma triangular con base hastada, truncada o acorazonada. Presenta pilosidad en la superficie. La inflorescencia es un capítulo y está compuesta por dos tipos de flores: a) femeninas o liguladas que se ubican alrededor del capítulo (color amarillo intenso o naranja pálido), b) las masculinas o tubulares que están muy juntas, ocupan el centro del capítulo. Producen semilla de tipo aquenio en poca cantidad y con bajo porcentaje germinativo (15-25%) (Seminario *et al.*, 2003).

Es una planta que está presente en sistemas agrícolas tradicionales, formando parte de los huertos familiares o chacras, crece junto a hierbas arbustos y árboles. También se puede encontrar al borde de los sembríos de maíz, camote, hortalizas, o asociado con maíz, fréjol, papa, repollo, arracacha, café y frutales. También forma monocultivos (Seminario *et al.*, 2003). La jícama es un cultivo rústico y con altos rendimientos (promedio 30 Mg ha⁻¹) (Álvarez *et al.*, 2012), las zonas más productivas se hallan en las provincias de Imbabura, Cotopaxi, Chimborazo, Bolívar, Cañar, Azuay y Loja (Arrobo, 2013).

Las plantas de este cultivo producen un tipo especial de raíz, que se consumida en fresco (cruda). A pesar de que se parece al camote (*Ipomoea batatas* L.) o la yuca (*Manihot esculenta* C.), tiene un agradable sabor dulce y deja una sensación refrescante después de su consumo, esta es la razón por la cual el habitante andino lo considera una fruta (Seminario *et al.*, 2003). A diferencia de la mayoría de los tubérculos y raíces, la jícama almacena los carbohidratos en forma de almidón, principalmente fructo-oligosacáridos (FOS), un tipo de azúcar con pocas calorías y que no elevan el nivel de glucosa en la sangre, de manera que constituyen una alternativa de dieta hipocalórica, recomendada para diabéticos (Seminario *et al.*, 2003).

En algunos países andinos se ha incrementado la comercialización de té elaborado con las hojas de jícama. Este té presenta diferentes propiedades como la regulación de la concentración de glucosa en sangre, la reducción del nivel de colesterol y el control de la presión arterial, a las que se incorpora su recomendación como relajante (Vignale y Gurn, 2005).

En la región andina, Perú conserva 326 accesiones (Soto, 2012) mientras que en Ecuador la colección de INAP está representada por 32 accesiones caracterizadas (Morillo, 1998) mientras que Bolivia posee 43 accesiones (FAO, 2009). La mayor variabilidad en términos de morfotipos se da en el norte y parte del sur de Perú, identificándose siete morfotipos, cuatro son los de mayor distribución y cultivo (morado, amarillo, blanco y verde púrpura) (Seminario *et al.*, 2003). En Bolivia, se reportan tres morfotipos (amarillo, púrpura y blanco) (Grau y Rea, 1997). Sin embargo, no se descarta que existan otros morfotipos en otros países.

Estudios desarrollados en Colombia determinaron que existe relación entre datos cualitativos y moleculares, la evaluación morfológica de la especie clasificó 10 biotipos colectados en tres grupos, mientras que la caracterización molecular determinó cuatro grupos que guardan estrecha relación con caracteres cualitativos. Las accesiones del grupo 1 son más apropiadas para la producción de raíces carnosas, los del grupo 2 tienen doble propósito (producción de raíces comestibles y hojas) y las accesiones del grupo 3 están destinadas a la

producción de hojas (Polanco *et al.*, 2013). En Ecuador, el estudio de caracterización desarrollado por Morillo (1998) determinó que la colección nacional de INIAP está representada por cuatro morfotipos, los cuales están diferenciados principalmente por el color del tallo (morados, verde claro y verde oscuro) y por el color de las raíces de almacenaje (pulpa blanca y pulpa amarilla).

La mayor diversidad de esta especie está presente en la zona sur del país. Sin embargo, al ser considerado un cultivo de producción dentro de la agricultura familiar y de autoconsumo, muchas variedades locales han sufrido procesos de erosión genética (Nieto, 2004). Por lo que surge la necesidad de identificar áreas geográficas o agroecosistemas potenciales para el desarrollo de la jícama a nivel de país.

Los estudios de caracterización ecogeográfica han permitido conocer los rangos de adaptación e identificación de agroecosistemas donde se pueden establecer estrategias de conservación, además de identificar materiales promisorios tolerantes a factores abióticos que permitan adaptarse a procesos de cambio climático. Por ejemplo, en cultivos andinos como los tubérculos andinos melloco (*Ullucus tuberosum* L.), oca (*Oxalis tuberosa* M.) y mashua (*Tropaeolum tuberosum* R. y P.) se identificaron alrededor de 20 categorías ecogeográficas que determinan su distribución, las cuales están asociadas a condiciones de temperatura y precipitación principalmente (Naranjo, 2017). Respecto a especies del género *Musa* spp. la caracterización ecogeográfica definió zonas potenciales de colecta, las cuales están ubicadas hacia las estribaciones orientales y occidentales de la cordillera de los Andes (Tapia *et al.*, 2019).

Con estos antecedentes, la presente investigación plantea mejorar la representatividad de la colección de jícama, con el uso del programa CAPFITOGEN vr 2.0 (Fortalecimiento de las Capacidades en Programas de Recursos Fitogenéticos en América Latina) con una serie de herramientas como es Representa (RE), que permiten realizar un análisis de representatividad ecogeográfica de la especie para determinar vacíos o faltas geográficas y ecogeográficas en la colección en estudio. Así los objetivos se centran en (i) analizar las variables ecogeográficas que tienen efecto en la distribución de la especie y (ii) identificar vacíos ecogeográficos para mejorar la representatividad de la especie a nivel nacional.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Área de estudio

El área de estudio comprende provincias que integran la región de la Sierra ecuatoriana, territorio que se caracteriza por presentar una amplia agrobiodiversidad dentro de los cuales destacan las raíces y tubérculos andinos como melloco (*Ullucus tuberosus* L.), oca (*Oxalis tuberosa* M.), mashua (*Tropaeolum tuberosum* R. y P.), zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* B.), jícama (*Smallanthus sonchifolius* H. R.), achira (*Canna* spp.) y miso (*Mirabilis expansa* S.).

La región andina se caracteriza por presentar un relieve irregular donde predominan pendientes suaves en valles (< 5°) y fuertes en zonas de montaña (entre 15 y 25 °) (Tapia *et al.*, 2015). La temperatura está ligada a la altura, entre los 1500 y 3000 m s.n.m. La temperatura promedio oscila entre los 10 y 16 °C, con máximas de 25 °C y mínimas que se aproximan a 0 °C en verano o época seca (especialmente en el mes de agosto). Son dos las estaciones lluviosas o invierno, que van de febrero a mayo (más intensa y abundante) y de octubre a noviembre (más liviana y esporádica), la precipitación total anual fluctúa entre los 700 y 1500 mm (Winckell *et al.*, 1997; Portilla, 2018). Los suelos son producto de la actividad volcánica (Calvache, 2014).

3.2.2 Germoplasma de jícama

La colección nacional de jícama del Ecuador está conformada por 80 accesiones procedentes de nueve provincias de la Sierra ecuatoriana (Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo, Bolívar, Cañar, Azuay y Loja) (Tabla 1, Anexo 1). Las accesiones son conservadas en condiciones de campo e *in vitro* por el Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP, 2017).

Tabla 1. Número de accesiones y procedencia de la Colección Nacional de jícama del Ecuador.

Provincias	Nº de accesiones	Rango altitudinal (m s.n.m.)
Carchi	1	3139
Imbabura	3	2440-3161
Pichincha	2	2399
Cotopaxi	3	2740-3232
Chimborazo	3	2600-2920
Bolívar	14	2491-3397
Cañar	9	2777-3274
Azuay	22	2344-3140
Loja	23	1603-3030
Total	80	

3.2.3 Selección de variables (Herramienta SelecVar)

Para definir los entornos en los que se cultiva el germoplasma de la colección de jícama, se utilizó la herramienta SelecVar del programa CAPFITOGEN vr 2.0 (Parra-Quijano *et al.*, 2015), que consiste en la aplicación de métodos estadísticos para extraer información geográfica de variables predictoras de distribución de especies vegetales. Se realizó un Análisis de Correspondencia Binaria (BCA siglas en inglés) para descartar variables que no aportan al análisis o que aportan la misma información que otras. Para explorar datos y reducir dimensiones se utilizó el Análisis de Componentes Principales (ACP) con lo cual se seleccionaron variables discriminantes con mayor peso absoluto (sin considerar su sentido positivo o negativo) y poca redundancia (correlación lineal) entre sí. Para ello se estableció una matriz de datos de colecta de 80 accesiones de jícama (Anexo 1) y 105 variables ecogeográficas del programa CAPFITOGEN vr 2.0 (Parra-Quijano *et al.*, 2015).

Para determinar la contribución de las variables a la distribución de la especie, se empleó el método de clasificación *Random Forest* (RF) para agrupar con alta precisión dentro de ambientes caracterizados por la interacción entre variables y determina la importancia de la variable en la clasificación, siendo las variables de mayor importancia en la clasificación aquellas de mayor valor de decrecimiento medio de la precisión (decrecimiento medio del índice de Gini) (Parra-Quijano *et al.*, 2015). Finalmente, se realizó una revisión bibliográfica y se aplicó una encuesta a tres expertos nacionales e internacionales (Anexo 2 y 3). Con el uso de la herramienta SelecVar y encuesta a expertos, se seleccionó 69 variables ecogeográficas (cuatro geofísicas, 17 edáficas y 48 bioclimáticas) (Tabla 2).

Tabla 2. Variables ecogeográficas usadas para formato y fuente de las variables ecogeográficas.

Nº de variables	Código*	Datos ecogeográficos	Unidad	Fuente
Bioclimáticas				
1	bio_1	Temperatura media anual	°C	Worldclim ¹
1	bio_7	Rango de temperatura anual (BIOCLIM5 - BIOCLIM6)	°C	Worldclim
1	bio_10	Temperatura promedio del cuarto más cálido (3 meses más cálidos)	°C	Worldclim
1	bio_19	Temperatura promedio del cuarto más frío (3 más fríos)	°C	Worldclim
1	bio_16	Temperatura promedio del cuarto más húmedo (3 meses más lluviosos)	°C	Worldclim
1	bio_17	Temperatura promedio del cuarto más seco (3 meses más secos)	°C	Worldclim
1	bio_2	Rango promedio de temperaturas diurnas	°C	Worldclim
1	bio_3	Isotermalidad (BIOCLIM2/BIOCLIM7)(*100)		Worldclim
1	bio_3	Estacionalidad en la temperatura (desviación estándar*100)		Worldclim
1	tmax_1	Temperatura máxima de enero	°C	Worldclim
1	tmax_2	Temperatura máxima de febrero	°C	Worldclim
1	tmax_3	Temperatura máxima de marzo	°C	Worldclim
1	tmax_4	Temperatura máxima de abril	°C	Worldclim
1	tmax_5	Temperatura máxima de mayo	°C	Worldclim
1	tmax_6	Temperatura máxima de junio	°C	Worldclim
1	tmax_7	Temperatura máxima de julio	°C	Worldclim
1	tmax_10	Temperatura máxima de octubre	°C	Worldclim
1	tmax_11	Temperatura máxima de noviembre	°C	Worldclim
1	tmin_12	Temperatura máxima de diciembre	°C	Worldclim
1	tmin_1	Temperatura mínima de enero	°C	Worldclim
1	tmin_2	Temperatura mínima de febrero	°C	Worldclim
1	tmin_3	Temperatura mínima de marzo	°C	Worldclim
1	tmin_4	Temperatura mínima de abril	°C	Worldclim
1	tmin_5	Temperatura mínima de mayo	°C	Worldclim
1	tmin_6	Temperatura mínima de junio	°C	Worldclim
1	tmin_7	Temperatura mínima de julio	°C	Worldclim
1	tmin_10	Temperatura mínima de octubre	°C	Worldclim
1	tmin_11	Temperatura mínima de noviembre	°C	Worldclim
1	tmin_12	Temperatura mínima de diciembre	°C	Worldclim
1	bio_12	Precipitación anual	mm	Worldclim
1	bio_10	Precipitación de cuarto más cálido (3 meses más cálidos)	mm	Worldclim
1	bio_17	Precipitación del cuarto más seco (3 meses más secos)	mm	Worldclim
1	bio_8	Precipitación del cuarto más húmedo (3 meses más lluviosos)	mm	Worldclim
1	bio_19	Precipitación del cuarto más frío (3 más fríos)	mm	Worldclim
1	bio_14	Precipitación del mes más seco	mm	Worldclim
1	bio_13	Precipitación del mes más húmedo	mm	Worldclim

1	prec_1	Precipitación promedio enero	mm	Worldclim
1	prec_2	Precipitación promedio febrero	mm	Worldclim
1	prec_3	Precipitación promedio marzo	mm	Worldclim
1	prec_4	Precipitación promedio abril	mm	Worldclim
1	prec_5	Precipitación promedio mayo	mm	Worldclim
1	prec_6	Precipitación promedio junio	mm	Worldclim
1	prec_7	Precipitación promedio julio	mm	Worldclim
1	prec_10	Precipitación promedio octubre	mm	Worldclim
1	prec_11	Precipitación promedio noviembre	mm	Worldclim
1	prec_12	Precipitación promedio diciembre	mm	Worldclim
1	bio_15	Estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)	mm	Worldclim
1	vap_annual	Presión de vapor anual	kPa	Worldclim
Edáficas				
1	t_cec_soil	Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo superficial (general)	cmol/kg	MAG ²
1	t_sand	Contenido de arena en el suelo superficial	% peso	MAG
1	s_sand	Contenido de arena en el suelo subsuelo	% peso	MAG
1	t_clay	Contenido de arcilla en el suelo superficial	% peso	MAG
1	s_clay	Contenido de arcilla en subsuelo	% peso	MAG
1	t_silt	Contenido de limo en suelo superficial	% peso	MAG
1	s_silt	Contenido de limo en suelo subsuelo	% peso	MAG
1	t_gravel	Contenido de grava en el suelo superficial	% vol	MAG
1	s_gravel	Contenido de grava en el subsuelo	% vol	MAG
1	t_oc	Contenido de carbón orgánico en el suelo superficial	% peso	MAG
1	s_oc	Contenido de carbón orgánico en subsuelo	% vol	MAG
1	t_caco3	Carbonato de calcio en suelo superficial (CaCO ₃)	% peso	MAG
1	ref_depth	Profundidad referencia de la unidad de suelo	m	MAG
1	t_ph_h2o	pH en suelo superficial en solución suelo-agua (1:2,5)	-log(H ⁺)	MAG
1	s_ph_h2o	pH en suelo subsuelo en solución suelo-agua (1:2,5)	-log(H ⁺)	MAG
1	t_ece	Salinidad de suelo superficial	dS/m	MAG
1	s_ece	Salinidad en subsuelo	dS/m	MAG
Geofísicas				
1	alt	Elevación (metros sobre el nivel del mar)	m	SRTM ³
1	slope	Pendiente (en grados) de la superficie del terreno	°	SRTM
1	wind_annual	Velocidad del viento anual	Km/h	SRTM
1	srاد_annual	Radiación solar anual	kJ/m ² /día ⁻¹	SRTM
69				

NOTA: 1.Worldclim (<http://www.worldclim.org>, acceso julio, 2020) (30 arc-sec-onds resolution); 2. Ministerio de Agricultura y Ganadería (<http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>) acceso julio, 2020; 3. Shuttle Radar Topography Mission (<http://srtm.csi.cgiar.org/>) acceso julio, 2020; * Códigos asignados en el manual CAPFITOGEN vr. 2.0 (Parra-Quijano *et al.*, 2015; <http://www.capfitogen.net/es/programa/>)

3.2.4 Mapa de caracterización ecogeográfico del terreno o ELC

Para la caracterización ecogeográfica del terreno, se usó la herramienta ELC mapas (Ecogeographical Land Characterization en sus siglas en inglés) del programa CAPFITOGEN vr 2.0. Se emplearon 69 variables previamente seleccionadas (utilizando la herramienta "SelecVar") con lo cual se determinó el número de condiciones ambientales (categorías ELC o zonas) para la especie. Utilizando el método "codo" se estableció un máximo de tres grupos por variable componente (bioclimático, edáfico y geofísico). La resolución para generación del mapa se utilizó la resolución de 5x5 km (30 segundos de arco) (Parra-Quijano *et al.*, 2015).

3.2.5 Caracterización ecogeográfica

La caracterización ecogeográfica se realizó a través de la herramienta ECOGEO del programa CAPFITOGEN, el cual permitió extraer información ambiental del sitio donde crece un individuo o población. Se emplearon datos geográficos de 80 accesiones procedentes de la colección nacional de germoplasma de la jícama del INIAP-Ecuador y 69 variables ecogeográficas (definidas con SelecVar), las cuales permitieron definir ambientes donde se desarrolla el cultivo en la región andina del Ecuador.

La información generada a partir de la caracterización ecogeográfica es una matriz de datos donde las filas corresponden a las accesiones en evaluación y las columnas a los descriptores. A partir de esta base de datos, se realizó un análisis multivariado (InfoStat/Profesional versión 2017 [Di Rienzo *et al.*, 2011]). Para determinar similitudes ambientales entre los diferentes sitios de recolección, se realizó un análisis de conglomerados con el método de agrupamiento jerárquico de Ward (1963) y el coeficiente de similaridad de Gower (1967).

Para determinar las variables que más contribuyeron a la conformación de grupos, se emplearon análisis de varianza con la prueba LSD Fisher (1936), tablas de contingencia usando el estadístico de Chi², Cramer (V), Coeficiente de asociación (P) y p-valor. Para identificar la variación interna entre grupos, se empleó el valor de coeficiente de variación (CV) generado en el análisis de varianza, y para variables cualitativas se calcularon las frecuencias absolutas de cada categoría y el índice de variación de la moda (DM) propuesto por Wilcox (1973), la fórmula usada fue $1 - (\sum_{i=1}^k (f_m - f_i) / N(K - 1))$, donde f_i es la frecuencia de cada i categorías, f_m es la frecuencia de la categoría modal, K es el número de categorías y N es el número de casos.

3.2.6 Representatividad ecogeográfica de la jícama en Ecuador

Con la finalidad de establecer la representatividad de la colección se empleó la herramienta Representa (RE), que permite conocer las condiciones ambientales presentes en un marco espacial donde están representados en la colección de germoplasma de jícama, y se comparó la distribución de la frecuencia de las colectas realizadas obtenido a través de mapas de puntos "mapa_Class:ELC.grd" y las frecuencias de las categorías detectadas con el mapa ELC "mapa_Class_Sp.grd" según ocurrencia de las entradas. Las frecuencias se dividen en cuartiles: grupo señalado como 1 corresponde a la frecuencia baja (por debajo del cuartil 0,25), el grupo 2 corresponde a la frecuencia media-baja (entre cuartiles 0,25 y 0,5 o mediana), el grupo 3 corresponde a la frecuencia media-alta (entre cuartiles 0,5 o mediana y 0,75) y grupo 4 que corresponde a frecuencia alta (por encima del cuartil 0,75) (Parra-Quijano *et al.*, 2015). Esto permitió visualizar claramente qué ambientes están subrepresentados en la colección nacional de jícama conservada por el INIAP.

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Mapa ELC para la distribución de jícama

La variabilidad bioclimática, geofísica y edáfica está representada por variables como la precipitación, temperatura y elevación entre otras, las cuales dan referencia de los rangos de adaptación o distribución geográfica de la jícama a nivel de Ecuador.

EL mapa ELC identificó cinco categorías ecogeográficas distribuidas principalmente en región sierra y amazónica; las categorías más frecuentes fueron la categoría 10 (70,6%) y categoría 5 (20,9%), las categorías menos frecuentes fueron la categoría 9 (5,6%), categoría 11 (2,6%) y categoría 7 (0,4%) (Figura 1, Anexo 4).

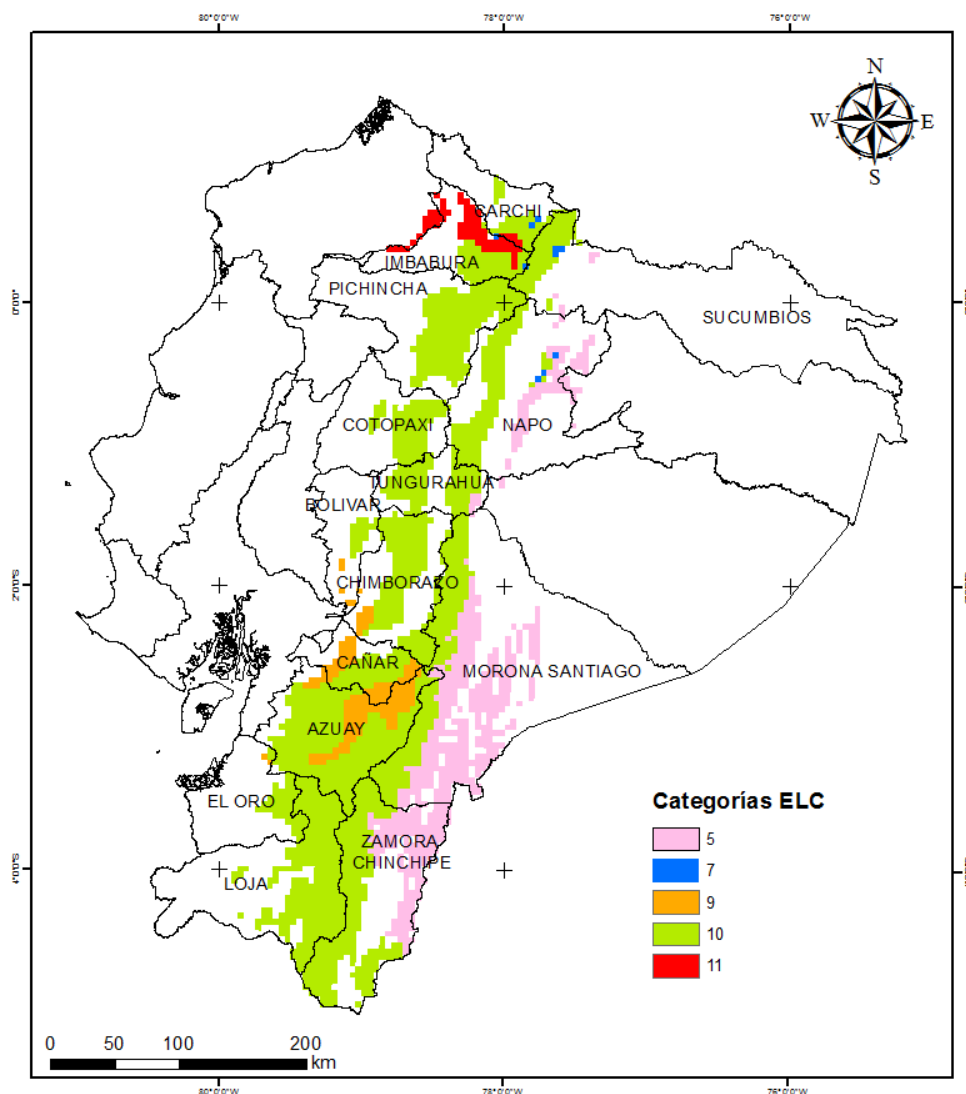


Figura 1. Mapa de caracterización ecogeográfica del área terreno (ELC) para jícama en Ecuador.

La categoría 10 está distribuida a lo largo de la sierra ecuatoriana, y en estribaciones de la región amazónica. Esta categoría presenta condiciones de precipitación anual de 1032 mm, el rango promedio de precipitación en los tres meses más secos oscila los 147 mm, y en los meses más lluvioso es de 386,2 mm. El rango de temperatura media anual es de 12,7 °C, siendo la más baja en comparación con las otras categorías, el rango de elevación promedio es de 2883 m

s.n.m., con pendientes muy suaves, suelos tipo franco arenoso, con bajo contenido de carbono orgánico, con pH medianamente ácido (Tabla 3).

Tabla 3. Características bioclimáticas, edáficas y geofísicas identificadas en la Categorías ecogeográficas del Mapa ELC para jícama en Ecuador

Variables	Categorías				
	5	7	9	10	11
Bioclimáticas					
Isotermalidad (BIOCLIM2/BIOCLIM7)(*100)	84.5	88.0	84.8	86.5	87.6
Precipitación anual (mm)	2707.3	1320.8	888.0	1032.0	1187.2
Precipitación del cuarto más húmedo (3 meses más lluviosos) (mm)	878.7	423.6	363.7	386.2	437.9
Precipitación del cuarto más seco (3 meses más secos) (mm)	512.1	229.7	115.4	147.5	108.5
Precipitación Diciembre (mm)	175.1	88.6	70.3	81.6	116.4
Precipitación Febrero (mm)	168.4	94.7	102.8	107.2	130.4
Precipitación Junio (mm)	310.4	130.5	55.2	73.9	53.5
Precipitación Julio (mm)	263.8	128.5	45.0	64.3	27.6
Temperatura media anual (°C)	20.30	14.37	14.13	12.40	15.74
Temperatura media del mes más cálido (3 meses más cálidos) (°C)	20.90	14.67	14.49	12.71	15.90
Edáficas					
Contenido de arcilla en suelo superficial (% peso)	23.41	17.90	45.32	17.24	7.39
Contenido de arena en suelo superficial (% peso)	45.01	52.50	25.51	53.49	41.42
Contenido de limo en suelo superficial (% peso)	31.58	29.60	29.17	29.27	51.19
Textura	Franco	Franco arenosa	Arcillosa	Franco arenosa	Franco limosa
Contenido de grava en suelo superficial (%vol)	2.97	5.50	1.81	7.15	0.00
Contenido de carbón orgánico en suelo superficial (% peso)	1.73	1.39	1.10	1.37	1.22
Capacidad de intercambio catiónico de arcilla en suelo (general) (cmol/kg)	31.84	28.10	54.72	36.94	133.73
pH en suelo superficial en solución suelo-agua (1:2,5) [-log(H ⁺)]	5.30	5.61	6.47	5.74	7.15
Geofísicas					
Elevación (m s.n.m.)	1405.0	2476.4	2560.0	2883.9	2234.2
Pendiente (°)	3.89	1.11	4.58	3.92	4.88
Radiación solar anual (kJ/m-2/día-1)	12998.5	13143.3	14026.6	13762.4	14842.9

Por su parte la categoría 5 se distribuye hacia la región amazónica en las provincias de Napo, Morona Santiago y Zamora Chinchipe. Esta categoría presenta rangos de precipitación total anual de 2707,3 mm, temperatura promedio anual de 20,3 °C, el rango altitudinal es de 1405 m s.n.m., con pendientes muy suaves, los suelos son de tipo franco y bajo contenido de carbono orgánico (1,73%) y pH ácido (5,3) (Tabla 3).

Las categorías presentes en menos del 10% del territorio son la categoría 9 distribuida hacia la zona sur del país (Cañar, Azuay y parte sur de Chimborazo) y la categoría 11, que es única

en la región distribuida principalmente en la provincia de Imbabura en los cantones Urcuquí e Ibarra, mientras que la zona de transición entre sierra y costa esta categoría está presente en ciertas áreas de la provincia de Esmeraldas como son los cantones San Lorenzo y Eloy Alfaro. Por su parte la categoría 7 está dispersa en varias áreas geográficas en la zona norte del país (Carchi, Sucumbíos y Napo) (Figura 1).

En las categorías menos frecuentes (7, 9 y 11), los rangos de temperatura media anual oscilan entre los 14 y 15 °C, la precipitación total anual fluctúa entre los 888 y 1320 mm. Durante los meses más secos la precipitación oscila entre los 100 y 200 mm aproximadamente. El rango altitudinal fluctúa entre los 2200 y 2500 m s.n.m., aproximadamente. La categoría 9 se distingue por presentar suelos tipo franco arenoso, con pH medianamente ácido (6,4), mientras que la categoría 11 con suelos arcillosos, con pH ligeramente ácidos (7,15) y la categoría 7 presenta suelos tipo Franco limoso con pH medianamente ácido (5,6) y con contenido de carbono orgánico entre bajo y muy bajo con una media de 1.27% (Tabla 3).

3.3.2 Caracterización ecogeográfica de la jícama en Ecuador

El análisis de conglomerados estuvo determinado por 17 variables ecogeográficas, las mismas que permitieron la conformación de cuatro grupos. Los grupos identificados se integran a una distancia máxima de 4,44; el grupo 1 está conformado por 35 accesiones, el grupo 2 por ocho accesiones, por su parte el grupo tres por 16 accesiones y finalmente el grupo 4 por 21 accesiones. Dentro de cada grupo es posible encontrar germoplasma en ambientes iguales, siendo la distancia de similitud igual a cero (Figura 2).

El germoplasma que proviene de Azuay y Loja que representan el 56,2% del total de la colección, está distribuido en cuatro grupos ecogeográficos. Las accesiones de la provincia de Bolívar integran los grupos 1 y 4, mientras que de las otras provincias de Cotopaxi se conglomeran en el grupo 1, por su parte, en el grupo 3 integra accesiones que proceden de las provincias de Cañar y Azuay, el resto de las provincias (Carchi, Imbabura, Pichincha y Chimborazo) se conglomeran hacia el grupo 4, siendo este el que dispone de mayor variabilidad de agroecosistemas donde la jícama se ha ido adaptando (Figura 2).

3.3.3 Variabilidad ecogeográfica identificada en grupos de accesiones de la colección de jícama

3.3.3.1 Variabilidad bioclimática

Los resultados obtenidos en grupos ecogeográficos evidencian diferencias en el grado de variabilidad reflejada en el coeficiente de variación promedio (Tabla 4). Las variables que presentaron mayor heterogeneidad en cuanto a las condiciones climáticas fueron la precipitación del mes de julio (55,74%), precipitación del cuarto más seco (39,39%) y la precipitación de febrero (35,31%). Estas variables resultaron ser significativas para la diferenciación entre grupos (P -valor <0,005). Las variables relacionadas con la temperatura presentaron un CV menor a 20%.

Se identificó que cinco variables cuantitativas resultaron no ser significativas para la diferenciación de agroecosistemas entre los grupos conformados, lo que implica que los entornos en el cual se desarrolla la jícama presentan rangos de precipitación anual de 827 mm, en meses secos como junio el rango de precipitación bordea los 39 mm y para el mes de diciembre es de 72 mm. Respecto a los rangos de temperatura media anual y temperatura del mes más cálido bordean los 13 °C (Tabla 4).

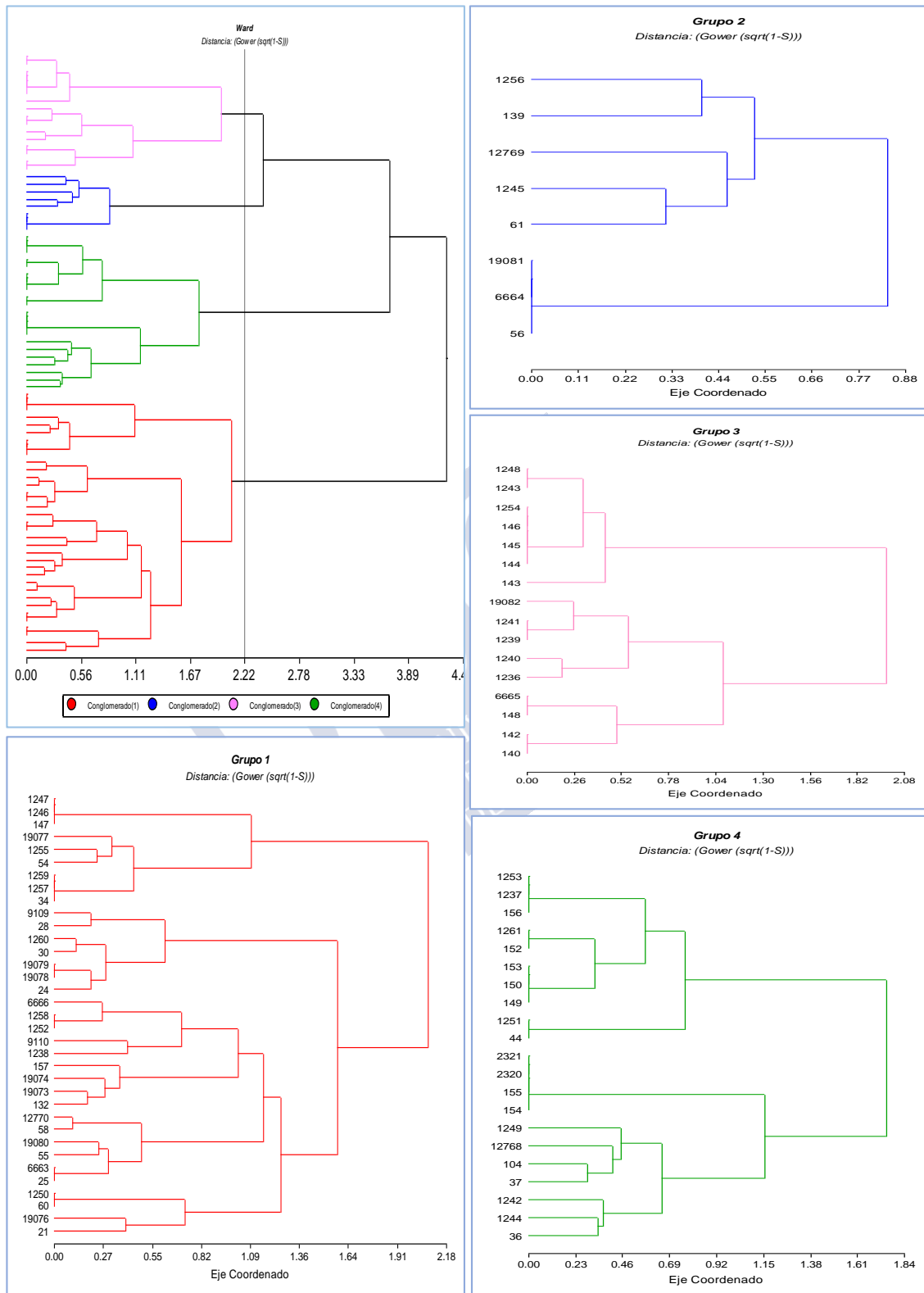


Figura 2. Dendrograma obtenido de 80 accesiones de jícama, basado en variables ecogeográfica.

Tabla 4. Valores promedio para caracteres bioclimáticos en tres grupos conformados para el cultivo de jícama (*Smallanthus sonchifolius*).

Variable	Media (80)	CV (%)	Grupo 1 (35)	Grupo 2 (8)	Grupo 3 (16)	Grupo 4 (21)	p-valor
Precipitación julio (mm)	28,63	55,74	27,86 ± 2,70 ab	33,50 ± 5,64 bc	39,19 ± 3,99 c	20,00 ± 3,48 a	0,0048*
Precipitación del cuarto más seco (mm)	90,58	39,39	85,77 ± 6,03 a	92,75 ± 12,61 ab	120,31 ± 8,92 b	75,10 ± 7,78 a	0,0024*
Precipitación febrero (mm)	107	35,31	113,11 ± 6,39 b	98,38 ± 13,36 ab	80,50 ± 9,46 a	120,29 ± 8,24 b	0,0115*
Precipitación del cuarto más húmedo (mm)	349,01	29,14	365,43 ± 17,19 b	314,25 ± 35,96 ab	292,19 ± 25,43 a	378,19 ± 22,19 b	0,0426*
Isotermalidad	85,53	2,87	87,14 ± 0,41 b	86,66 ± 0,87 b	83,25 ± 0,61 a	84,05 ± 0,54 a	0,0001*
Precipitación junio (mm)	39,66	36,44	36,51 ± 2,44 a	37,88 ± 5,11 ab	48,19 ± 3,61 b	39,10 ± 3,15 ab	0,0690
Precipitación diciembre (mm)	72,06	21,07	76,06 ± 2,57 a	69,38 ± 5,37 a	68,75 ± 3,80 a	68,95 ± 3,31 a	0,2383
Precipitación anual (mm)	827,34	16,73	838,89 ± 23,40 a	758,75 ± 48,94 a	810,19 ± 34,60 a	847,29 ± 30,20 a	0,4146
Temperatura media del mes más cálido (°C)	13,88	15,45	13,83 ± 0,36 ab	15,28 ± 0,76 b	13,89 ± 0,54 ab	13,44 ± 0,47 a	0,2419
Temperatura media anual (°C)	13,55	15,8	13,52 ± 0,36 a	14,90 ± 0,76 a	13,38 ± 0,54 a	13,20 ± 0,47 a	0,2881

Las variables relacionadas con la precipitación marcan diferencias estadísticas entre grupos. Así la precipitación de julio, que es uno de los meses más secos y que a su vez se relacionan con los tiempos de cosecha presenta un rango promedio de 29 mm, siendo los grupos 1 y 4 los que presentan valores más bajos, mientras que en los grupos 2 y 3 el rango de precipitación oscila entre 33 y 39 mm aproximadamente. Respecto a la precipitación de febrero, los valores menores a 100 mm se reportan en los grupos 2 y 3, mientras que en los grupos 1 y 4 el rango de precipitación oscila entre 110 y 120 mm aproximadamente. En cuanto a los rangos de precipitación del cuarto más seco (3 meses más secos) el rango promedio fue de 90,6 mm, siendo el grupo 3 el que presenta valores por encima de los 120 mm (Tabla 4).

Los valores de Isotermalidad presentan con rango anual de 85,5 y aunque la variación es baja (CV=2,9%), existe diferencias significativas, siendo los agroecosistemas del grupo 3 el que registra valores de 83,3 mientras que en el grupo 1 el valor promedio obtenido es de 87,1 siendo el mayor valor.

3.3.3.2 Variabilidad edáfica por grupos

En las variables edáficas, se identificó que el contenido de grava y carbono orgánico presentaron el mayor valor de coeficiente de variación con CV=65,5% y CV=57,5% respectivamente. Se identificó que el grupo 4 presenta suelos sin grava, mientras que las accesiones que integran el grupo 2 se desarrollan sobre suelos con 28% de grava, y que los grupos 1 y 3 presentan contenido de grava de alrededor de 3% (Tabla 5).

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) está asociada con la textura del suelo, valores altos de CIC indica un mayor potencial de un suelo para retener o intercambiar nutrientes, los grupos 2 y 3 presentan rangos muy altos de CIC con valores de 140 cmol(+) kg⁻¹ y de 61,50 cmol(+) kg⁻¹ respectivamente, mientras que los grupos 1 y 4 presentan valores entre 31 y 38 cmol(+) kg⁻¹ (Tabla 5).

Tabla 5. Valores promedio para caracteres edáficos en tres grupos conformados para el cultivo de jícama (*Smilax sonchifolius*).

Variable	Media (80)	CV (%)	Grupo 1 (35)	Grupo 2 (8)	Grupo 3 (16)	Grupo 4 (21)	p-valor
Contenido de Grava	4,83	65,5	3,37 ± 0,53 b	28,00 ± 1,12 c	2,75 ± 0,79 b	0,00 ± 0,69 a	0,0001
Carbono orgánico	1,42	57,46	2,11 ± 0,14 b	0,48 ± 0,29 a	1,07 ± 0,20 a	0,89 ± 0,18 a	0,0001
Capacidad de Intercambio Catiónico de arcilla en suelo	51,08	21,79	31,55 ± 2,00 a	140,00 ± 3,94 d	61,50 ± 2,78 c	38,10 ± 2,43 b	0,0001

Nota: *Medias con una letra diferente son significativamente diferentes (p < 0,05)

Respecto a las características de textura y pH de suelo resultaron ser dos variables que aportan a la diferenciación entre grupos (Tabla 6). Se aprecia que la jícama se adapta a variados ecosistemas, así destaca que las accesiones del grupo 1 se desarrollan en condiciones de suelo tipo franco (69%), franco arcilloso arenoso (17%) y franco arenoso (14%), son suelos con pH tipo ácido (91%). El grupo 2 presentan el 100% de los sitios de colecta suelos tipo franco arenoso, con pH ligeramente alcalinos.

Por su parte, las accesiones que integran el grupo 3, se desarrollan bien en suelos de tipo arcillosos, dentro de los cuales el 69% de las accesiones presentan suelos con un pH ligeramente alcalinos (69%) y en menor proporción existe suelos con pH tipo ácido y medianamente ácido. Finalmente, las accesiones que integran el grupo 4, presentan suelos tipo franco arenoso, con pH ligeramente ácidos (90%), aunque es posible encontrar suelos con pH medianamente ácido y prácticamente neutro (Figura 3).

Tabla 6. Caracteres cualitativos edáficos de mayor valor discriminante entre grupos de entradas de la colección de jícama.

Variables	Chi ²	Coef. (P)	Cramer (V)	P-valor
Textura	138,49	0,80	0,66	0,0001
pH suelo	135,35	0,79	0,65	0,0001

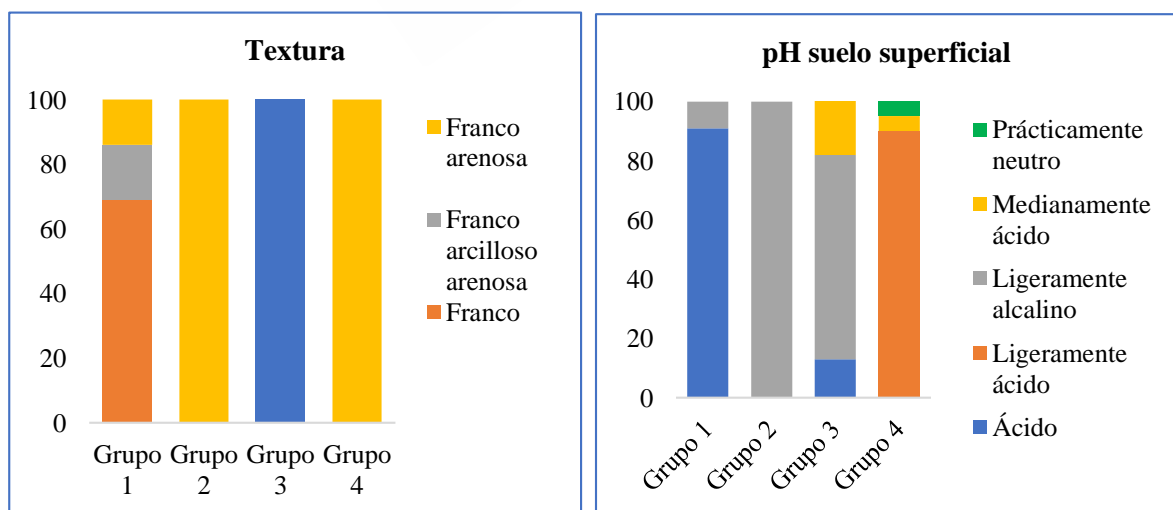


Figura 3. Características de textura y pH de suelo en grupos ecogeográficos de la colección de jícama.

3.3.3.3 Mapas de representatividad de la colección de jícama en el Ecuador

Con la finalidad de definir los vacíos en la colección de germoplasma conformada por 80 accesiones de jícama, se identificó primero el mapa ELC (Figura 4), con el cual se determinaron las categorías ecogeográficas para la Sierra. Mediante la herramienta Representa (RE) se clasificaron las categorías ecogeográficas por frecuencia de ocurrencia de la especie y por frecuencia de categoría del mapa ELC (Tabla 7).

La distribución de la jícama por frecuencia de ocurrencia de la especie se da principalmente en las categorías 9 y categoría 10, siendo las categorías con frecuencia de distribución media baja (24,5%) y alta (75,5%) respectivamente. Por su parte, en las categorías 5, 7 y 11 las frecuencias fueron nulas (Tabla 7 y Figura 4).

Respecto a las frecuencias de categoría en el mapa ELC, se identificó que una categoría presenta baja frecuencia de celdas en la categoría 7 con 10 celdas; dos categorías presentaron frecuencia media baja, destacando la categoría 9 con 144 celdas y la categoría 11 con 67 celdas; la categoría 5 presentó frecuencia media alta con 540 celdas y finalmente con alta frecuencia la categoría 10 con 1827 celdas (Tabla 7 y Figura 4).

Tabla 7. Frecuencias por especie y frecuencia en base al mapa ELC para cinco categorías definidas.

Categoría ecogeográfica	Clasificación frecuencia por ocurrencia de la especie	Clasificación por frecuencia de categoría en mapa ELC
5	Nula	Media alta
7	Nula	Baja
9	Media baja	Media baja
10	Alta	Alta
11	Nula	Media baja

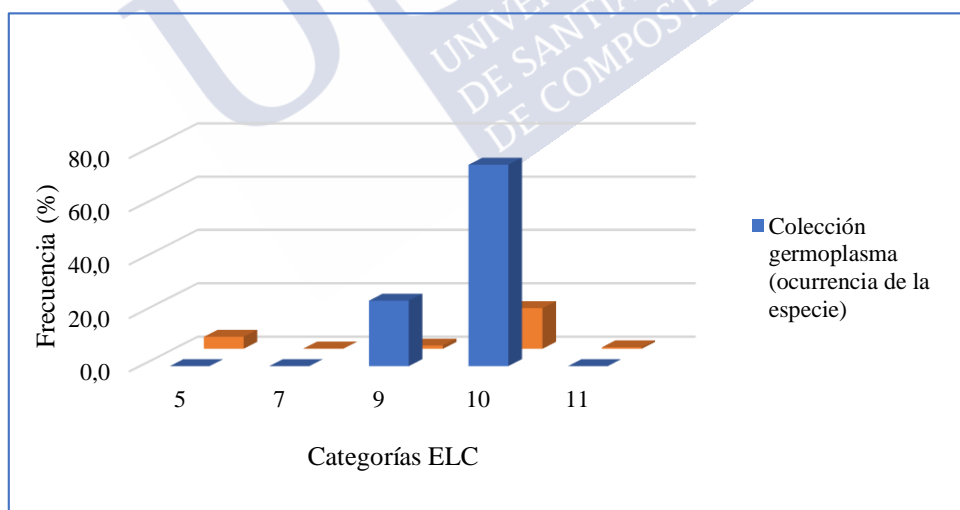


Figura 4. Comparación de la representación de cada categoría ELC en la colección de germoplasma de jícama y la disponibilidad total de dichas categorías en el mapa ELC, medida en valores de porcentaje.

3.3.3.4 El análisis de faltantes o vacíos

a) Por ocurrencia de la especie: La representatividad de una especie dentro de una colección de germoplasma se analiza a través de faltantes o vacíos, lo cual permite conocer los ambientes que están subrepresentados en la colección. La colección de jícama tiene una baja representación geográfica, por lo que con la finalidad de identificar sitios que sean de mayor

priorización, se eligió para la clasificación por ocurrencia de la especie las categorías con frecuencias nulas-bajas (valor 1) y media-baja (valor 2), identificando así, que los esfuerzos de colecta deben realizarse en 10 provincias de la Sierra ecuatoriana a excepción de la provincia de Loja (Figura 5, Anexo 5).

En la zona norte del país, las colectas deberían estar enfocadas en la provincia de Carchi, Imbabura, Pichincha. En la zona centro del país, las colectas deben ser realizadas en las provincias de Cotopaxi, Bolívar, Tungurahua, Chimborazo. Y finalmente en la parte sur del país, en la provincia de Cañar. La región andina presenta varias zonas de vida, dentro de las cuales es posible encontrar jícama en altitudes cercanas a los 1600 m s.n.m., precipitaciones de 1400 mm y temperaturas medias anuales de 19 °C aproximadamente, características que dan la posibilidad de encontrar áreas geográficas hacia las estribaciones orientales y occidentales respecto de la Cordillera de los Andes. Además, al ser la jícama una especie de amplia adaptación ecogeográfica, los posibles sitios de colecta estaría en la región Costa en dos provincias: Santo Domingo de los Tzáchilas y provincia de Los Ríos (Tabla 8, Figura 5).

Respecto a la región Amazónica, todas las provincias presentan áreas geográficas que podrían estar presentando agroecosistemas con potencialidad para la presencia de la jícama, así destaca la provincia de Sucumbíos, Napo, Pastaza, Morona Santiago y finalmente la provincia Zamora Chinchipe (Figura 5).

En cuanto a los vacíos de colecta con frecuencia u ocurrencia de la especie media baja, destacan dos provincias: Cañar y provincia de Azuay. Cabe recalcar que estas provincias reportan sitios de colecta, no obstante, existen áreas que requieren nuevas exploraciones.

b) Vacíos por frecuencias de categoría del mapa ELC: En lo referente a los vacíos de colecta según frecuencias de categoría del mapa ELC, se identificó que las frecuencias bajas (valor 1) y media baja (valor 2), corresponden a las categorías ecogeográficas 7, 9 y 11, zonas donde se deben hacer esfuerzos de colecta para mejorar la representatividad de la especie en estudio. Así, los esfuerzos de colecta deberían estar enfocados en las provincias de Carchi (categoría 7), Imbabura y estribaciones de la provincia de Esmeraldas (categoría 7 y 11), provincias de Bolívar, Chimborazo, Cañar, Azuay (categoría 9) y parte de la provincia de El Oro (Figura 6, Anexo 5).

En la provincia de Imbabura se identifica que el cantón Cotacachi es uno de los sitios que se requiere recolectar muestras de germoplasma para maximizar su representatividad, esto debido a que en este sector no existe colectas y a su vez es una de las categorías ecogeográficas que tiene una baja y media-baja representación ecogeográfica. Esto permitirá conocer tantas condiciones ambientales presentes en el área y determinar posteriormente la variabilidad existente en el territorio.

Algo similar ocurre en las provincias de Cañar y Azuay, que a pesar de que existe una baja-media representatividad de sitios de colecta, también existe una baja-media representatividad ecogeográfica, siendo igualmente necesario recolectar germoplasma en todas las poblaciones que componen la especie dentro de un territorio.

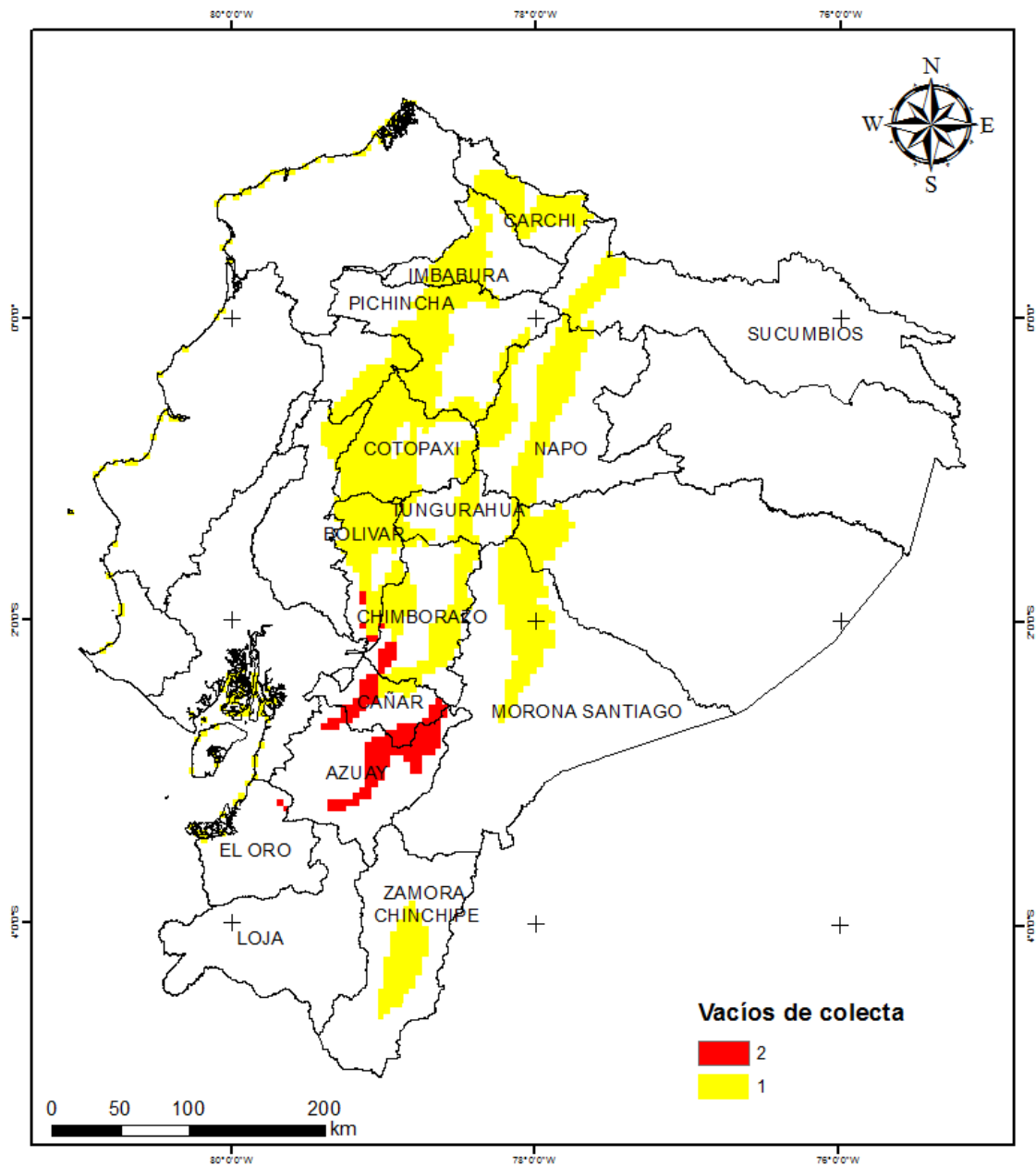


Figura 5. Sitios prioritizados de colecta con base a ocurrencia de la especie

NOTA: Los escenarios adaptativos menos frecuentes (grupos baja y media baja) aparecen con color amarillo y rojo respectivamente.

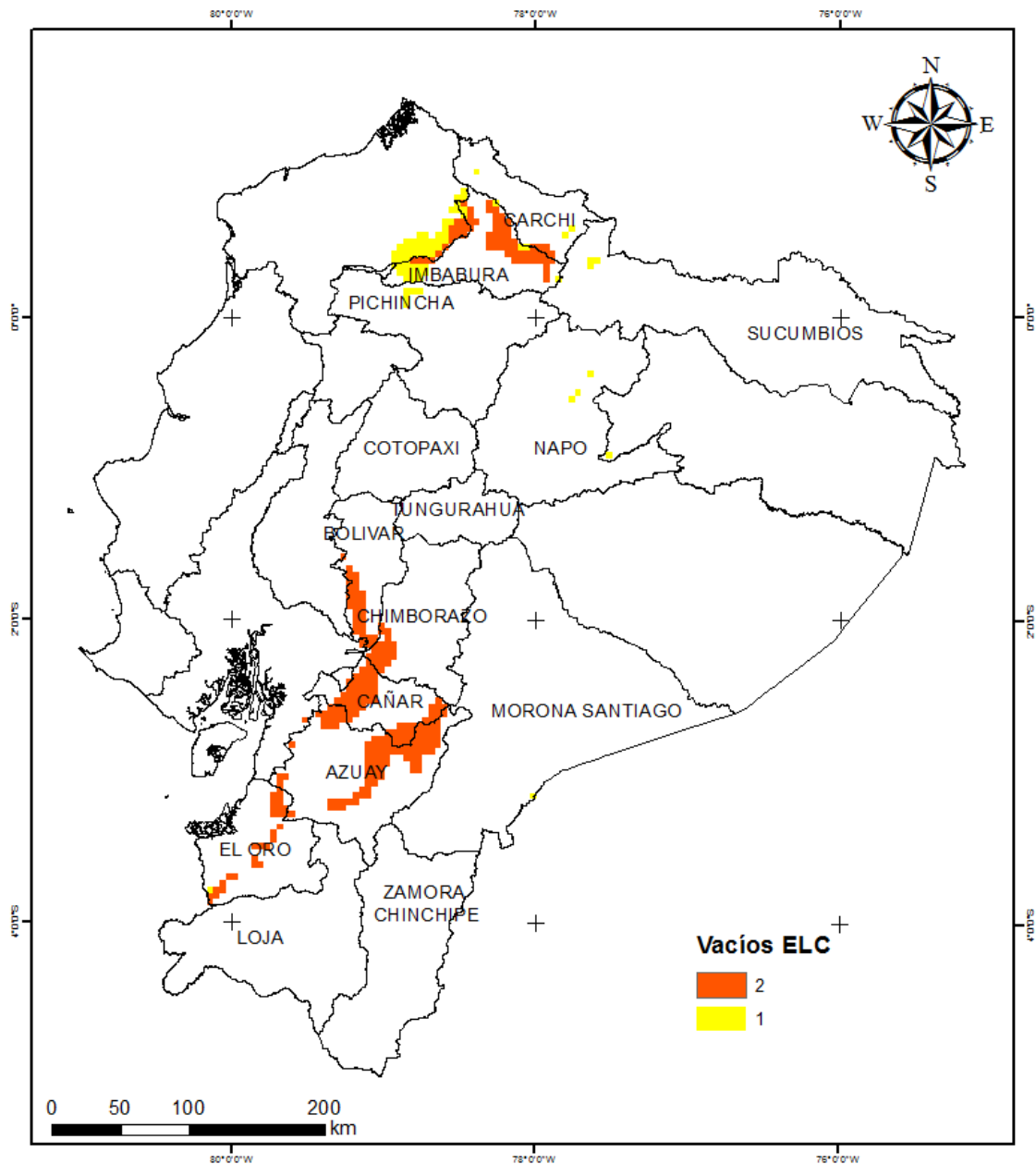


Figura 6. Sitios priorizados de colecta con base a frecuencia de la categoría ELC

NOTA: Los escenarios adaptativos menos frecuentes (grupos baja y media baja) aparecen con color amarillo y rojo respectivamente

3.4 DISCUSIÓN

3.4.1 Mapa ELC

Las constantes amenazas del cambio climático están causando cambios en factores climáticos como temperatura y precipitación, factores que inciden en la producción agrícola (Altieri y Nicholls, 2009). En este sentido, determinar escenarios potenciales para la especie, contribuirá no solo en la seguridad alimentaria sino a los procesos de conservación, mitigación y adaptación.

En este contexto, los estudios de ecogeográficos brindan información que permite determinar agroecosistemas potenciales, donde las estrategias de colecta, reintroducción y producción pueden presentar una alternativa viable para los productores y consumidores de este cultivo. Tres categorías ecogeográficas resultaron ser las menos frecuentes (7, 9 y 11) lo que implica que podrían ser escenarios adaptativos para la producción de la especie (Parra-Quijano *et al.*, 2015).

De acuerdo con el mapa ELC, la jícama presenta un amplio rango de distribución, no solo a nivel de la región andina, sino hacia las estribaciones de la región Amazónica y en una de las provincias de la región Costa. Estudios en Perú dan a conocer que este cultivo está ampliamente distribuido y se adapta bien a ecologías de costa, valles interandinos y selva alta (Valderrama, 2005; Cabrera *et al.*, 2019). Esta podría ser una de las razones de la amplia variabilidad morfológica representada en 10 morfotipos, siendo la zona centro y sur de ese país las más diversas, mientras que, en la zona norte del Perú, los materiales resultan ser más parecidos (Mansilla *et al.*, 2006). En Ecuador la variabilidad se concentra en el germoplasma proveniente del sur del país (Morillo, 2001).

Según Vidal (1996), las condiciones óptimas para el desarrollo de la jícama están entre los 1100 y 2500 m s.n.m., sin embargo, este cultivo ha demostrado tener una amplia adaptación en otros países. Así en países como Nueva Zelanda, Japón y Brasil la jícama se cultiva a partir de los 600 m s.n.m. (Grau, y Rea, 1997), siendo la mayor adaptación entre los 2400 y 3000 m s.n.m. (Seminario *et al.*, 2003). Sin embargo, según datos pasaporte de la colección de Ecuador, es posible encontrar jícama por sobre los 3000 m s.n.m. En Bolivia, los reportes mencionan que la mayor concentración de la especie está entre los 3200 y 3600 m s.n.m. y las más bajas a 880 m s.n.m. (Rea, 2004).

En Ecuador, la producción de jícama está distribuida en siete provincias de la Sierra ecuatoriana (Arrobo, 2013). Entre los escenarios o agroecosistemas idóneos para la jícama, destaca la provincia de El Oro, ubicada en el extremo sur occidental del Ecuador. Si bien esta provincia pertenece a la región Costa, parte del territorio provincial se localiza en las faldas de las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes, donde las elevaciones van desde los 200 hasta los 3590 m s.n.m. Además, existe en distintas condiciones de clima que le permiten disponer de una variada producción agrícola (Ollague *et al.*, 2019). Sin embargo, no existen datos de producción, salvo una iniciativa de producción de una bebida hidratante a base de jícama (Silva, 2018).

En la Sierra norte del país destaca la provincia de Imbabura por presentar tres categorías ecogeográficas. Una de ellas (categoría 11) está además presente en las estribaciones andinas de la provincia de Esmeraldas. Esta categoría presenta características ecogeográficas dentro de los parámetros bioclimáticos óptimos para la producción, como son la temperatura entre 14 y 20 °C y precipitación entre 550 y 1100 mm (Suquilanda, 2002; Valderrama, 2005). Aunque la jícama prefiere suelos profundos y sueltos (franco, arenosos) (Valderrama, 2005; Álvarez, *et al.*, 2012), esta categoría presenta suelos de textura media (franco limoso), suelos que son considerados muy favorables y equilibrados para la producción agrícola.

Si bien la jícama se cultiva en los valles interandinos de tipo mesotérmico, la capacidad adaptativa que tiene la jícama se ve reflejada no solo en condiciones de altitud, precipitación y temperatura, sino también en condiciones de suelo. En Ecuador cuatro categorías ecogeográficas presentan suelos francos de texturas moderadamente gruesa y texturas medianas, característica que también presenta Colombia y que según Polanco (2013) la jícama puede desarrollarse y tener una buena productividad siempre que se maneje un buen drenaje.

En la zona austral del país (Cañar y Azuay) destaca la presencia de la categoría 9 que, si bien presenta condiciones de precipitación y temperatura dentro de los rangos óptimos, presenta

condiciones de suelos pesados (arcillosos), que no son los recomendados porque acumulan mucha humedad y pueden causar enfermedades radicales, afectando así la producción (Álvarez *et al.*, 2012). Cabe recalcar, que en esta zona del país se ha colectado el 28% del germoplasma. Las características ecogeográficas de la zona sur del país, podrían estar relacionadas con la presencia de variabilidad y que está representada por cuatro morfotipos (Morillo, 1998).

Destaca la categoría 5 por estar distribuida en varias provincias de la región Amazónica. Las características bioclimáticas, edáficas y biofísicas de esta categoría dan opción a establecer nuevos escenarios para la producción. Una característica para destacar es el rango altitudinal cercano a los 1400 m nsm, siendo el valor más bajo en comparación con los datos de colecta del INIAP. Respecto a la precipitación, se considera como rango óptimo valores entre los 600 y 1000 mm (Grau y Rea, 1997; Seminario *et al.*, 2003; Valderrama *et al.*, 2005). Sin embargo, esta categoría registra valores similares a los reportados por Polanco (2013), quien evaluó germoplasma en altitudes de 1460 m s.n.m., una temperatura promedio de 21 °C, precipitación de 2200 mm año⁻¹, características similares a la categoría 5.

Es importante destacar que la categoría 5, posee suelos francos de textura mediana, lo que le da cierta ventaja ya que la jícama tiene mejor desarrollo en suelos sueltos y suelos recientemente incorporados a la agricultura o descansos (Valderrama, 2005). Según Seminario *et al.* (2003) suelos de bosque son excelentes para la producción y crece bien bajo sombra de árboles y arbustos, pero también a pleno sol, siendo una opción de manejo el incorporar la especie en sistemas de agroforestales. Así lo recomiendan Lorepa *et al.* (2020) quienes consideran que los diseños propuestos para las condiciones de trópico alto deberían estar bajo el manejo de bancos mixtos de forrajes, sistemas silvopastoriles intensivos, setos forrajeros y corredores de conectividad, entre otros.

3.4.2 Caracterización ecogeográfica

Los grupos ecogeográficos identificados en la colección de jícama del Ecuador, determinan que son relativamente independientes a pesar de que el 56% de la colección proviene de dos provincias (Azuay y Loja). Además, dentro de cada grupo se identifican accesiones con similares agroecosistemas. Sin embargo, esto no implica que sean los mismos morfotipos.

Las variables cuantitativas que más contribuyeron a la diferenciación de grupos ecogeográficos están relacionadas con la precipitación (febrero, julio, mes más seco, mes más húmedo) y la isothermalidad. Comparado nuestros resultados con el estudio de Vitali y Katinas (2015) se determinó que en *Smallanthus macroscyphus* la estacionalidad de las precipitaciones y en *S. connatus* la temperatura promedio del mes más frío son factores que limitan la distribución de las especies, siendo necesario considerar estos factores al momento de planificar áreas para el cultivo.

La precipitación total anual no es una variable discriminante debido a que presentan valores similares en cada grupo respecto de la media, lo que implica que existen condiciones idóneas para el desarrollo del cultivo en cualquier área geográfica de la región andina. A nivel de conglomerados, la diferencia está marcada por la estacionalidad de la precipitación, siendo la precipitación del cuarto más húmedo (3 meses más lluviosos) la que marca diferencia entre grupos, siendo el grupo 3 el que registra rangos inferiores a 300 mm.

Para Grau y Rea (1997) en países como Bolivia, la producción de jícama se da bien en rangos entre 300 y 600 mm, valores inferiores a los estimados como óptimos en Ecuador (Álvarez *et al.*, 2012). Cabe recalcar que, en Ecuador las épocas de lluvia están distribuidas en dos estaciones lluviosas que se dan de octubre a noviembre (más liviana y menos abundante) y de febrero a marzo (muy intensas y copiosa) (Portilla, 2018) y coinciden con tiempos de siembra y floración de varios cultivos incluido la jícama.

Otra de las variables que marca diferencia entre grupos está relacionada con la precipitación del cuarto más seco (3 meses más secos). Las accesiones del grupo 1 procedentes de la zona sur del país, registran los valores más bajos de esta variable con respecto a los otros grupos. Sin embargo, estos valores no son limitantes para la producción. Así lo mencionan Álvarez *et al.* (2012) quienes reportan que el cultivo presenta buenas condiciones y alta producción en el sector La Argelia (Loja) bajo condiciones de precipitación de 50,5 mm para los meses secos (agosto-noviembre) y de 140,8 mm para los meses de febrero-mayo.

La jícama por tratarse de un cultivo rústico puede sobrevivir durante largos periodos de sequía. No obstante, la productividad puede verse afectada significativamente (Grau y Rea, 1997; Álvarez *et al.*, 2012), por lo que una opción sería manejar sistemas de riego y dotar de agua uniforme y frecuente para favorecer la tuberización (Valderrama, 2005).

Otro factor climático que afecta la distribución y diferenciación entre grupos ecogeográficos de la especie es la isothermalidad, que indica cuán grande es la oscilación de temperatura día-noche en comparación con la oscilación época seca y época lluviosa (verano-invierno). En los grupos ecogeográficos existe valores entre 80 y 90, para Willams (2007) un valor de 100 representa un sitio donde el rango de temperatura diurna es igual al rango de temperatura anual, un valor de 50 indica un lugar donde el rango diurno de temperatura es la mitad del rango anual de temperatura.

Las condiciones agroecológicas donde se desarrolla la jícama muestran que esta especie tolera rangos de temperatura desde 10 °C hasta 25 °C (Valderrama, 2005), temperaturas identificadas en los sitios geográficos donde la jícama fue colectada en Ecuador. Cabe recalcar que, según zonas geográficas de colecta de la jícama, la provincia de Loja presenta una temperatura media de 18,1 °C, valores altos en comparación con las otras provincias. Por el contrario, Grau y Rea (1997) y Valderrama (2005) recomiendan no sembrar en zonas con temperaturas inferiores a 10 °C, ya que tiene un efecto en el ciclo vegetativo y daños en el follaje. Sin embargo, existe ocho accesiones pertenecientes a las provincias de Carchi, Imbabura, Cotopaxi, Azuay y Bolívar donde se registra rangos de temperatura con un promedio de 10,8 °C, por lo que sería de interés determinar el potencial productivo de este germoplasma.

El desarrollo de las plantas de jícama depende de los termo periodos y precipitaciones, más que de la fertilidad de los suelos. Esta especie se adapta a una gran variedad de suelos, con buenos contenidos de materia orgánica, moderadamente profundos y sueltos tipo franco, franco arenoso, franco limo arenosos, o franco arcillo arenoso (Rea, 2004; Valderrama, 2005). Todas estas características de suelo se aprecian en los sitios de colecta de la colección de germoplasma del INIAP, lo cual demuestra la capacidad de adaptación que tiene la especie. Por el contrario, los suelos arcillosos (pesados) no son recomendados por la acumulación de humedad y enfermedades radicales que afectan la producción (Álvarez *et al.*, 2012). Sin embargo, el 20% de las accesiones (grupo 3) se desarrollan bajo estas condiciones de suelo.

En lo que concierne al contenido de carbono orgánico, esta es una variable que diferencia grupos ecogeográficos de jícama. Se ha encontrado que el cultivo crece en suelos con bajo y muy bajo contenido de carbono orgánico. Este tipo de suelos son característicos de la zona andina debido a la excesiva intensidad de labranza, lo que a su vez se asocia con la baja productividad y erosión del suelo (Martínez *et al.*, 2008).

En cuanto al contenido de grava, es decir la pedregosidad, el grupo 2 presenta un porcentaje más alto respecto a los otros grupos. Estudios ecogeográfico desarrollado en tres cultivos andinos (oca, mashua y melloco) del Ecuador se identificó que estos tubérculos se desarrollan en suelos con y sin contenido de grava (Naranjo, 2017). Sin embargo, no existe información que determine el efecto de esta variable en el desarrollo y producción de jícama, aunque se conoce que suelos rocosos y muy rocosos interfieren o impiden el desarrollo del cultivo.

En lo referente al pH del suelo, para Valderrama (2005) el pH ideal para la jícama se ubica entre 6,0 y 7,5 (ligeramente ácido y prácticamente neutro). Otros autores consideran que el rango de pH que soporta la jícama es hasta 8,0 (ligeramente alcalino) (Grau y Rea, 1997; Polanco, 2013). En los grupos ecogeográficos las accesiones evaluadas presentan variados rangos de pH. Sin embargo, el 42,5% de las accesiones distribuidas en los grupos 1 y 2 se desarrollan en suelos con pH ácidos, y un 23% en suelos con pH ligeramente ácidos, suelos que son característicos de la región Sierra (1500-3840 m s.n.m.) (García *et al.*, 2012).

Para Naranjo *et al.* (2018), los suelos ácidos provocan un débil desarrollo del sistema radical, reduciendo la absorción de agua, nutrientes y por ende el crecimiento de la planta. Así lo confirma Nieto (1991) quien determinó que el rendimiento promedio de 10 líneas de jícama sembradas en suelos con pH 5,4 y suelos franco limoso fue de 41,5 Mg ha⁻¹ para raíces tuberosas, lo que implica que la jícama puede desarrollarse en suelos ácidos, aunque su producción es baja

Por su parte Lopera-Marín *et al.* (2020) determinaron que el rendimiento de la jícama en suelos con pendientes (> 45%) y limitaciones químicas como acidez del suelo (5,2) y sin fertilización, obtuvieron un rendimiento forrajero en base fresca (tubérculos, tallos y hojas) de 368 Mg ha⁻¹ año⁻¹, dentro de los cuales el 70% equivale a rendimiento de la raíz tuberosa (147 Mg ha⁻¹ año⁻¹). Sin embargo, el rendimiento de jícama varía acorde a las condiciones agroclimáticas y tipo de manejo, llegando a producir desde 10 hasta 100 Mg ha⁻¹ año⁻¹ (Grau y Rea, 1997; Seminario *et al.*, 2003).

3.4.3 Vacíos de colecta

La identificación de escenarios de adaptación o agroecosistemas donde se desarrolla la jícama ha mostrado áreas potenciales, donde la población aún no ha sido hallada pero que cumple con los requerimientos ecológicos para la especie. De este modo, es posible ampliar el área potencial de distribución y/o adaptación, con lo que se puede establecer estrategias de conservación y promover la producción de la especie a nivel de país. Para Parra-Quijano *et al.* (2015) la representatividad ecogeográfica plantea la posibilidad de usar mapas de caracterización ecogeográfica del territorio, con lo cual se puede conocer tantas condiciones ambientales existentes en un marco espacial que representen una colección de germoplasma.

Si bien la jícama es una especie ampliamente distribuida en Ecuador, que se adapta fácilmente a ecologías de costa, valles interandinos y alta montaña hasta los 3500 m s.n.m. (Valderrama, 2005; Álvarez *et al.*, 2012), el 85% de las accesiones fueron colectadas en provincias del sur del país (Cañar, Bolívar, Azuay y Loja). Sin embargo, en las zonas que son consideradas con mayor tradición del cultivo (sierra norte y central) está representada con el 15% de la colección, por lo que las estrategias de colecta deberían enfocarse hacia estas provincias. Para Jarvis *et al.* (2008) estos mapas permiten saber si el germoplasma puede adaptarse a condiciones ambientales específicas, aspectos claves para la adaptación de la agricultura al cambio climático. Así por ejemplo, Parra-Quijano *et al.* (2011) demostró que los mapas ELC reflejaron escenarios adaptativos para seis de ocho especies de *Lupinus* en España.

Dentro de las categorías ecogeográficas identificadas en el mapa ELC, reflejó a la provincia de Imbabura como uno de los escenarios donde se debe ampliar el número de colectas para representar la categoría ecogeográfica N°11, siendo los sitios prioritarios los cantones Ibarra, San Miguel de Urcoquí y Pimampiro. Según datos del Gobierno Autónomo de Imbabura (2015) los cantones en mención presentan climas de tipo ecuatorial mesotérmico semi húmedo, con temperaturas que van de los 10 a 20 °C, precipitaciones entre 1000 y 2000 mm y altitudes desde los 1600 hasta los 3000 m s.n.m., condiciones que resultan ser idóneas para el desarrollo del cultivo.

Estudios de georreferenciación desarrollados por Yépez (2016), determinaron que la mayor producción de jícama en 42 comunidades de la provincia de Imbabura se da bajo un sistema de agricultura familiar (cantones Otavalo y Cotacachi), donde el 59% de los sitios georreferenciados presentan todas las características climáticas óptimas para el desarrollo del cultivo (2601-2900 m s.n.m.; 12-22 °C; 1000-1250 mm; suelos franco arenoso), mientras que 41% del territorio evaluado presenta cierta limitación, sin embargo, los agricultores manejan sistemas de asociación con otros cultivos, principalmente porque la jícama es un cultivo de subsistencia más que comercialización.

Por su parte, la provincia de Esmeraldas, también se aprecia dos zonas geográficas con baja y media baja representatividad ecogeográfica, los cantones de San Lorenzo y Eloy Alfaro. Esta última forma parte integrante de la macro región del Chocó, reconocida por ser un “*Hot Spots*” o “*Punto Caliente*” de biodiversidad. En este territorio los rangos altitudinales van desde el nivel del mar hasta los 3400 m s.n.m. Esta variación altitudinal también influye en la temperatura, así las parroquias que están hacia las estribaciones de la cordillera occidental presentan rangos de temperatura entre 14 y 22 °C, condiciones que dan apertura a la presencia de jícama en la zona (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Eloy Alfaro, 2015). Además, este cantón se caracteriza por actividades agrícola variadas como es la producción banano, cítricos, yuca, ganadería de carne e industria forestal.

En el centro sur, pese a que se concentra la mayor cantidad de muestras colectadas existen áreas que deberían ser exploradas para la identificación de germoplasma. La provincia del El Oro (región Costa) que como se mencionó en secciones previas es una provincia con potencialidad agrícola, y donde existe condiciones climáticas favorables para la presencia del cultivo, la presencia de la jícama podría ampliar el rango geográfico de la especie. Sin embargo, es necesario que las investigaciones se centren en evaluar la adaptación de la especie y la técnica de cultivo más apropiado que permita convertirse en un rubro con impacto económico, social y ambiental para este territorio.

La respuesta de la jícama a variables bioclimáticas, edáficas y biofísicas definen los requerimientos ecológicos altos (estenoicas) o bajos (euricoicas) que afectan la distribución geográfica alta (euricoras) o restringidas (estenocoras). La jícama permitió corroborar lo expuesto por varios autores (Grau y Rea, 1997; Seminario *et al.*, 2003; Valderrama, 2005) quienes afirman que es una especie con amplia distribución ecológica, exigente a ciertos factores bioclimáticos más que edáficos.

Sin embargo, no todas las especies *Smallanthus* funcionan bajo la misma premisa, así por ejemplo, especies como *S. macroscyphus* y *S. connatus* en países como Argentina presentan una distribución actual y potencial bastante restringida, identificando que factores como la temperatura y las sequías, son limitantes para su distribución. Comparado con Ecuador la variación de climas se da en dos estaciones (secas y lluviosas, abundantes y esporádicas). Sin embargo, de los sitios identificados como escenarios óptimos ninguno registra temperaturas invernales con heladas. Estos resultados resultan ser relevantes para establecer estrategias de conservación, manejo y uso de la jícama en el Ecuador, además, es importante verificar la presencia de parientes silvestres ya que son fuente importante de genes.

Finalmente, el usar los mapas de caracterización ecogeográfica en el territorio permite ampliar y decidir sobre las áreas en las que hay que dar mayor énfasis en cuanto a colectas y sitios estratégicos de adaptación y distribución de la jícama. Así por ejemplo se destaca la provincia de Imbabura, cantón Cotacachi, territorio que es considerado como un microcentro de diversidad, no solo por la diversidad cultural del territorio sino por la agrobiodiversidad existente, donde se destaca la presencia de 12 razas de maíz y que representa el 41% de la diversidad reportada en el Ecuador (Tapia *et al.*, 2017).

3.5 CONCLUSIONES

- Las variables climáticas como temperatura y precipitación resultaron ser las de mayor contribución a la diferenciación entre grupos ecogeográficos. Estas variables identifican que el germoplasma que procede de la zona sur del país (Loja) son las que se han adaptado a temperaturas cercanas a los 20 °C, esto podría dar respuesta a la selección de germoplasma con fines de mejoramiento.
- Si bien la jícama presenta un amplio rango de adaptación a características edáficas, bioclimáticas y biofísicas, los escenarios planteados proporcionan hipótesis sobre la distribución de esta, siendo necesario elegir regiones con potencialidad para el cultivo y a partir de ellos establecer estrategias de conservación.



CAPÍTULO 4.

ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD MORFOAGRONÓMICA Y ECOGEORÁFICA DE MISO (*Mirabilis expansa* Ruiz & Pav. Standley.) EN EL ECUADOR

4.1 INTRODUCCIÓN

La región andina se ha caracterizado por presentar una amplia diversidad de cultivos alimenticios que fueron domesticados por miles de años entre los que destaca el Miso. La Mauka o miso (*Mirabilis expansa* (Ruiz & Pav.) Standley.), es una Nyctaginacea tuberosa nativa de los Andes sudamericanos. Es una especie cultivada desde Argentina, Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela siendo introducida en Nueva Zelanda (National Research Council, 1989; Seminario y Valderrama, 2012).

Dentro del grupo de raíces andinas el miso es una de las especies más olvidadas o desplazada por otros cultivos. Las formas de cultivo más común son pocas plantas alrededor de otros cultivos o en asociación con maíz (*Zea mays* L.), frijol o judía (*Phaseolus vulgaris* L.), zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.), jícama (*Smallanthus sonchifolius* H. R.), papa (*Solanum tuberosum* L.) entre otros cultivos. En los huertos familiares se asocia a diversas hortalizas, encontrándose además en mezcla con especies arvenses en terrenos en barbecho (Seminario, 2003).

El producto estrella del miso es la raíz, también conocida como “yuca andina”, presenta varios morfotipos que difieren por su color, forma y sabor de la raíz. El miso es una planta perenne, herbácea baja y compacta que no excede el metro de altura. Es un cultivo relativamente resistente a plagas y enfermedades que produce raíces comestibles. Morfológicamente, presenta tallos cilíndricos, lisos y suaves, con entrenudos cortos y claros de color verde con marcas rojizas. Las hojas son ovaladas y pecioladas, algo coriáceas presentando nerviaciones y bordes con áreas rojizas. Las inflorescencias son racimos terminales, de 3 - 6 cm de longitud, cubierta de pelos en los que con frecuencia se puede apreciar la presencia de insectos pequeños adheridos a los mismos. Las flores son de color blanco o púrpura, siendo las semillas pequeñas y de color marrón oscuro (Hernández y León, 1992; Franco *et al.*, 1987 citado por Seminario *et al.*, 2003).

Respecto a las condiciones climáticas en las que se desarrolla presenta un rango promedio de temperatura óptimo es de 13,5 °C, con una temperatura máxima de 25 °C y mínima de 5 °C. La precipitación media total anual en la que se desarrolla es de 680 mm. Prefiere suelos con pH cercano a neutro, textura media, profundos y prospera bien en suelos franco arenoso, con buena cantidad de materia orgánica (Seminario, 2003).

El miso se desarrolla bien en altitudes que van desde los 2000 a 3000 m s.n.m. en épocas libre de heladas (Tapia y Fries, 2007). Otros autores mencionan que el miso se desarrolla a partir de los 2700 a los 3500 m s.n.m. (Hernández y León 1994) e incluso hasta los 4300 m s.n.m., obteniéndose la mejor producción sobre los 3000 m s.n.m. con un máximo de 30 Mg ha⁻¹ (Mujica *et al.*, 2001; Flores *et al.*, 2003).

Dentro de las potencialidades del cultivo, el miso presenta una proteína inactivadora de ribosomas (RIPs) que muestra actividad antifúngica y antibacteriana (Vivanco *et al.*, 1999).

Desde una perspectiva nutritiva, es una especie con potencialidad tanto para el consumo humano como animal. El follaje puede llegar a contener hasta un 4% de proteína en fresco que supone un 17% en base seca, siendo un importante forraje par las especies animales como ovinos, vacunos y animales menores. Los valores de consumo, digestibilidad y conversión alimenticia en conejos (*Oryctolagus cuniculus* L.), son similares a los valores de la mezcla de ryegras (*Lolium multiflorum* L.) y trébol (*Trifolium repens* L.) (Bazán *et al.*, 1996, citado por Seminario y Valderrama, 2012).

La parte principal de uso son las raíces, que son fuente de carbohidratos, y contiene importantes niveles de proteína y fósforo (Tapia *et al.*, 2004). Sin embargo, el miso contiene principios astringentes (por la presencia de Oxalato de calcio) que limitan su consumo. Estos principios se eliminan tras la exposición de las raíces al sol hasta que cambian de coloración amarillenta (Seminario, 1993). Por todo ello, el miso constituye una excelente alternativa alimentaria para poblaciones altoandinas, en donde la ingesta de estos nutrientes es escasa (Seminario y Valderrama, 2012).

Los estudios de diversidad del miso en Ecuador datan de los años noventa. La investigación desarrollada por Morillo (1996) sobre 11 muestras colectadas en dos provincias ecuatorianas (Cotopaxi y Pichincha) identificó dos morfotipos: el morfotipo blanco, con hábito de crecimiento decumbente, tallos verdes, con raíces cremas o crema amarillento, pulpa amarilla o blanca, y el morfotipo violeta con hábitos muy decumbentes, tallos violetas, raíces de color crema o amarillento y pulpa blanca. Según Muenala (2019) en la zona norte del país (Pichincha e Imbabura) identificó dos morfotipos, que se diferencian por el color de la pulpa (blanco y amarillo claro).

En los últimos años se ha dado énfasis a la conservación de tubérculos andinos como la papa (*Solanum tuberosum* L.), melloco (*Ullucus tuberosus* C.), oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) y mashua (*Tropaeolum tuberosum* R. y P.), cultivos con alta productividad y cuyo uso está relacionado con aspectos socio-culturales, que a la vez fortalece la conservación, producción y uso de esta diversidad, así como la identificación de sitios que muestran patrones de adaptación al cambio climático. El desarrollado metodologías con el uso de sistemas de información geográfica (SIG) junto con datos ambientales, han permitido caracterizar áreas geográficas (Parra-Quijano *et al.*, 2015). Así el estudio de Naranjo (2018) en tubérculos andinos (melloco, oca y mashua) permitieron identificar condiciones limitantes favorables de adaptación, además de materiales con tolerancia a condiciones de estrés abiótico.

Este estudio presenta tres objetivos enfocados en: (1) determinar la variabilidad morfológica mediante la aplicación de descriptores cualitativos y cuantitativos; (2) analizar la variabilidad climática, edáfica y geofísica para la distribución del miso en la Sierra ecuatoriana; y (3) identificar categorías ecogeográficas que definen escenarios de adaptación del miso en Ecuador.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Material genético

Se evaluaron 30 accesiones colectadas en el período 1987 y entre el 2015-2016, para lo cual se definieron los sitios de colecta considerando datos del pasaporte registrados por el Banco de Germoplasma del INIAP y que coinciden con las épocas de cosecha e información otorgada por agricultores del país. Se colectó germoplasma de tres provincias ecuatorianas (Cotopaxi, Pichincha e Imbabura), en altitudes comprendidas desde los 2470 hasta los 3185 m s.n.m. (Tabla 1, Anexo 1).

Tabla 1. Número de accesiones de miso (*Mirabilis expansa*) procedentes del Banco de Germoplasma del INIAP

Provincia	Número de accesiones	Rango altitudinal (m s.n.m.)
Imbabura	3	2677-2840
Pichincha	6	2671-2817
Cotopaxi	21	2470-3185

4.2.2 Caracterización morfoagronómica del miso

4.2.2.1 Diseño experimental

Para la caracterización morfológica, las accesiones fueron ubicadas en campo bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con 15 plantas por accesión, cada planta fue considerada como réplica de la accesión. Sin embargo, solo se evaluaron 10 plantas para eliminar el efecto de borde.

4.2.2.2 Características del sitio

El miso es considerando como una especie estrechamente ligada al medio andino, la colección se ubicó en los campos de la Granja Experimental “La Pradera” de la Universidad Técnica del Norte. La granja está situada en la parroquia San José de Chaltura, cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura (Ecuador, 0°21'32,37" N de latitud y 78°12'14,95" O de longitud) a 2267 m s.n.m. La temperatura oscila entre 14 y 18 °C, con una pluviosidad entre 500 y 750 mm anuales (Gobierno Autónomo Descentralizado de Antonio Ante, 2019).

4.2.2.3 Manejo agronómico

El germoplasma se sembró y evaluó en una campaña agrícola. Se sembró un surco por cada accesión, con brotes basales de tallo, a una distancia de 1 metro entre planta y 1 metro entre surcos. Se aplicó humus de lombriz a razón de 5 Mg ha⁻¹ (Seminario y Valderrama, 2012), y se realizó el manejo agronómico acorde a las necesidades del cultivo, que consistió en deshierbas a los 30 días después de la siembra y a los 4 meses. Al ser una especie rústica, no hubo necesidad de aplicar productos para el control de plagas o enfermedades. Aunque la cosecha puede darse a partir de los 7 meses (Seminario, 2004a), se optó por realizar la cosecha al año de haber sido sembrada, esto tomando como referencia el manejo que realiza el agricultor en campo.

4.2.2.4 Caracterización de germoplasma

Para la caracterización de germoplasma se usaron 19 descriptores (nueve cuantitativos, 10 cualitativos) validados y estandarizados por especialistas de Ecuador, Perú y Bolivia (Morillo, 1998; Seminario y Valderrama, 2012). Los datos de la hoja, tallo y color de flor se midieron a los seis meses, los datos de raíz se los tomó en el momento de la cosecha cuando el cultivo cumplió los 12 meses de haber sido sembrado. Para registrar el color de tejidos vegetales se utilizó la tabla de colores Munsell (Tabla 2).

Tabla 2. Descriptores cualitativos y cuantitativos usados para caracterizar la colección de miso (*Mirabilis expansa*) del Ecuador.

Descriptores cualitativos			Descriptores cuantitativos	
Cod	Carácter	Estado	Cod	Carácter
HC	Hábito de crecimiento	1. Decumbente 2. Muy decumbente	CP	Cobertura de la planta (cm)
CTPA	Color de tallo principal aéreo	1. Verde amarillento grisáceo (2.5GY6/2; 2.5GY7/2) 2. Verde amarillento fuerte (5GY6/4; 5GY7/10; 5GY7/8)	LTC	Longitud del tallo central (cm)
CTR	Color del tallo al raspar	1. Verde amarillento grisáceo 2. Verde amarillento fuerte	LH	Largo de la hoja (cm)
CFL	Color de la flor	1. Blanco 2. Magenta (5RP3/10; 5RP3/8; 5RP4/12)	AH	Ancho de la hoja
CHH	Color del haz de la hoja	1. Verde amarillento claro (7.5GY8/4; 7.5GY8/6) 2. Verde amarillento fuerte (5GY6/4; 5GY5/6) 3. Verde (7.5GY6/10; 7.5GY6/8)	NNT	Número de nudos de tallo
PCSH	Presencia de color secundario en la hoja	0. Ausente 1. Presente	RTO	Rendimiento raíz en fresco (kg/planta)
FH	Forma de la hoja	0. Cordada 1. Ovada	NRU	Número de raíces útiles por planta
CER	Color de la epidermis de la raíz	1. Anaranjado (7.5YR5/6) 2. Amarillo (2.5Y7/6; 2.5Y8/6) 3. Amarillo fuerte (2.5Y8/10) 4. Marrón pálido (2.5Y7/4; 2.5Y8/2)	LPR	Largo promedio de las raíces
CRR	Color de la raíz al raspar	1. Anaranjado 2. Amarillo 3. Amarillo fuerte 4. Marrón amarillento	DPRU	Diámetro promedio de las raíces útiles
CP	Color de la pulpa	1. Blanco 2. Amarillo fuerte 3. Marrón pálido 4. Amarillo		

4.2.2.5 Análisis estadístico

Los datos obtenidos de la caracterización morfoagronómica se analizaron por medio del programa InfoStat/Profesional versión 2017 (Di Rienzo *et al.*, 2011). Se elaboró una base de datos clasificando las variables en cuantitativas (continuas y discretas) y cualitativas (ordinales y nominales). Posteriormente, se generó una base de datos resumida considerando la media y la moda de 10 unidades experimentales por accesión. Las variables categóricas fueron transformadas a variables binarias (0 y 1) para su posterior análisis.

Con la base de datos (datos cualitativos y cuantitativos) se realizó el análisis de conglomerados con el método de agrupamiento jerárquico de Ward (1963) y el coeficiente de similitud de Gower (1967). Para determinar las variables que más contribuyeron a la conformación de grupos, se emplearon para datos cuantitativos el análisis de varianza con la prueba LSD Fisher (1936), y para datos cualitativos las tablas de contingencia usando el estadístico de Chi², donde además se obtuvo los valores de Cramer (V), Coeficiente de asociación (P) y *P-valor* (Franco e Hidalgo, 2003; Balzarini *et al.*, 2008).

Para identificar la variación interna de los grupos, se usó el valor del coeficiente de variación (CV) generado en el análisis de varianza, y para las variables cualitativas se calcularon las frecuencias absolutas de cada categoría y el índice de variación de la moda (DM)

propuesto por Wilcox (1973), la fórmula usada fue $1 - (\sum_{i=1}^k (fm - fi) / N(K - 1))$, donde fi es la frecuencia de cada i categorías, fm es la frecuencia de la categoría modal, K es el número de categorías y N es el número de casos.

4.2.3 Caracterización ecogeográfica del miso

4.2.3.1 Área de estudio

El área de estudio se desarrolla en la Sierra ecuatoriana. Los reportes de colecta dan a conocer que el miso está presente en tres provincias Pichincha y Cotopaxi e Imbabura, siendo provincia la provincia de Cotopaxi donde se reporta el mayor número de sitios de colecta (Morillo, 1998; Muenala, 2018).

La región andina se caracteriza por presentar un relieve irregular con pendientes suaves ($< 5^\circ$) en zonas de valles y fuertes ($15 - 25^\circ$) en zonas de montaña (Tapia *et al.*, 2015). Los suelos son fértiles, aunque hay variaciones a través de distancias cortas debido a la pendiente y la altitud. En la zona andina predominan los suelos de origen volcánico, son comúnmente profundos ricos en materia orgánica y minerales (Pumisacho y Sherwood, 2002).

La temperatura está vinculada estrechamente con la condición altitudinal en la que el miso está presente, con un rango de entre los 1500 y 3000 m s.n.m. Los valores medios de temperatura anual en la que se da este cultivo varían entre los 10°C y 16°C , con máximas que pueden superar los 25°C y mínimas que se aproximan al 0°C . En relación con el régimen pluviométrico se observan dos estaciones lluviosas, de febrero a mayo (muy intensa y copiosa) y de octubre a noviembre (más liviana y menos abundante). La primera estación seca muy marcada se da entre junio y septiembre, y la segunda menos acentuada ocurre de diciembre a enero. Los totales anuales pluviométricos fluctúan entre los 700 y 1500 mm (Portilla, 2018).

4.2.3.2 Selección de variables (Herramienta SelecVar)

Para definir los entornos en los que se cultiva el germoplasma de la colección de miso, se utilizó el software CAPFITOGEN vr 2.0 (Parra-Quijano *et al.*, 2015). Para la selección de variables ecogeográficas se realizó un Análisis de Correspondencia Binaria (BCA siglas en inglés) para descartar variables que no aportan al análisis o que aportan la misma información que otras. Para explorar datos y reducir dimensiones se utilizó el Análisis de Componentes Principales (ACP) con lo cual se seleccionó variables discriminantes con mayor peso absoluto (sin considerar su sentido positivo o negativo) y poca redundancia (correlación lineal) entre sí, para ello se estableció una matriz de datos con 30 accesiones de miso (Anexo 1) y 105 variables ecogeográficas, definidas en el programa CAPFITOGEN vr. 2.0 (Parra-Quijano *et al.*, 2015).

Adicionalmente para determinar la contribución de las variables a la distribución de la especie, se empleó el método de clasificación *Random Forest* (RF) que además de producir agrupamientos con alta precisión dentro de ambientes caracterizados por la interacción entre variables, determina la importancia de la variable en la clasificación. Siendo las variables de mayor importancia en la clasificación, aquellas de mayor valor de decrecimiento medio de la precisión (decrecimiento medio del índice de Gini). Finalmente, se realizó una revisión bibliográfica y se aplicó una encuesta a tres expertos nacionales y dos internacionales (Anexo 2 y 3). Con el uso de la herramienta SelecVar permitió seleccionar 20 variables ecogeográficas (tres geofísicas, siete edáficas y 10 bioclimáticas) (Tabla 3).

Tabla 3. Variables ecogeográficas usadas para formato y fuente de las variables ecogeográficas

Nº de variables	Código*	Datos ecogeográficos	Unidad	Fuente
Bioclimáticas				
1	bio_1	Temperatura medio anual	°C	Worldclim ₁
1	bio_2	Rango medio de temperaturas diurnas	°C	Worldclim
1	tmin_3	Temperatura mínima de marzo	°C	
1	tmin_12	Temperatura mínima de diciembre	°C	Worldclim
1	bio_12	Precipitación anual	mm	
1	bio_17	Precipitación del cuarto más seco (3 meses más secos)	mm	Worldclim
1	bio_14	Precipitación del mes más seco	mm	Worldclim
1	bio_19	Precipitación del cuarto más frío (3 meses más fríos)	mm	Worldclim
1	prec_5	Precipitación media mayo	mm	Worldclim
1	prec_7	Precipitación media julio	mm	Worldclim
Edáficas				
1	t_cec_soil	Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo superficial (general)	cmol/kg	MAG ²
1	t_sand	Contenido de arena en el suelo superficial	% peso	MAG
1	t_clay	Contenido de arcilla en el suelo superficial	% peso	MAG
1	t_silt	Contenido de limo en suelo superficial	% peso	MAG
1	t_gravel	Contenido de grava en el suelo superficial	% peso	MAG
1	t_oc	Contenido de carbono orgánico en el suelo superficial	% peso	MAG
1	t_ph_h2o	pH en suelo superficial en solución suelo-agua (1:2,5)	-log(H ⁺)	MAG
Geofísicas				
1	alt	Elevación. Metros sobre el nivel del mar	m	SRTM ³
1	slope	Pendiente (en grados) de la superficie del terreno	°	SRTM
1	wind_annual	Velocidad del viento anual	Km/h	SRTM
20				

NOTA: 1. Worldclim (<http://www.worldclim.org>, acceso julio, 2020) (30 arc-sec-onds resolution); 2. Ministerio de Agricultura y Ganadería (<http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>); 3. Shuttle Radar Topography Mission (<http://srtm.csi.cgiar.org/>) acceso julio, 2020; * Códigos asignados en el manual CAPFITOGEN vr. 2.0 (Parra-Quijano *et al.*, 2015; <http://www.capfitogen.net/es/programa/>)

4.2.3.3 Mapa de caracterización ecogeográfico del terreno o ELC

Para la caracterización ecogeográfica del terreno, se usó la herramienta ELC mapas (*Ecogeographical Land Characterization* en sus siglas en inglés) que son herramientas que ayudan a describir diferentes condiciones ambientales potenciales para la adaptación del taxón vegetal y se utilizaron para evaluar la representación de la variabilidad ecogeográfica e identificar sitios potenciales para la conservación *in situ* y colección *ex situ* (Parra-Quijano *et al.*, 2008, 2012a, b; Parra-Quijano *et al.*, 2015).

Se emplearon 20 variables ecogeográfica: 10 bioclimáticas, siete edáficas y tres geofísicas previamente seleccionadas (herramienta "SelecVar") que fueron consideradas para generar el mapa ELC para miso. Se utilizó los datos de latitud y longitud de las 30 accesiones (Anexo 1), los cuales fueron incluidos como variables geofísicas para obtener mapas con categorías agregadas espacialmente. El programa CAPFITOGEN determina el número de grupos a usar dentro del grupo de agrupamiento basado en el algoritmo de agrupamiento "K-means" con determinación del punto de corte en la disminución de la suma de cuadrados intragrupo (Ketchen y Shook, 1996 citado por Parra-Quijano *et al.*, 2015); el número de grupos óptimos es el alcanzado con el método "elbow" o "codo" que permite actuar sobre una gran cantidad de datos. La resolución para generación del mapa fue de 5 x 5 km (30 segundos de arco) (Parra-Quijano *et al.*, 2015).

4.2.3.4 Caracterización ecogeográfica

La caracterización ecogeográfica se realizó a través de la herramienta ECOGEO del programa CAPFITOGEN, el cual permitió extraer información ambiental del sitio donde crece un individuo o población. Se empleó datos geográficos de las 30 accesiones de miso procedentes de la colección nacional de germoplasma del INIAP-Ecuador y 20 variables ecogeográficas (definidas con SelecVar) (Parra-Quijano et al., 2015).

La información generada a partir de la caracterización ecogeográfica es una matriz de datos donde las filas corresponden a las accesiones en evaluación y las columnas a los descriptores o variables ecogeográficas. A partir de esta base de datos, se realizó un análisis multivariado (InfoStat/Profesional versión 2018 [Di Rienzo *et al.*, 2011]). Para determinar similitudes ambientales entre los diferentes sitios de recolección, se realizó un análisis de conglomerados con el método de agrupamiento jerárquico de Ward (1963) y el coeficiente de similitud de Gower (1967).

Para determinar las variables que más contribuyeron a la conformación de grupos, para variables cuantitativas se empleó un análisis de varianza con la prueba LSD Fisher (1936); para datos cualitativos se usó tablas de contingencia con el estadístico de Chi², Cramer (V), Coeficiente de asociación (P) y P-valor. Para identificar la variación interna entre grupos, se empleó el valor de coeficiente de variación (CV) generado en el análisis de varianza, y para variables cualitativas se calcularon las frecuencias absolutas de cada categoría y el índice de variación de la moda (DM) propuesto por Wilcox (1973), la fórmula usada fue $1 - (\sum_{i=1}^k (fm - fi) / N(K - 1))$, donde fi es la frecuencia de cada i categorías, fm es la frecuencia de la categoría modal, K es el número de categorías y N es el número de casos.

4.3 RESULTADOS

4.3.1 Variabilidad morfológica de la colección de miso del Ecuador

4.3.1.1 Análisis de grupos conformados

El dendrograma construido con el análisis de conglomerados jerárquico de 19 variables cualitativas y cuantitativas, usando el método de Ward y la distancia a partir del coeficiente de similitud de Gower, determinó la conformación de tres grupos con un coeficiente de correlación de 0,629, valor que sugiere una buena selección de caracteres en la evaluación de materiales de miso.

Los grupos conformados están definidos a una distancia de similitud de 1,18 siendo la distancia máxima de 2,04. En cuanto a la estructura de los grupos el Grupo 1 está integrado por 11 accesiones, el Grupo 2 consta de 14 accesiones y el Grupo 3 más pequeño por cinco accesiones. Además, se aprecia que el 63% de las accesiones (grupos 2 y 3) comparten características en común siendo la distancia de similitud de 1,21 (Figura 1).

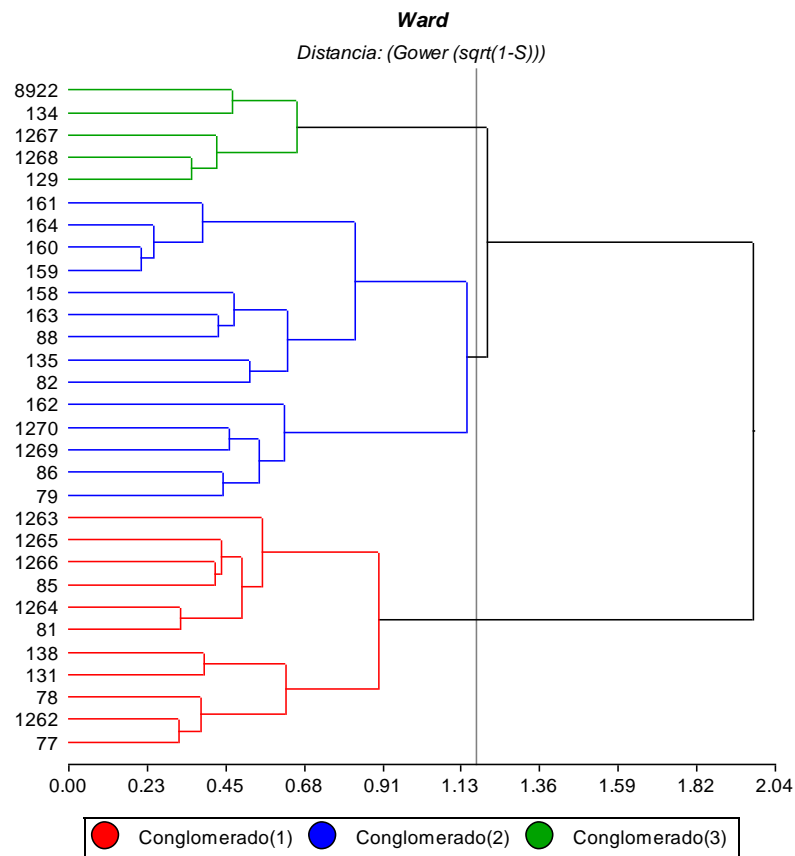


Figura 1. Dendrograma obtenido por análisis de conglomerados jerárquicos (método de Ward y distancia de similitud de Gower) para variables cualitativas y cuantitativas en 30 accesiones de miso (*Mirabilis expansa*).

4.3.1.2 Variabilidad morfológica de variables cuantitativas a nivel grupal

La variabilidad morfológica de la colección de miso se expresa por las diferencias estadísticas significativas (P -valor < 0,005). Se identificó tres variables relacionadas con la raíz que aportan diferencias dentro de la colección. Se aprecia que el Grupo 2 destaca por presentar mayor rendimiento, número de raíces útiles/planta y largo de la raíz respecto a los otros dos grupos, siendo las accesiones NMDCH-159 y NMDCH-161 las más promisorias dentro de la colección, y son procedentes de la provincia de Pichincha.

Según el coeficiente de variación, el rendimiento de las raíces comestibles (kg planta⁻¹) presentó la mayor variación con un CV=103,6%, identificando que en el Grupo 1 se agrupan accesiones con promedio de producción de 0,25 kg de raíz por planta, siendo el valor más bajo en toda la colección; seguido del grupo 3 que presenta valores cercanos a los 0,50 kg de raíz por planta, mientras que las accesiones del grupo 2 presentan rendimientos mayores a 1 kg de raíz por planta (Tabla 4).

De igual manera se aprecia que la variable número de raíces útiles por planta también presentó una alta dispersión (CV=56,83%) encontrándose que las accesiones del Grupo 2 presentan un promedio de aproximadamente de siete raíces por planta. Sin embargo, dentro del grupo 2 es posible encontrar accesiones con hasta 15 raíces por planta. En cuanto a los grupos 1 y 3, el número de raíces promedio es de cuatro raíces por planta (Tabla 4).

Otra variable que resultó ser significativa entre grupos fue el largo promedio de las raíces. Esta variable presentó un valor de CV=30,97%. Se identificó que en el Grupo 2 están las accesiones con las raíces más largas, con un promedio cercano a 20,34 cm, sin embargo, es posible encontrar accesiones con tamaños cercanos a los 29 cm. El material de los grupos 1 y 3 presentan un tamaño de raíces notablemente inferiores, de entre 13 y 14 cm, respectivamente. Una de las variables relacionadas con la característica de la raíz es el diámetro, sin embargo, no fue significativa para la diferenciación entre grupos, siendo el valor promedio de aproximadamente de 4 cm (Tabla 4).

En relación con la caracterización de la parte vegetativa como son: el número de nudos del tallo central, cobertura de la planta, largo del tallo central, largo y ancho de la hoja, no fueron variables que resultaron significativas para la diferenciación entre grupo. Sin embargo, se identificó que las accesiones del grupo 3 presentaron una mayor cobertura vegetal, además, presentaron accesiones con tamaño de hojas más grandes (largo = 3,95 cm; ancho = 2,11 cm) en comparación con los otros grupos. Sin embargo, esto no tuvo efecto en la producción tal y como se mencionó en previamente (Tabla 4).

Tabla 4. Valores promedio para caracteres cuantitativos en tres grupos conformados en el cultivo de miso (*M. expansa*).

Variables	CV%	Grupo			p-Valor
		1 (11)	2 (14)	3 (5)	
Rendimiento (raíces en fresco) (kg/planta)	103,60	0,25 ± 0,21a	1,07 ± 0,19b	0,49 ± 0,31ab	0,0218*
Número de raíces útiles por planta	56,83	4,13 ± 0,98a	7,49 ± 0,87b	4,28 ± 1,45ab	0,0331*
Largo promedio de las raíces útiles (cm)	30,97	13,95 ± 1,59a	20,34 ± 1,41a	14,32 ± 2,35b	0,0113*
Número de nudos del tallo principal	13,81	17,19 ± 0,75a	19,04 ± 0,67a	17,38 ± 1,12a	0,1650
Cobertura planta (cm)	20,30	153,46 ± 9,31a	145,84 ± 8,25a	166,26 ± 3,80a	0,4491
Largo del tallo central (cm)	23,30	138,85 ± 9,08a	128,85 ± 8,05a	109,08 ± 13,47a	0,2048
Largo de la hoja (cm)	22,13	3,69 ± 0,24a	3,50 ± 0,22a	3,95 ± 0,36a	0,5432
Ancho de la hoja (cm)	26,40	2,52 ± 0,20ab	2,32 ± 0,18a	3,11 ± 0,30b	0,0928
Diámetro promedio de las raíces útiles (cm)	30,48	3,78 ± 0,40a	4,60 ± 0,35a	4,70 ± 0,59a	0,2548

NOTA: * medias con letra diferente son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$)

4.3.1.3 Variabilidad morfológica de variables cualitativas a nivel grupal

Las tablas de contingencia fueron usadas para determinar si existe asociación entre las categorías de cada variable cualitativa, de 10 variables, siete variables son significativas para la discriminación de grupos conformados, las cuales están asociadas con características del tallo, hoja, flor y raíz comestible. Las variables que no aportaron a la diferenciación entre grupos fue el hábito de crecimiento, color del tallo al raspar y forma de la hoja. Dentro del grupo de variables significativas para la diferenciación entre grupos, el mayor valor discriminante (22,35) estuvo relacionado con el color de la raíz al raspar, el resto de las variables presentan valores de χ^2 entre 9 y 19 (Tabla 5).

Tabla 5. Caracteres cualitativos de mayor valor discriminante entre grupos de entradas de la colección de miso.

VARIABLES	Chi ²	Coef. (P)	Cramer (V)	P-valor
Color del tallo principal aéreo	15,92	0,59	0,42	0,0031
Color del haz de la hoja	19,33	0,63	0,46	0,0007
Presencia del color secundario de la hoja	19,39	0,63	0,57	0,0001
Color de la flor	15,44	0,58	0,51	0,0004
Color de la epidermis de la raíz	9,85	0,50	0,33	0,0431
Color de la raíz al raspar	22,35	0,65	0,50	0,0010
Color de la pulpa	14,61	0,57	0,40	0,0235

Según el índice de variación de moda (DM) existe variabilidad de datos en cada grupo, así los valores más altos están presentes en el grupo 1, en la variable color del tallo principal aéreo (DM=0,82) y en la variable presencia del color secundario de la hoja (0,73); en el grupo 2 se identificaron valores de DM=0,75 en las variables color del haz de la hoja y color de la epidermis de la raíz; y en el grupo 3, el valor DM=0,80 se refleja en la variable color de la flor. Los valores de DM=0,0 están relacionados con la presencia de un solo estado en determinadas variables (Tabla 6).

Tabla 6. Índice de variación de la moda de Wilcox (DM) para las variables morfológicas cualitativas de miso.

VARIABLES	Índice DM		
	G1	G2	G3
Color del tallo principal aéreo	0,82	0,43	0,30
Color del haz de la hoja	0,27	0,75	0,30
Presencia de color secundario en la hoja	0,73	0,00	0,00
Color de la flor	0,55	0,00	0,80
Color de la epidermis de la raíz	0,41	0,75	0,60
Color de la raíz al raspar	0,00	0,48	0,00
Color de la pulpa	0,12	0,48	0,53

Respecto a la variabilidad morfológica encontrada en cada grupo, se aprecia que en la variable color del tallo principal aéreo, los grupos 1 y 2 presentan tres categorías, por ejemplo, en el grupo 1 destacan el color verde amarillento fuerte (45%) y púrpura (45%). Sin embargo, en el grupo 2, el 71% de las accesiones presentan el color verde amarillento grisáceo. Por el contrario, en el grupo 3 se identificaron dos colores, siendo dominante el color verde amarillento fuerte en un 80% (Figura 2).

En relación con las características relacionadas con la hoja, en el color del haz, destaca el color amarillo claro en un 80% del grupo 3. En el grupo 2 el 50% es de color de la hoja fue verde amarillento fuerte, mientras que en el grupo 1 prevalece el color verde en un 82% de las accesiones. Respecto a la presencia de color secundario en la hoja, los grupos 1 y 3 presentan esta característica en un 64% y 100% respectivamente. En la colección de miso, se presentan dos estados de color para la flor, tanto el grupo 1 y 3 presentan las dos opciones de color, flores blancas y flores magenta (violeta), resultando en el grupo 2, el 100% de las accesiones presentan flores color blanco (Figura 2).

En la variable color de la epidermis de la raíz, se identificaron tres colores y están presentes en todos los grupos así se detalla: en el grupo 1, el 73% de las accesiones presentan raíces comestibles con color de epidermis marrón pálido, en el grupo 2, el 50% de las muestras presentan epidermis de raíz color amarillo, y este mismo color está presente en el 60% de las

accesiones del grupo 3, además, en este grupo el 40% de las muestras restantes presentan raíces de color amarillo fuerte.

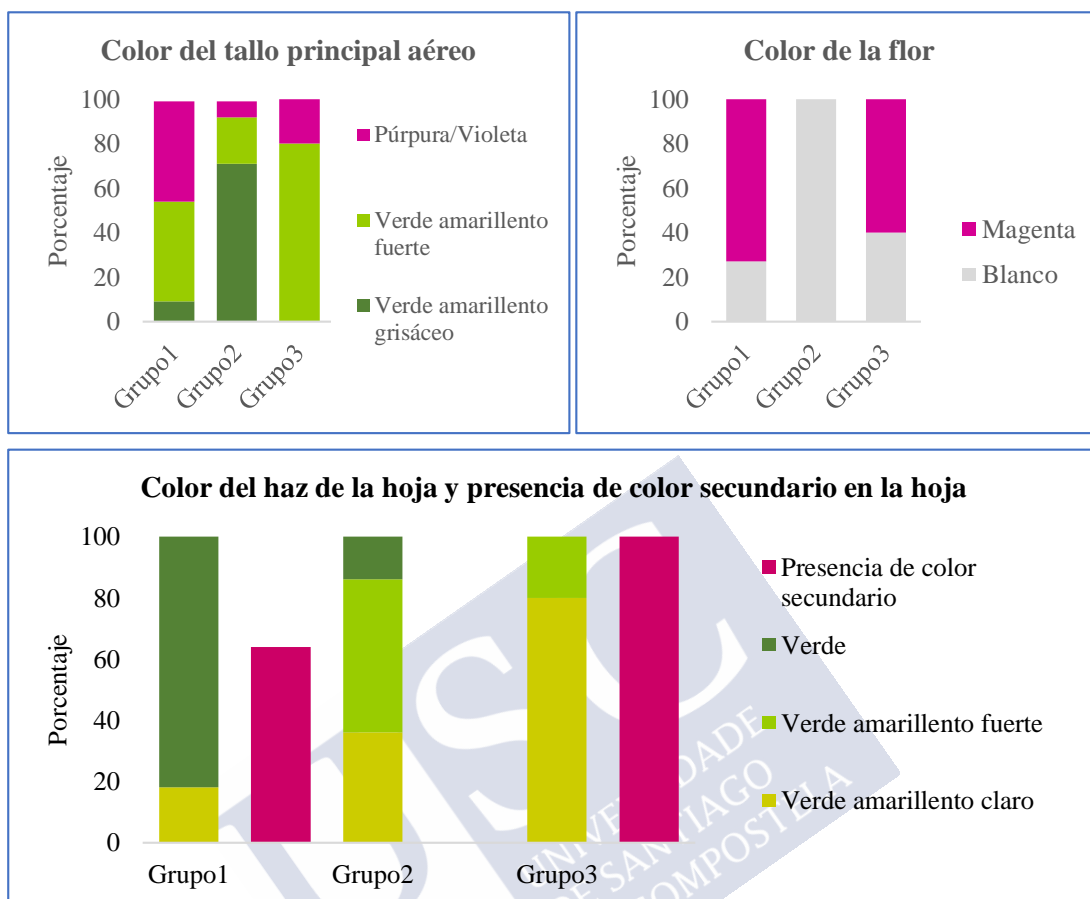


Figura 2. Frecuencias de las accesiones de la colección de *M. expansa* según estado de los caracteres relacionados con hábito de crecimiento, color del tallo y hoja en grupos conformados.

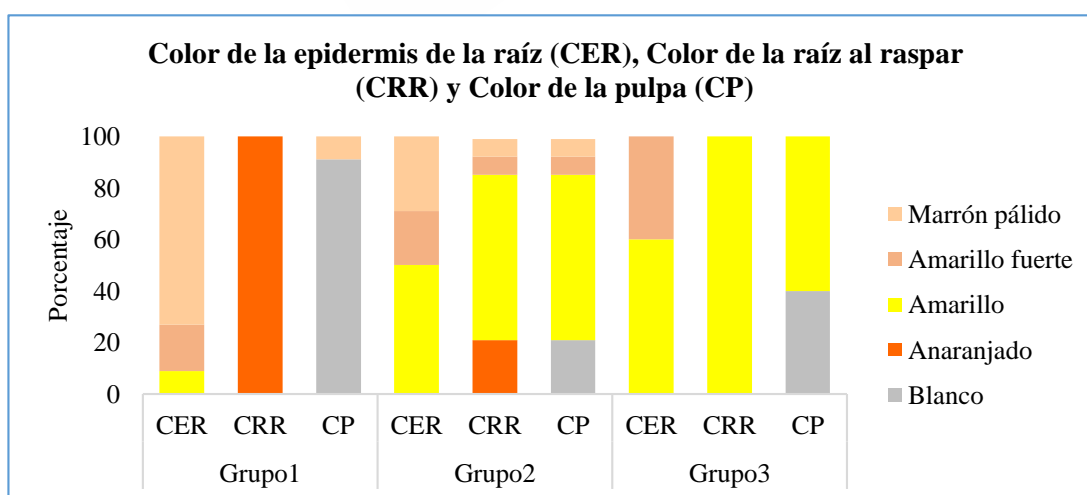


Figura 3. Frecuencias de las accesiones de la colección de *M. expansa* según el estado de los caracteres relacionados con la raíz entre grupos conformados.

En cuanto al color de epidermis de la raíz al raspar, se aprecia que los grupos 1 y 3 presentan color anaranjado y amarillo respectivamente en el 100% de las accesiones, mientras que en el grupo 2 hay mayor variabilidad de colores, siendo menos frecuentes el amarillo fuerte y marrón pálido en un 7% respectivamente (Figura 3).

Finalmente, en la colección de miso se identificaron hasta cuatro tonalidades de color de pulpa, siendo más frecuente el color blanco, seguido del color amarillo presente en un 64% en el grupo 2, y en un 60% en el grupo 3. Los colores menos frecuentes fueron el amarillo fuerte (7%) presente únicamente en el grupo 2, y el marrón pálido presente en menos del 10% de las accesiones de los grupos 1 y 2 (Figura 3). La diversidad presente en la colección de miso se visualiza en la figura 4.

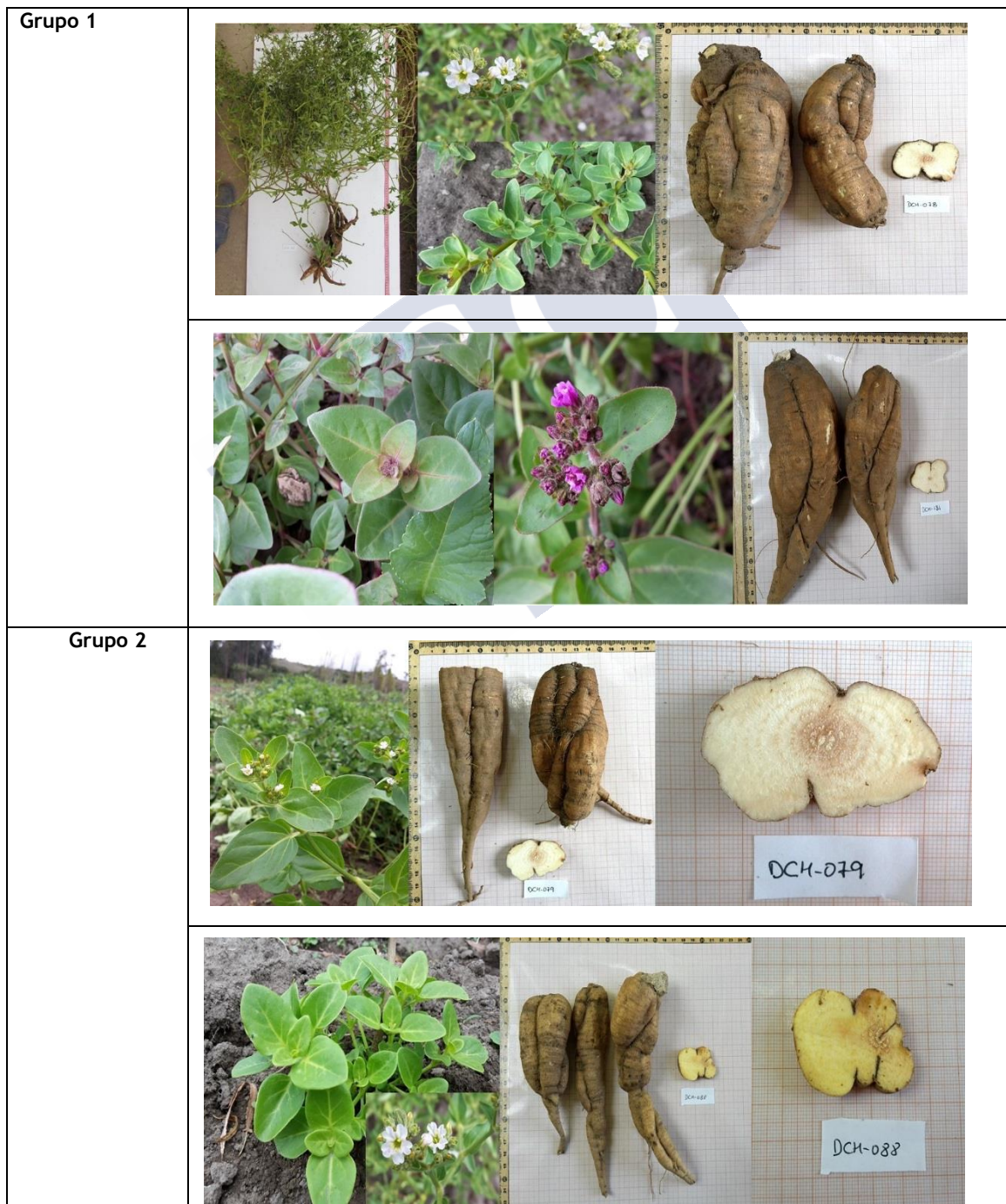




Figura 4. Diversidad de miso identificado en grupos morfológicos

4.3.2 Diversidad ecogeográfica del miso a nivel de Ecuador

4.3.2.1 Mapa ELC de miso

La variabilidad bioclimática, geofísica y edáfica está representada por variables como precipitación, temperatura, elevación y características relacionadas con el suelo como la textura o el pH entre otras. La combinación de estas variables da referencia de los rangos de adaptación o distribución geográfica del miso a nivel de Ecuador.

El mapa ELC identificó seis categorías ecogeográficas distribuidas a lo largo de la región andina y hacia las estribaciones de la región amazónica. La categoría con mayor presencia fue la categoría 6 (24,08%), seguida por la categoría 3 (23,84%), 2 (22,39%) y 5 (18,70%). Con menos del 10% de presencia están las categorías 1 y 4, las cuales se distribuyen en la provincia de Imbabura y la zona austral (Cañar, Azuay y Loja) (Figura 5).

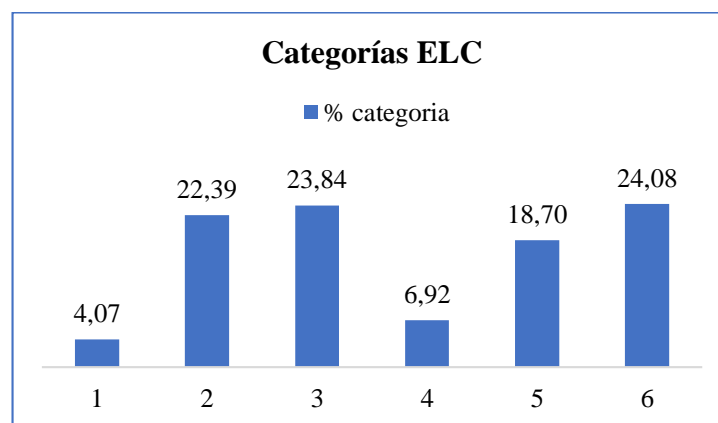


Figura 5. Categorías ecogeográficas identificadas en el cultivo de miso.

A través del mapa ELC se identificaron territorios o escenarios con posible adaptación para el cultivo de miso. Se aprecia que las categorías 4, 5 y 6 están distribuidas en la zona sur del país, las otras tres categorías están distribuidas en la parte norte y centro del país (Figura 6, Anexo 4). Las características abióticas de la categoría 4 se relacionan con la precipitación anual de 877,3 mm, temperaturas anuales de 14,5 °C, suelos franco arcilloso y pH prácticamente neutro (6,7), en rangos altitudinales de 2500 m s.n.m. La categoría 1 está distribuida principalmente en la provincia de Imbabura, presenta una precipitación media anual de 1452 mm, con temperaturas de 15 °C, el rango de distribución oscila los 2300 m n.s.m. y suelos de tipo franco y pH ligeramente ácidos (6,4) (Tabla 7).

Tabla 7. Características ecogeográficas identificadas en categorías ecogeográficas del Mapa ELC para miso.

Variables	Categorías ecogeográficas					
	1	2	3	4	5	6
Bioclimáticas						
Precipitación anual (mm)	1452,4	1121,0	921,6	877,3	1141,4	1058,8
Precipitación del cuarto más frío (3 más fríos) (mm)	330,8	283,9	135,5	156,5	337,7	197,9
Precipitación del cuarto más seco (3 meses más secos) (mm)	136,9	198,3	119,2	107,3	138,6	130,0
Precipitación del mes más seco (mm)	34,1	57,6	31,8	30,3	40,4	37,8
Precipitación media de mayo (mm)	140,5	109,0	84,2	74,5	102,2	82,6
Precipitación media de julio (mm)	40,0	98,5	40,1	41,4	73,0	49,7
Rango medio de temperaturas diurnas (°C)	10,8	9,5	11,1	10,8	10,9	10,9
Temperatura mínima diciembre (°C)	9,70	3,97	5,67	9,13	10,24	9,97
Temperatura mínima de marzo (°C)	10,00	4,56	6,23	9,79	10,68	10,44
Temperatura media anual (°C)	15,00	8,90	11,21	14,52	15,67	15,44
Edáficas						
Contenido de grava en suelo superficial (%vol)	0,05	13	0,04	1,87	17,55	0,98
Contenido de arcilla en suelo superficial (%peso)	15,0	20,0	8,4	42,4	17,6	23,7
Contenido de arena en suelo superficial (%peso)	35,9	54,0	58,8	27,9	58,6	43,3
Contenido de limo en suelo superficial (%peso)	49,1	26,0	32,8	29,7	23,9	33,0
Textura	Franco	Franco limosa	Franco arenosa	Franco arcillosa	Franco arenosa	Franco
Contenido de carbón orgánico en suelo superficial (%peso)	1,63	1,49	1,03	1,20	1,18	1,76
Capacidad de intercambio catiónico de arcilla en suelo superficial (cmol/kg)	119,51	17	45,61	53,29	54,21	35,01
pH en suelo superficial en solución suelo-agua (1:2,5) -log(H ⁺)	6,4	5,4	6,1	6,7	6,0	5,3
Geofísicas						
Altitud (m s.n.m.)	2338,7	3429,9	3109,9	2504,9	2333,8	2390,0
Pendiente (%)	4,99	3,63	3,44	4,40	5,04	3,80
Velocidad del viento (km/h)	2,23	3,21	3,01	2,56	2,63	2,78

La categoría 6, además de estar presente en las provincias de Azuay y Loja, también se encuentra en zonas de transición entre la región Sierra y Amazonía como es la provincia de Zamora Chinchipe. Esta categoría presenta rangos de precipitación total anual de 1058,8 mm y una temperatura media anual de 15 °C. Los agroecosistemas de esta categoría se distribuyen alrededor de los 2390 m s.n.m. en suelos de textura franca, con contenido de carbono orgánico bajo (1,7%) y pH ácidos (5,3). Por su parte la categoría 3 se distribuye a una altitud promedio de 3109 m s.n.m. presentan una temperatura de 11,2 °C, precipitación media anual de aproximadamente 900 mm. Los suelos son de tipo franco arenoso, con contenido de carbono orgánico muy bajo (1,2%) y pH ligeramente ácido (6,1) (Tabla 7).

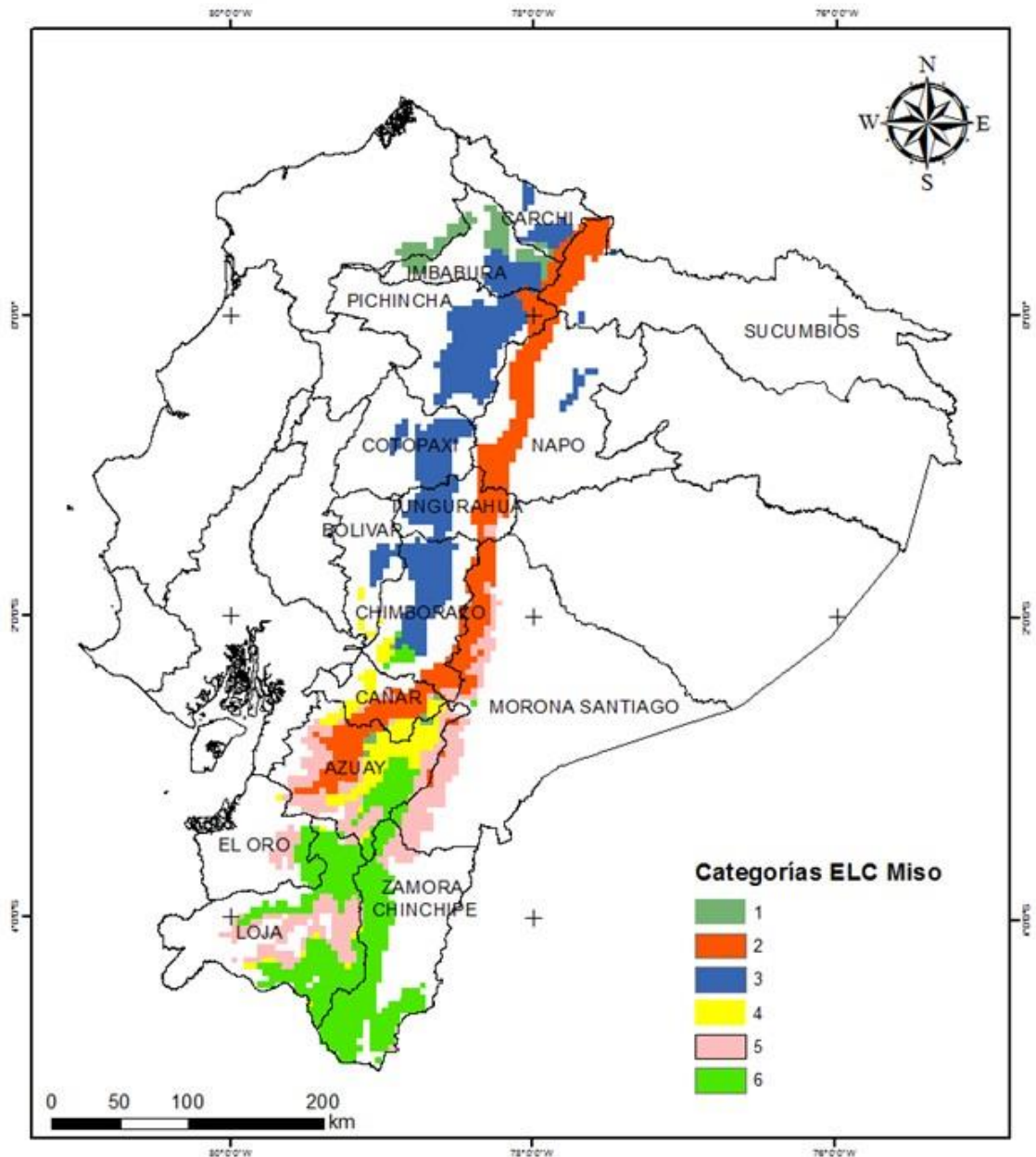


Figura 6. Mapa de caracterización ecogeográfica del área terreno (ELC) para miso en Ecuador.

En la categoría 2 se identifican celdas distribuidas en la región amazónica (provincia de Sucumbíos, Napo y Morona Santiago). Posiblemente estas áreas geográficas presentan características de serranía por ser zonas de transición entre las dos regiones. En la serranía, las provincias con mayor presencia de esta categoría son las provincias de Pichincha, Tungurahua, Cañar y Azuay (Figura 6). Esta categoría presenta rangos promedio de precipitación de 1121 mm, una temperatura media anual de 8,9 °C siendo la temperatura más baja entre las categorías ecogeográficas, posiblemente está relacionado con el rango de distribución altitud que bordea los 3400 m s.n.m., presentan suelos de tipo franco limoso, con contenido de carbono orgánico bajo (1,5%) y pH de suelo tipo ácido (5,4). Finalmente, la categoría 5 presenta rangos promedios de temperatura anual de 15,6 °C y una precipitación anual de 1141,4 m s.n.m., en suelos franco arenoso y pH ligeramente ácidos (6,0) (Tabla 7).

4.3.2.2 Caracterización ecogeográfica el miso

A partir de la distancia de similitud, se identificaron tres grupos de accesiones (distancia de similitud = 2,3) siendo la distancia máxima de 4,77. El grupo 1 está integrado por siete accesiones, todas presentan una distancia de similitud de cero, esto implica que las condiciones ecogeográficas y los agroecosistemas donde se desarrolla el cultivo presentan características similares. Sin embargo, las accesiones provienen de tres provincias (Imbabura, Pichincha y Cotopaxi).

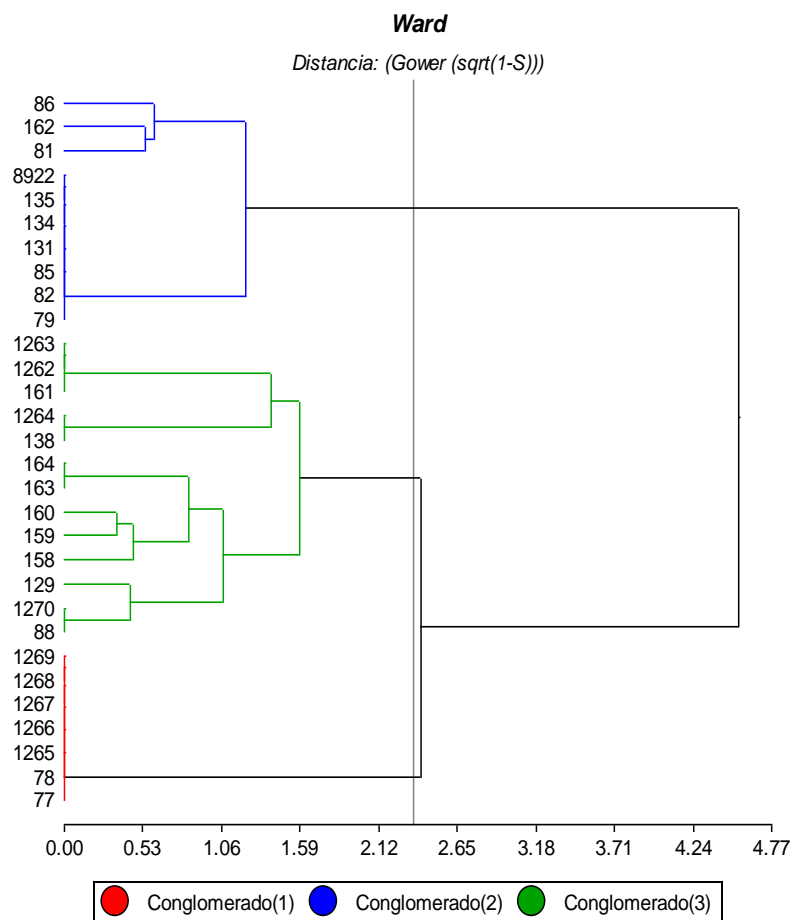


Figura 7. Dendrograma obtenido por análisis de conglomerados jerárquicos (método de Ward y distancia de similitud de Gower) para variables cualitativas y cuantitativas ecogeográficas en 30 accesiones de miso.

El grupo 2 está integrado por 10 accesiones, todas provienen de una misma provincia (Cotopaxi), dentro de las cuales siete presentan una distancia de similitud de cero. Finalmente, el grupo 3 está representado por 13 accesiones, y al igual que el grupo 1 integra accesiones de las tres provincias, además, se aprecian cuatro subgrupos con distancias de similitud igual a cero (Figura 7).

4.2.3.3 Variabilidad bioclimática

En la tabla 8 se aprecia que, de las 12 variables bioclimáticas solo una resultó ser significativa ($P\text{-valor} \leq 0,005$) para la diferenciación de grupos ecogeográficos, esta variable es la precipitación anual, que presenta un coeficiente de variación bajo ($CV=10,53\%$). Las accesiones que integran el Grupo 3 se distribuyen en zonas geográficas con precipitaciones que oscilan los 937 mm, mientras que en los grupos 2 y 3 el rango de precipitación anual es superior a los 1000 mm.

Respecto a las otras variables bioclimáticas, no existen diferencias estadísticas significativas. Sin embargo, se puede apreciar que los rangos de precipitación promedio para las variables de precipitación del cuarto más frío, del cuarto más seco y la precipitación de mayo oscilan los 85 mm. El valor de precipitación más baja corresponde al mes de julio, mes que coincide con la época seca en la sierra ecuatoriana. Las variables relacionadas con temperatura registran valores promedio de 12 °C para la temperatura anual, además que hay una diferencia de 1 °C para la temperatura diurna. Las temperaturas más bajas se reportan para los meses de marzo y diciembre con valores inferiores a 10 °C (Tabla 8).

Tabla 8. Valores promedio para caracteres bioclimáticos en tres grupos conformados para el cultivo de miso (*Mirabilis expansa*).

Variable	Media	CV (%)	Grupo 1 (7)	Grupo 2 (10)	Grupo 3 (13)	P-valor
Precipitación anual (mm)	995,9	10,53	1048,00±39,62b	1035,20±33,15b	937,62±29,08a	0,0419*
Precipitación del cuarto más frío (mm)	85,67	19,11	84,00 ±6,19a	83,00 ±5,18a	88,62 ±4,54a	0,6875
Precipitación del cuarto más seco (mm)	85,67	19,11	84,00 ±6,19a	83,00 ±5,18a	88,62 ±4,54a	0,6875
Precipitación del mes más seco (mm)	19,00	28,83	18,00 ±2,07a	17,90 ±1,73a	20,38 ±1,52a	0,4894
Precipitación de mayo (mm)	85,53	13,85	84,00 ±4,48a	86,30 ±3,75a	85,77 ±3,29a	0,9213
Precipitación de julio (mm)	19,00	28,83	18,00 ±2,07a	17,90 ±1,73a	20,38 ±1,52a	0,4894
Temperatura media anual (°C)	12,02	11,88	12,70 ±0,54a	11,79 ±0,45a	11,84 ±0,40a	0,3716
Rango promedio de temperaturas diurnas (°C)	11,18	6,00	11,10 ±0,25a	10,93 ±0,21a	11,41 ±0,19a	0,2422
Temperatura mínima de marzo (°C)	7,01	16,98	7,80 ±0,45b	7,00 ±0,38ab	6,58 ±0,33a	0,1123
Temperatura mínima de diciembre (°C)	6,55	17,84	7,20 ±0,44a	6,46 ±0,37a	6,28 ±0,32a	0,2487

Nota: *Medias con una letra diferente son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

4.2.3.4 Variabilidad edáfica por grupos

Las variables relacionadas con pH del suelo, textura de suelo, contenido de carbono orgánico del suelo y capacidad de intercambio catiónico resultaron ser variables significativas para la diferenciación entre grupos, tres variables presentaron el valor discriminante más alto (> 30) (Tabla 9).

Respecto al Índice de variación de moda (DM), solo en el Grupo 3 presenta un valor $DM=0,77$ en las variables pH de suelo y capacidad de intercambio catiónico (CIC), en las demás

variables el DM=0. Esto implica que en las variables cualitativas por grupos prevalece un solo estado. El Grupo 1 se caracteriza porque el 100% de las accesiones de este grupo se desarrollan en suelo tipo franco arenoso, con pH prácticamente neutros (6,5), contenido de carbón orgánico en el suelo superficial muy bajo (1%) y CIC de arcillas en suelo superficial muy alto (80 cmol/kg).

Tabla 9. Caracteres cualitativos edáficos de mayor valor discriminante entre grupos de entradas de la colección de miso.

Variables	Chi2	Coef. (P)	Cramer (V)	P-valor
pH suelo superficial	32,05	0,72	0,60	0,0001
Contenido de carbono orgánico	30,00	0,71	38,19	0,0001
Textura de suelo	30,00	0,71	0,71	0,0001
Capacidad de intercambio catiónico	7,18	0,51	0,42	0,0074

Por su parte las accesiones del grupo 2 se desarrollan en suelos tipo franco, con pH ácidos (5,1) y contenido de carbono orgánico alto (5,3%). Sin embargo, no hay registros de las características relacionadas con la CIC de arcilla en suelo superficial. Las accesiones que integran el grupo 3 se desarrollan principalmente en suelos de textura franco arenosa con pH desde los ligeramente ácidos (6,1), ácidos (5,1) hasta prácticamente neutros (6,5); el contenido de carbono orgánico en el suelo superficial es bajo (0,9) y la capacidad de intercambio catiónico entre medio alto (36 cmol/kg) y muy alto (80 cmol/kg) (Figura 8).

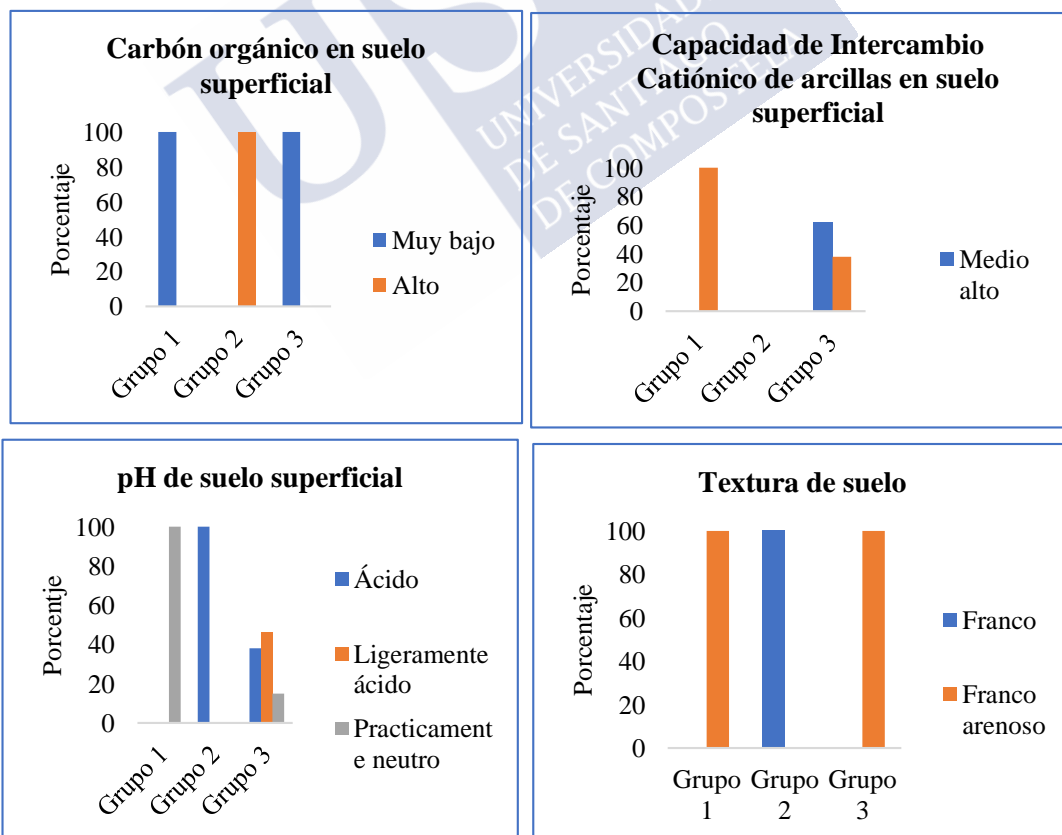


Figura 8. Características edáficas identificadas en grupos de accesiones de la colección de *M. expansa*.

4.2.3.5 Variabilidad geofísica por grupos

En cuanto a las variables geofísicas, se aprecia que la altitud no es una variable que aporte diferenciación de grupos, presentan un rango promedio de distribución de 2900 m s.n.m. Sin embargo, según datos de colecta del miso, el rango mínimo de distribución está desde los 2500 m s.n.m. hasta los 3450, sitios geográficos que se pueden encontrar en la provincia de Cotopaxi (Tabla 10).

Tabla 10. Valores promedio para caracteres geofísicos en tres grupos conformados para el cultivo de miso (*Mirabilis expansa*).

Variable	Media	CV (%)	Grupo 1 (7)	Grupo 2 (10)	Grupo 3 (13)	P-valor
Altitud	2919,67	7,59	2762,00 ±83,77a	2921,80 ±70,09ab	3002,92 ±61,47b	0,0861

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas entre las medias de cada grupo.

En cuanto a la pendiente, esta variable presenta un índice de variación de la moda DM=0,30 y DM=0,81 para los grupos 2 y 3 respectivamente. En el grupo 1 el DM=0 debido a que el 100% de las accesiones se distribuyen en agroecosistemas con pendientes muy suaves (3°), a diferencia de los otros grupos donde el miso puede encontrarse en pendientes planas (1,1 °), muy suaves (3,5 °) y suaves (5,6 °) (Figura 9).

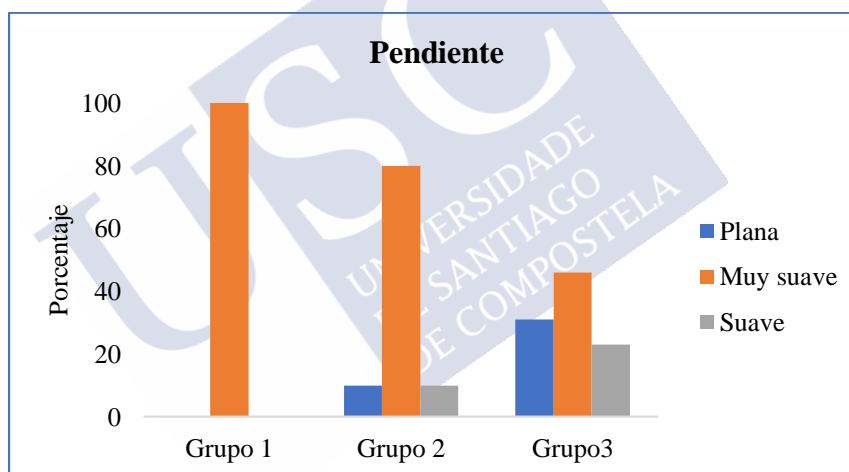


Figura 9. Variabilidad geofísica identificada en tres grupos de accesiones de la colección de *Mirabilis expansa*.

4.3 DISCUSIÓN

4.3.1 Caracterización morfológica del miso

La región andina es centro de origen y domesticación de raíces y tubérculos andinos, dentro de los cuales el miso es uno de los cultivos más desconocidos para el consumidor local. Sin embargo, los campesinos que la aprecian la siembran para autoconsumo (Chia *et al.*, 2006). Además, presenta un alto valor alimenticio y medicinal (Seminario, 2004b).

A través del análisis de conglomerados, se confirma que existe una baja variabilidad morfológica en la colección de miso la cual está representada tan sólo por tres grupos y con distancia de similitud bajos, lo que quiere decir que están relacionados fenotípicamente de forma muy cercana. Algo similar ocurre en la diversidad morfológica de miso en Perú, donde se identificó que más del 80% de las entradas son duplicados y el 75% de las entradas se

vinculan a una distancia de 1,35 (Seminario y Valderrama 2012), distancia que resulta similar para la relación de los grupos 1 y 3 el presente estudio, en el que, además, no se identificaron materiales duplicados.

La FAO (1992) menciona que no existen cultivares definidos. Sin embargo, las plantas se diferencian por el color de la raíz, identificando raíces blancas, amarillas y anaranjado claro. Respecto a la diversidad morfológica encontrada en la colección de miso, se identificaron al menos tres morfotipos que presentan características que permiten diferenciarlos en campo, los cuales están relacionados con el hábito de crecimiento, color del tallo, color de la flor y color de raíz tanto de la epidermis como de la pulpa, Siendo en la pulpa en donde se identificaron cuatro colores (amarillo, amarillo fuerte, marrón pálido y blanco). Cabe recalcar que el color de pulpa marrón pálido y amarillo fuerte no fueron reportados en otras investigaciones por lo que se podrían considerar como nuevos morfotipos. Según el NCR (1989) existen diferentes genotipos, unos con flores púrpuras y blancas con sus variantes y raíces astringentes y no algunos con raíces poco carnosas.

Investigaciones preliminares dan a conocer que, a nivel del Ecuador la diversidad de miso está representada por una especie nativa que presenta flores blancas y raíz con pulpa amarilla, material que fue localizado en la zona norte del país (Imbabura), y una especie introducida de raíz blanca y flor magenta (Perú) (Hernández y León, 1992), esta última forma parte de la colección nacional del INIAP. Por su parte, el estudio de Morillo (1998) reportó la presencia de dos morfotipos en la colección nacional del Ecuador, las de flor magenta con pulpa blanca (tanto material nacional como peruano) y las de flor blanca con raíces amarillas o blanca (procedentes de las provincias de Cotopaxi y Pichincha), resultados que permiten corroborar lo descrito en la presente investigación. Cabe recalcar que, la presente investigación se evaluaron tres accesiones procedentes de la provincia de Imbabura y que presentan las características antes mencionadas.

En Perú, Seminario y Valderrama (2012) reportaron cinco morfotipos de miso, cuyas características se relacionan con plantas con flores rojo púrpura y púrpura (equivale a color fucia o magenta) con raíces blancas, características similares a lo identificado en la presente investigación. También identificaron plantas de miso con flores de color pardo amarillento, amarillo, blanco grisáceo, colores que no se identificaron en la colección de Ecuador. Además, en la misma investigación reportaron raíces con pulpa amarillo anaranjado, color que podría equipararse al color amarillo y amarillo fuerte registrado en el grupo de accesiones evaluadas del Ecuador.

En cuanto a las características productivas del cultivo, según la FAO (2012) el número de raíces por planta va de 2 a 5 raíces planta⁻¹ en lotes campesinos. En el estudio de Morillo (1996) se reportó un promedio de 6 raíces por planta, con accesiones que llegan a producir hasta 13 raíces por planta, tal y como ocurre en la accesión Ecu-1262. Sin embargo, la misma accesión bajo condiciones de la presente investigación, presentó una producción inferior al 67% del valor máximo, probablemente esta condición está relacionada con la adaptación a las condiciones geográficas.

Respecto al rendimiento de raíces comestibles en fresco (kg planta⁻¹), los valores obtenidos en la presente investigación están dentro de los rangos (0,2-2,0 kg planta⁻¹) reportados por la FAO (2012), pero son inferiores al valor máximo (0,6-3,6 kg planta⁻¹) conseguido por Seminario y Valderrama (2012), probablemente estas diferencias están relacionadas con el manejo agronómico y/o condiciones agroclimáticas.

Según Seminario (1993), el germoplasma de miso de Perú y Bolivia llegan a producir entre 0,5- 5,5 kg planta⁻¹ en condiciones de baja fertilidad y sin usar fertilizante. Sin embargo, Zapari *et al.*, (2017) reportaron que la producción de miso bajo fertilización química (urea y

superfosfato triple de calcio) es de $78,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ ($3,1 \text{ kg planta}^{-1}$), siendo un 40% mayor que la producción orgánica (estiércol de vaca) y un 60% frente al testigo (sin fertilización), convirtiéndose en una alternativa de manejo y fomento a la seguridad alimentaria por la capacidad productiva y las propiedades nutricionales que posee. Sin embargo, el miso tiene un bajo valor comercial, siendo esto una de las razones de su abandono (Gendall *et al.*, 2019), y pérdida de importancia en la región andina.

Desde hace varias décadas el miso ha sido considerado como en una especie que enfrenta procesos de erosión genética (Rea, 1968). No obstante, con los resultados de la presente investigación, se determinó que la diversidad reportada en el Ecuador se mantiene e inclusive podría haber nuevas variantes que deberán ser corroboradas a través de análisis moleculares.

4.3.2 Caracterización ecogeográfica del miso

La región andina es cuna de un gran número de especies alimenticias que han sido domesticadas por los pueblos autóctonos desde hace miles de años, si bien algunos cultivos han destacado más otros. El miso se usa por los pobladores rurales en su alimentación y forma parte de su cultura, además, es considerado un cultivo de subsistencia para los agricultores pobres (Seminario, 2004a). Las evidencias más antiguas provienen de 1937 en Venezuela y Perú, hacia 1941 se registró en Chile, como planta cultivada se reportó en 1965 por Rea y León. Entre 1968 y 1982 aparecen los primeros registros en Ecuador. Las evidencias señalan que el centro de origen podría ser Cajamarca (Perú) con una distribución hacia Ecuador y Bolivia en tiempos de los Incas (Seminario, 2004b), lo que implica una amplia distribución tanto de especies silvestres como domesticadas.

El clima en Ecuador presenta una variedad de cambios considerados en distancia cortas, esta variación se relaciona con condiciones altitudinales, dirección de las cadenas montañosas, la distancia con el Océano Pacífico. Entre otros elementos como la altitud del territorio, estas interacciones permiten disponer de una amplia diversidad ecológica (Pourrut *et al.*, 1995). Así, a través del mapa ELC para miso se identificaron posibles escenarios ambientales que pueden estar relacionados con procesos adaptativos (Parra-Quijano *et al.*, 2005) o podrían ser considerados como zonas prioritarias para la conservación (Tapia, 2015). En el caso de la presente investigación, los reportes de sitios de colecta de germoplasma y/o de distribución se concentra principalmente en la provincia de Cotopaxi, y en menor proporción en las provincias de Pichincha e Imbabura, siendo pocas las áreas geográficas donde se ha encontrado el cultivo.

La información generada da pauta a realizar esfuerzos para revalorizar la especie e introducirla en nuevos sitios geográficos, como son las estribaciones de la región Costa y Amazonía. No obstante, esto requiere de nuevas investigaciones que potencien una alternativa competitiva frente a raíces y tallos subterráneos como la yuca (*Manihot esculenta* C.) o al camote (*Ipomoea batatas* L.), o tubérculos andinos como la papa (*Solanum tuberosum* L.). Para Zapana *et al.* (2015) el miso es una alternativa a ser implementada sobre todo en zonas marginales y de bajos recursos económicos. Sin embargo, una de las desventajas es la duración del ciclo de cultivo ya que por lo general la cosecha se da al año de haber sido sembrada.

4.3.3 Análisis de conglomerados

El análisis de conglomerados determinó tres posibles grupos de poblaciones ecogeográficas. Independientemente de la provincia de procedencia existe un alto porcentaje de materiales que presentan condiciones iguales de desarrollo. Se identificó que una sola variable bioclimática (precipitación anual) diferencia grupos ecogeográficos. Sin embargo, se aprecia que el valor promedio para cada grupo está por encima del rango óptimo (680 mm) (Hernández y León, 1992; Flores *et al.*, 2003; Seminario, 2004b). Estas condiciones climáticas

estarían dando respuesta a los posibles escenarios de adaptación del miso, sobre todo considerando los procesos de calentamiento global, ya que tiene relación directa con procesos dinámicos y termodinámicos del clima influyendo en las precipitaciones (Russián *et al.*, 2015).

Aunque la temperatura no es una variable discriminadora, es relevante para definir las condiciones agroclimáticas óptimas para el desarrollo del cultivo. Así se identifica que la temperatura promedio anual de los tres grupos ecogeográficos están dentro de los rangos identificados como óptimos (11 y 16 °C) (Seminario, 1993). El miso tolera bien temperaturas altas entre 22 y 29 °C (valores superiores pueden retrasar su desarrollo) y temperaturas bajas entre 4 y 7 °C (Hernández y León, 1992). Autores como Mujica *et al.* (2001) mencionan que el miso no resiste temperaturas bajas, limitando su producción la presencia de heladas. No obstante, es un cultivo que tiene mayor tolerancia frente a cultivos como la achira (*Canna edulis*) y el yacón (*Smallanthus sonchifolium*) (Seminario, 1993).

Respecto a la distribución altitudinal, varios autores mencionan que el miso se desarrolla desde los 2200 hasta los 3500 m s.n.m. (NCR, 1989; Hernández y León, 1992; Barrera *et al.*, 2004). En Ecuador, el germoplasma se encuentra a partir de los 2500 m s.n.m., en zonas como Puno (Perú) el cultivo se encuentra a partir de los 1400 m s.n.m. (Vallenas, 1995). El amplio rango de distribución altitudinal del miso le ha permitido establecerse en varios agroecosistemas, manteniéndose en pequeñas huertas en forma marginal y puede permanecer en campo por varios ciclos en base a trasplantes de partes vegetativas (Hernández y León, 1992).

La presencia del miso a nivel nacional es esporádica y siguen siendo tres provincias (Imbabura, Pichincha y Cotopaxi) donde se reporta su presencia. Autores como NCR (1989) y Seminario (2004a) mencionan que al igual que en Ecuador, en países como Perú y Bolivia su presencia está centrada en determinados departamentos. Según Carrera (2018) una de las explicaciones podría estar relacionada con la migración forzada por el estado incaico y el asentamiento en regiones distantes como forma de castigo.

Para las características edáficas, el miso prefiere suelos profundos, húmedos, fértiles y ricos en materia orgánica (NCR, 1989; Flores *et al.*, 2003) con texturas tipo franco y franco arenoso (Seminario, 1993; Seminario, 2004a), aspectos que concuerdan con las características edáficas de los sitios de colecta del miso. Además, este tipo de suelo es característico de la zona andina donde se desarrollan tubérculos andinos como papa (*Solanum tuberosum*), melloco (*Ullucus tuberosus*), oca (*Oxalis tuberosum*), mashua (*Tropeaelum tuberosum*) muchos de ellos considerados alimentos de subsistencia.

Por otro lado, Zapala *et al.* (2015) mencionan que el miso prospera bien en terrenos con textura franco-limosa, donde se determinó que el rendimiento está relacionado con el tipo de fertilización. Bajo esta premisa, se identificó que la categoría 2 del mapa ELC presenta este tipo de suelo. Además, la categoría en mención está distribuida hacia las estribaciones de la región amazónica. Esto provocaría establecer áreas de conservación con enfoque productivo y de revalorización del cultivo, principalmente, porque es una especie de la cual se aprovecha el follaje, la raíz comestible y posee amplios beneficios nutricionales (Bazán *et al.*, 1996 citado por Seminario y Valderrama, 2012; Barrera *et al.*, 2002; Seminario y Valderrama, 2012).

La calidad del suelo está determinada por características físicas, químicas, bioquímicas y fisicoquímicas como el pH y la capacidad de intercambio catiónico (CIC). Diversos estudios concuerdan que la materia orgánica del suelo es el indicador que ejerce una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad (Galantini y Rosell, 2006).

El miso, se desarrolla principalmente en suelos con muy bajo contenido de carbono orgánico (COS), suelos que son propios de la Sierra ecuatoriana, debido a la intensidad de labranza del suelo, provocando baja productividad y erosión de suelo (Martínez *et al.*, 2008).

Para Rea (1982) el miso presenta una ventaja frente a otros cultivos por presentar un sistema de raíces bien desarrollado y de larga duración, con poder significativo para el control de la erosión del suelo.

Respecto al pH del suelo, el miso prefiere suelos con pH de 5,0 a 7,0 (Meneses 1996; FAO 2000; Jacobsen y Mujica 2006). El 50% de las accesiones que integran la colección nacional, se desarrollan en suelos con pH ácidos, suelos que presentan cierta desventaja al reducir la disponibilidad de algunos nutrientes y suelen tener efectos negativos sobre el crecimiento de las plantas (Zapata, 2004). Sin embargo, no existen datos de producción que permitan evaluar su efecto en la productividad miso, algo que deberá ser corroborado en futuras investigaciones.

4.4 CONCLUSIONES

- El miso, siendo uno de los cultivos menos conocidos y con poco uso comercial en el Ecuador, presenta variabilidad morfológica está definida por tres grupos de accesiones y cuatro posibles morfotipos, diferenciados principalmente por el color de la epidermis de la raíz comestible y el color de la pulpa, dentro de los cuales destaca dos accesiones de la provincia de Pichincha que presentaron características productivas relevantes.
- A nivel ecogeográfico, se han detectados diferencias intra-poblacionales relacionadas con la variabilidad climática principalmente de la precipitación anual. Se ha identificado que el germoplasma que integra el grupo 3 presenta cierta tolerancia a la sequía. Además, se identificó que la variabilidad bioclimática, edáfica y geofísica del país, permite conocer la distribución geográfica del miso y las áreas potenciales de vocación agrícola para el cultivo. Esto implica que se podría incentivar la producción de la especie como una alternativa para fortalecer la seguridad alimentaria de grupos vulnerables.
- El mapa ELC permitió determinar esas zonas con características comunes a lo largo de la sierra ecuatoriana, lo que da pauta a evaluar el potencial agrícola real que tiene cada zona y la oportunidad de promocionar al cultivo con miras a limitar los procesos de erosión genética.

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN GENERAL

La región andina constituye una de las zonas más ricas en agrobiodiversidad, además es centro de origen y de domesticación de varias especies de importancia alimentaria como son los granos, raíces y los tubérculos andinos, cultivos que han sido apreciados y preservados por los mismos agricultores dentro de sus territorios. Para Tapia *et al.* (2018) los agricultores tradicionalistas han sido guardines directos de la conservación de este germoplasma, siendo habitual apreciar una amplia variabilidad de cultivos en fincas o chacras donde la diversificación es la esencia de los entornos productivos. Esta característica de gran relevancia para la preservación de la biodiversidad no solo se da en la zona andina sino también en regiones amazónicas y de la costa de Ecuador, aunque esta última región es donde más se ha dado procesos de reducción genética. En la actualidad, se ha reconocido que la reducción de la agrobiodiversidad limita la capacidad de los agricultores y ecosistemas a adaptarse a los nuevos retos, cambios, necesidades y oportunidades, lo que es base para alcanzar los diferentes Objetivos de Desarrollo Sostenible (Objetivo 2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible) tal como lo menciona Rojas *et al.* (2010) en el estudio de granos andinos en Bolivia.

Para solventar estos retos desde el punto de vista de investigación y desarrollo se establecen procesos de evaluación de germoplasma, con la finalidad de conocer formas y tamaños de las partes físicas de las plantas, también se evalúan características de valor agronómico como resistencia a plagas o el rendimiento, entre otros (Monteros-Altamirano *et al.*, 2018). Estas investigaciones permiten además identificar caracteres altamente heredables y de fácil observación para la definición de fenotipos, morfotipos y variabilidad dentro y entre especies (Demey *et al.* 2003). En los últimos años, la utilización de técnicas de caracterización ecogeográfica han permitido complementar la información sobre la distribución de las especies y la variabilidad genética existente, estas estrategias de evaluación de germoplasma permiten determinar materiales con características deseables y con adaptación a condiciones de cambio climático.

Evaluación de morfotipos

En esta tesis se evaluaron dos especies diferentes, el tarwi del que se aprovecha el grano y el miso del que fundamentalmente se emplea la raíz, aunque también las hojas. Ambas especies son de gran utilidad en las condiciones ecuatorianas, se identificó varios morfotipos de elevado interés, sin embargo, se precisan de estudios moleculares y nuevas evaluaciones en campo que ayuden a determinar su potencial desde un punto de vista agronómico. Este potencial se ve superado en el caso de algunos de los morfotipos evaluados en comparación con variedades comerciales en el caso del tarwi, pero no en el del miso. En este último caso, la comparativa posible procede de zonas de diferente altitud, por lo que los datos no son comparables, y se precisarían estudios de campo para la evaluación de miso a diferentes altitudes para conocer la producción real de esta promisoriosa especie de alto rendimiento y utilidad alimentaria.

El análisis morfológico del **tarwi** desarrollado en esta tesis permitió identificar niveles de variabilidad relacionados con el color de la flor y características de las semillas, así como el rendimiento de *Lupinus*. Según las distancias genéticas, no existen duplicados dentro de la

colección. Sin embargo, se requiere de análisis moleculares que confirmen estos resultados. Características como altura de la planta, número de vainas por planta (eje principal), número de granos por vaina, rendimiento (g planta^{-1}), peso de 100 semillas, días a la floración y madurez fisiológica fueron las variables con mayor poder discriminante. Según Zakewskim Galek *et al.* (2015) estas variables permiten también determinar la variabilidad dentro del género *Lupinus*, así lo confirma Martín *et al.* (1985) y Lema *et al.* (2005) en germoplasma de *L. albus* y *L. hispanicus* respectivamente.

Características como el peso total de la semilla y el número total de semillas son importantes y están directamente relacionadas con el potencial productivo de *Lupinus*. Para Delgado *et al.* (2003) el número de vainas por planta es el principal componente del rendimiento final, sin embargo, esta variable presentó un coeficiente de variación alto ($>20\%$), que es un valor aceptable sobre todo cuando se trabaja con grupo de accesiones y se busca determinar los más promisorios. Para Lescay *et al.* (2017) la variabilidad entre individuos de una misma especie o entre especies está relacionada con factores genéticos y ambientales, siendo además un indicador del potencial que posee una colección para procesos de selección y mejoramiento genético.

La existencia de varios grupos morfológicos también se ve reflejado por las diferencias en colores de la flor y la semilla, reflejando diferencias en la constitución genética de las accesiones. Así, por ejemplo, en el Grupo 1 refleja la mayor variabilidad en las características antes mencionadas, no así en las accesiones del grupo 3 que presenta un solo estado para datos cualitativos. Según Leakey (1988) estas características no están influenciados por el ambiente, son de herencia simple y pueden emplearse en procesos de caracterización y mejora genética. Para Blanco (1980) el determinar si existe un grado de asociación entre color de la flor y/o semilla con el contenido de alcaloides del tarwi (sustancia que limita el consumo directo) permitiría determinar si existe efecto en la producción, debido a que plantas con menos contenidos de alcaloides tienen menos tolerancia al ataque de plagas y enfermedades.

Entre los grupos morfológicos del tarwi, destacan accesiones del grupo 1 (Ecu670 y Ecu751) y grupo 2 (Ecu674, Ecu672, Ecu27502, Ecu645, Ecu27556) que presentan rendimientos superiores a 300 gramos planta^{-1} . Sin embargo, una limitante para las accesiones del grupo 1 es la presencia de color secundario de la semilla porque es una propiedad organoléptica que afecta a la selección de la semilla por parte del consumidor. En el Ecuador las preferencias del consumidor van hacia los granos blancos, lo que podría convertirse en una limitante al momento de incentivar la producción. No obstante, podría ser considerado como una fuente importante de genes para procesos de mejoramiento genético, siendo necesario promover cambios en las preferencias alimentarias a través de sistemas de marketing adecuados, ya que el color no tiene efecto en la calidad nutricional (41-51% proteína) (Gross *et al.*, 1998).

Considerando el rendimiento por planta (300 g) y la proyección en rendimiento por hectárea ($16666 \text{ plantas ha}^{-1}$), se puede concluir que tarwis identificados como promisorios alcanzaría un rendimiento real en campo próximo a 5 Mg ha^{-1} , rendimientos superiores al reportado en las variedades mejoradas ($1,3 \text{ Mg ha}^{-1}$) INIAP 450-Andino e INIAP 451-Guaranguito (Peralta *et al.*, 2010; Peralta *et al.*, 2013), lo que le confiere una gran ventaja. El potencial productivo de los materiales nativos evaluados en la presente investigación coincide con los valores reportados por Almeida (2015) quien evaluó cuatro ecotipos de tarwi procedentes de las provincias del Carchi y Tungurahua. Si bien son valores proyectados, es necesario que las investigaciones futuras se desarrollen en torno a características como densidad de siembra y hábito de crecimiento que podría ser una característica poco deseable, ya que al presentar tallos de tipo indeterminado los tiempos

de maduración son más prolongados. Según Peralta (2016) el 100% de los productores desearían variedades precoces (<7 meses), aunque existen agricultores que prefieren mantener sus variedades tradicionales.

Respecto a la variabilidad morfológica del **miso**, las variables que aportaron a la diferenciación de grupos se relacionan con características de la raíz comestible, tanto en variables asociadas al rendimiento (peso y tamaño) y a características del color de epidermis y la pulpa de la raíz. Se identificaron tres grupos y posiblemente cuatro morfotipos. Por el contrario, no se identificaron materiales duplicados dentro de la colección. Estos resultados requieren de estudios moleculares que corroboren los resultados alcanzados, ya que el miso se propaga principalmente de forma asexual a través por tallos subterráneos engrosados, brotes tiernos desprendidos de la corona o porciones del tallo, denominados esquejes (Seminario, 2004b) características que podrían limitar la diversificación de la especie en el territorio. No obstante, se conoce que el miso tiene un porcentaje de alogamia entre 6 y 35% (Valderrama y Seminario, 2001), que es una hipótesis que debe ser sometida a pruebas de cruzamiento para determinar la variabilidad existente.

Los morfotipos de miso identificados en la presente investigación, diferenciados principalmente por el color de la pulpa y el color de la epidermis de la raíz, lo cual permitió describir un morfotipo más que el reportados por Morillo (1996), posiblemente porque se realizaron nuevas colectas (provincia de Imbabura) y porque existen descriptores que fueron incorporados como es el caso del color de la epidermis al raspar, característica que resultó ser significativa para la diferenciación entre grupos.

En países andinos como Bolivia se reportan dos morfotipos (raíces de pulpa blanca y amarilla) y en Perú se reportan cinco morfotipos donde existe variación incluso en el color de la flor (Seminario y Valderrama, 2012). Sin embargo, en Ecuador se identificaron dos colores de flor blanca y magenta (púrpura), y se apreció variación en cuanto a características de hoja y tallo. Las características fenológicas como color del tallo, forma de la hoja, color de flor y color de la raíz son de fácil percepción, además, son variables con alta capacidad discriminante para diferenciar la presencia de variabilidad en una población.

Respecto al componente agronómico del miso, las características que inciden en la diferenciación entre grupos son variables que están relacionadas con el número de raíces útiles por planta, largo promedio de las raíces y rendimiento de raíz en fresco (kg planta^{-1}). Zapana *et al.* (2015) registraron valores de rendimiento entre 0,5 y 5,5 kg planta^{-1} . Bajo las condiciones de Ecuador, Morillo (1998) (evaluación a 3000 m s.n.m.) reportó un rendimiento de 1,6 kg planta^{-1} , lo que representaría una producción potencial de 40 Mg ha^{-1} , superando los valores registrados en la presente investigación. Probablemente, estos resultados están relacionados con las condiciones altitudinales y climáticas donde se realizaron las investigaciones. Parece claro por tanto que se deben llevar a cabo ensayos de campo para determinar el efecto altitudinal en la producción.

Según Zapana *et al.* (2017) factores humanos y ambientales inciden en la producción. Por ejemplo, el manejo con fertilización química duplica la producción de raíz tuberosa (78 Mg ha^{-1}) respecto a la producción orgánica. Por su parte, el método de propagación (sexual o asexual) también inciden en el rendimiento, siendo menor incluso si la fertilización es química ($11,35 \text{ Mg ha}^{-1}$) cuando se usa semilla sexual como mecanismo de propagación (Zapana *et al.* 2015).

Estos rendimientos, convierten al miso en una especie con potencialidad para su promoción y expansión (Barrera *et al.*, 2004). Sin embargo, se requiere que se valore como una alternativa alimenticia e industrial. Comparado con la producción de yuca (*Manihot esculenta* C.) que representa en el Ecuador un consumo per cápita de 12 $\text{kg persona año}^{-1}$, y un rendimiento entre 4 y 40 Mg ha^{-1} (Hinostroza *et al.*, 2014), el miso podría

convertirse en una fuente importante de producción y alternativa alimenticia ya que contiene más proteína (4% en muestra fresca 100g), calcio (283 mg/100g) y fósforo (111 mg/100 g) frente a la yuca, camote (*Ipomoea batatas* L.) y raíces andinas como la zanahoria blanca (*Arracacha xanthorrhiza* B.) (Zapana *et al.*, 2015).

Al ser un cultivo prácticamente desconocido para el consumidor común, más para el campesino de la costa que de la sierra, el miso podría convertirse en materia prima básica de una gran cantidad de productos, incrementando la demanda de la raíz y follaje, contribuyendo de forma eficaz a la seguridad alimentaria y crecimiento económico de áreas locales marginales.

Caracterización ecogeográfica

El análisis espacial junto con datos de caracterización morfológica y eco geográfica utilizando sistemas de información geográfica, contribuye a mejorar el entendimiento y a su vez el monitoreo de la diversidad. Esto permite formular e implementar estrategias de conservación *in situ* y *ex situ* más efectivas (Tapia, 2015b). Como mencionan Scheldeman y van Zonneveld (2010), este tipo de análisis permite prever información crítica de la diversidad existente en un área geográfica específica y puede ser utilizado para evaluar o conocer el estado actual de conservación de las especies y establecer áreas geográficas de conservación. Para Solís-Neffa (2010) los patrones de distribución geográfica permiten entender la evolución de las especies y definir las mejores estrategias de conservación.

Para determinar las zonas de agrobiodiversidad se evalúan variables como la distribución geográfica de los cultivos, asociada a variables geofísicas, climáticas y edáficas que permiten determinar la distribución de una especie. Los estudios ecogeográficos desarrollados con el programa CAPFITOGEN (Parra-Quijano *et al.*, 2015) permitieron identificar áreas geográficas donde las especies se adaptan y se distribuyen en el territorio ecuatoriano. Así a través del Mapas ELC se identifican categorías ecogeográficas o zonas agroecológicas para la presencia de las especies. Así las categorías más frecuentes resultan ser los escenarios más adecuados para el desarrollo del cultivo, la regeneración y promoción de la producción del germoplasma, mientras que las menos frecuentes podrían ser esos escenarios de adaptación ya que presentan características particulares que no se encuentran en otras partes del territorio.

Esto permitió señalar que la diversidad ecogeográfica del tarwi está ligada principalmente en la región sierra, mientras que la jícama y el miso además de ser de la zona andina, podrían desarrollarse en zonas de transición entre las dos regiones (Sierra y Amazonía).

En el caso del **tarwi**, la categoría 2 se distribuye en toda la sierra ecuatoriana, incluyendo provincias donde no existen reportes de colecta de germoplasma como es la provincia del Cañar. Según la zonificación agroecológica del tarwi (MAGAP, 2014) áreas óptimas para la producción se centran en la provincia de Imbabura, Pichincha, Tungurahua y Chimborazo, mientras que las zonas con potencialidad baja (definidas por la restringida accesibilidad a servicios e infraestructuras de apoyo a la producción) están en las provincias del sur del país (Cañar, Bolívar, Azuay y Loja), provincias donde existen varias categorías ELC distribuidas en estos territorios).

EL mapa de diversidad morfológica de tarwi muestra que en las provincias de Azuay y Loja presentan la mayor diversidad morfológica (accesiones que integran los cuatro grupos morfológicos). Comparado con el mapa de diversidad ecogeográfica, el germoplasma colectado en este territorio presenta entre muy baja (nula) y media diversidad ecogeográfica. Esto implica que son agroecosistemas más homogéneos, lo que sugiere que independientemente de la variabilidad morfológica del tarwi, se distribuye en diversos agroecosistemas. Esta condición se atribuye a la gran plasticidad que presentan las especies de *Lupinus*, ya que

pueden adaptarse a diferentes ambientes y también al grado de alto grado de hibridación. Este resultado implica que la diversidad existente puede ser aprovechada en la selección de atributos de interés agronómico bajo distintos escenarios (Lagunes-Espinoza *et al.*, 2012).

En el caso del tarwi, los rangos de temperatura dan respuesta a la presencia de ecotipos con características de interés agronómico y que pueden adaptarse a efectos de cambio climático de diversas maneras: resistencia a cambios de temperatura, resistencia a heladas, con déficit hídrico, suelos pobres y periodos de sequía. En la Sierra ecuatoriana el mes de diciembre presenta temperaturas sobre los 20 °C para los tres grupos ecogeográficos, sin embargo, el tarwi puede desarrollarse hasta los 25 °C (Espinoza, 2010 y Meneses, 1996, citado por Huanca *et al.*, 2018). Según la caracterización ecogeográfica los meses de enero, julio y noviembre registran la menor precipitación (<100 mm). Sin embargo, estos meses están relacionados con épocas de desarrollo vegetativo, cosecha y preparación de terreno respectivamente, por lo que no sería una limitante para el desarrollo del cultivo. Además, las fechas de siembra se dan de diciembre a febrero para coincidir las cosechas con los meses secos (entre junio y septiembre) (Peralta *et al.*, 2014). Cabe señalar que el promedio anual de precipitación está dentro de los valores óptimos para el desarrollo del cultivo (500-1000 mm) (MAGAP, 2014), condiciones ambientales que permiten al agricultor mantener el cultivo de su territorio.

Respecto a los escenarios de adaptación del tarwi, destaca la zona sur del país, cuyas provincias (Cañar, Azuay y Loja) tienen limitada la producción del tarwi. Sin embargo, podría convertirse en una zona importante de conservación *in situ* principalmente porque en este territorio existen categorías poco frecuentes y según datos de caracterización morfológica, es posible encontrar germoplasma que representa la diversidad de cada grupo morfológico.

Para el caso de la jícama y miso, Hawkes (1989) distingue tres grupos climáticos y fitogeográficos dentro de las raíces y tubérculos de América tropical. El primero se distribuye en tierras tropicales bajas y comprende siete especies, entre ellas la yuca (*Manihot esculenta* C.) y el camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lamarck); el segundo, corresponde a los valles de altura media alta en los Andes Sudamericanos donde se distribuye la jícama (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson) y el miso (*Mirabilis expansa* Ruiz & Pavón); y el tercer grupo representa la zona templada-fría con especies resistentes al frío como es la papa (*Solanum tuberosum* L.) (citado por Seminario, 2004). Si bien existen condiciones climáticas que marcan limitaciones en la distribución de las especies, a través del mapa ELC se identificaron posibles escenarios de adaptación para las dos especies (miso y jícama), dentro de los cuales destacan las áreas geográficas ubicadas en la región amazónica del Ecuador, zonas donde no existen reportes de germoplasma colectado o actividad agrícola con estos rubros.

Entre los factores de distribución de las especies, el clima es considerado como el factor más importante, incluso incide sobre la variabilidad de las especies vegetales debido a que puede actuar directamente sobre los procesos fisiológicos del crecimiento y reproducción o de forma indirecta a través de interacciones ecológicas como la competencia por recursos (Shao y Halpin, 1995). Solis-Neffa (2010) menciona que la precipitación y la temperatura influyen sobre los patrones geográficos de variación morfológica, y sobre la producción de frutos y semillas durante la etapa reproductiva (Hernández-Verdugo *et al.* 2012).

De acuerdo con el mapa ELC, en **jícama** se identificaron cinco categorías ecogeográficas, distribuidas en toda la región andina, así como en dos zonas de transición con la región de costa y la región amazónica. En Perú la jícama está ampliamente distribuida y se adapta bien a los parámetros ecológicos de costa, valles interandinos y selva alta, entre los 600 m s.n.m. y sobre los 3000 m s.n.m. (Valderrama, 2005; Cabrera *et al.*, 2019). Según el mapa ELC, las provincias de Imbabura (zona norte), Azuay y Loja (zona sur) presentan categorías únicas en comparación con otras provincias. Además, en la región amazónica se destaca una categoría única para la

región que comprende varias provincias y presentan los rangos altitudinales más bajos (1400 m s.n.m. aproximadamente). Aunque las mejores condiciones para el desarrollo de la jícama son los valles interandinos, en Perú el cultivo desciende hasta la zona costera y Amazonía sin mayor limitación (Seminario *et al.*, 2003). Esto daría pauta a que en la región amazónica del Ecuador podría convertirse en una alternativa de producción para esta especie.

La jícama es uno de los cultivos con un rango amplio de distribución, característica que puede estar reflejada por la plasticidad fenotípica como respuesta a las variaciones ambientales y la variación morfológica y fenotípica (Grau y Rea, 1997). En Ecuador se conocen cuatro morfotipos que están distribuidos en la zona sur del país (Azuay y Loja) (Morillo, 1998). Sin embargo, en Perú se conocen ocho morfotipos tanto en la zona norte como sur de este país (Seminario *et al.*, 2013). Según el mapa ELC, la categoría 5 presenta rangos altitudinales más bajos (1400 m s.n.m.) respecto a las otras zonas ecogeográficas, siendo necesario evaluar el comportamiento agronómico de los morfotipos ecuatorianos en estos territorios, sobre todo porque en países como Perú y Bolivia la jícama se produce en áreas costeras y amazónicas (Seminario *et al.*, 2003; Dorstert *et al.*, 2009), pudiendo integrarse a los sistemas agroforestales característicos de estas regiones y la dinámica local de gestión del territorio.

Un aspecto para destacar en la jícama es que las precipitaciones de febrero y julio, precipitación del cuarto más seco y del cuarto más húmedo, marcan diferencias entre grupos ecogeográficos. Esto implica que meses con déficit hídrico deben ser compensados con riego, principalmente en el inicio del periodo vegetativo y en los valles interandinos donde la jícama ha sido cultivada.

Respecto a los mapas de representatividad, estos dan referencia a aquellas zonas donde se distribuye la especie y en donde se deberían realizar exploraciones para salvaguardar la especie. En la jícama la identificación de vacíos de colecta determinó que se deben realizar nuevas exploraciones en todo el territorio ecuatoriano, con énfasis en la región sierra como amazónica, destacando la provincia de Imbabura y varias provincias de la parte sur del país, áreas en que se aprecian categorías ecogeográficas únicas. Por ejemplo, según Yépez (2016) en Imbabura el cultivo está presente en todos los cantones de la provincia, con rangos de distribución desde los 1700 m s.n.m. (cantón Cotacachi) hasta los 2950 m s.n.m. (cantón Otavalo) (Yépez, 2016). Su empleo es para la producción familiar y de autoconsumo, y en algunos casos es más una planta ornamental que alimenticia (Haro, 2016). Finalmente, para los bancos de germoplasma es de suma importancia la identificación de vacíos en las colecciones ya que es un método de recolección de germoplasma eficiente (Tapia *et al.*, 2019).

En cuanto al **miso**, es una especie con una restringida distribución geográfica concentrada en tres provincias Imbabura, Pichincha y principalmente Cotopaxi. Sin embargo, según el mapa ELC, el miso podría distribuirse en toda la sierra ecuatoriana, e incluso, al igual que la jícama, en zonas geográficas de la región amazónica. Seminario (2004b) menciona que se conoce poco sobre la sensibilidad a la longitud del día del miso, aunque una investigación desarrollada en México determinó que el miso proveniente de semilla no produjo flores ni formó raíces comestibles, lo que sugiere que sea una especie ligada al medio andino.

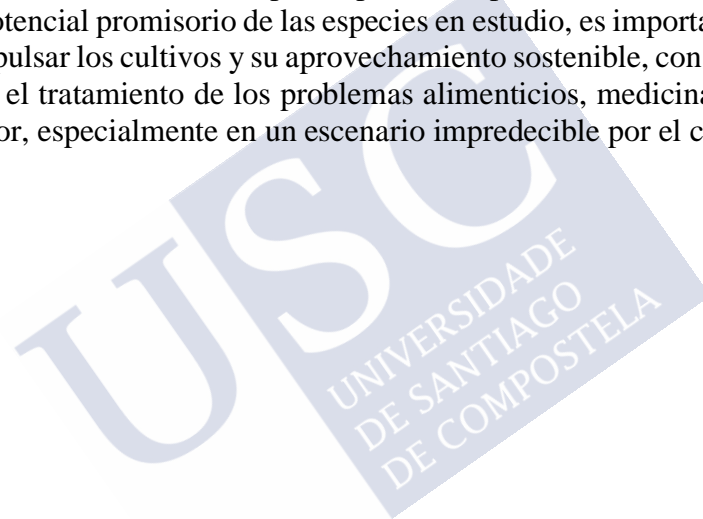
En miso la única variable que marcó diferencias ecogeográficas por grupos fue la precipitación anual. Sin embargo, los rangos promedios bordean los 1000 mm, valor que está por encima de la necesidad hídrica del cultivo (Seminario, 2004b). Los rangos adaptivos definidos en cada categoría definen los límites en los cuales la especie puede desarrollarse (Parra-Quijano *et al.*, 2015; Naranjo *et al.*, 2017). Estos escenarios identificados podrían ser áreas prioritarias para la conservación *in situ*, o posibles zonas donde se ha distribuido el miso, sobre todo porque existe una dinámica asociada a aspectos culturales como es el intercambio de germoplasma o introducción de especies que proceden de una “herencia familiar”. Según

Tapia *et al.* (2011) el proceso de intercambio de germoplasma se da como muestra de confianza entre miembros de una familia o comunidad, lo que incide en la distribución y diversificación.

Conservación

En el caso de Ecuador estudios preliminares desarrollados por Tapia *et al.* (2017), determinaron zonas de conservación por grupos de cultivos, así por ejemplo la conservación en finca de granos andinos está presente principalmente en provincias de Imbabura y Cotopaxi, para cultivos como los tubérculos andinos, se distribuyen en provincias centro sur del país como son Cotopaxi Bolívar y Chimborazo, destacando también Imbabura. Finalmente, las zonas de conservación de cultivos tropicales están en las provincias de Manabí, Zamora Chinchipe, Esmeraldas, Santa Elena, y Morona Santiago. Los resultados de la presente investigación permiten comprender cómo las variables ecogeográficas influyen en la adaptación abiótica de un género, así como los patrones de distribución y complementan lo definido por Tapia *et al.* (2017). Sin embargo, se aprecia que los granos como el tarwi, las raíces andinas como la jícama y el miso, pueden estar presentes en todas las provincias de la sierra ecuatoriana, y posibles escenarios adaptivos para las especies del territorio amazónico.

Debido al potencial promisorio de las especies en estudio, es importante crear herramientas que permitan impulsar los cultivos y su aprovechamiento sostenible, con el propósito de brindar alternativas para el tratamiento de los problemas alimenticios, medicinales y económicos que aquejan a Ecuador, especialmente en un escenario impredecible por el cambio climático.



CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

Los estudios realizados en la presente investigación han conducido a las siguientes conclusiones:

6.1 CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

- En el proceso de caracterización de tarwi, se determinó que los caracteres cualitativos con mayor valor discriminante son el color de la flor y forma de la semilla, así como el color secundario de la semilla y su distribución, estas características tienen una alta contribución a la discriminación de grupos morfológicos. En los caracteres cuantitativos destacan el número de semillas por vaina, número de vainas según eje principal y rendimiento que a pesar de estar influenciados por el ambiente permitieron separar grupos morfoagronómicos
- Respecto a los grupos taxonómicos en la colección de tarwi el grupo 1 es el de mayor variabilidad morfológica y en los datos cuantitativos es el segundo con mejor rendimiento, esto podría dar pauta a incentivar la producción de tarwi con variantes en cuanto a la forma y color del grano
- En cuanto a la diversidad del miso, en Ecuador es posible identificar germoplasma con variabilidad morfológica expresada principalmente por características cualitativas como el color del tallo, hoja, flor, raíz a nivel de epidermis y pulpa, que permitió identificar de tres grupos y cuatro morfotipos, estos últimos definidos por el color de la raíz al raspar y la pulpa. Respecto a las características cuantitativas las variables relacionadas con el tamaño de raíz y número de raíces útiles y rendimiento contribuyeron a la diferenciación de tres grupos, aunque están influenciadas por las condiciones ambientales y manejo agronómico, estas variables podrían ser consideradas en estudios agronómicos de la especie.

6.2 IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES PROMISORIOS

- En la colección de tarwi, destacan las accesiones del grupo 2 por presentar plantas con baja altura y mayor rendimiento respecto a los otros grupos.
- En la colección de miso destacan las accesiones NMDCH-161, NMDCH-162, NMDCH-163 y NMDCH-159, que presentan potencial agronómico para la producción, no así en el tiempo de producción ya que es una especie anual.

6.3 CARACTERIZACIÓN ECOGEOGRÁFICA

- En tarwi, se identificaron siete categorías ecogeográficas que dan referencia de los posibles escenarios para la adaptación y distribución del tarwi, siendo la categoría 2 la más prominente en la zona andina. Sin embargo, el mayor porcentaje de colectas está hacia la categoría 4. Se identificó que el tarwi se adapta a condiciones agroecológicas diversas, esto da una ventaja competitiva frente a otros cultivos de importancia para la alimentación ya que al ser un cultivo poco exigente y con amplia adaptación le permite ser una alternativa de producción y alimentación para grupos vulnerables a condiciones de cambio climático

- En jícama se identificaron cinco categorías ecogeográficas, en la sierra ecuatoriana y varias áreas geográficas localizadas en la región Amazónica y la provincia del El Oro, considerados como escenarios potenciales para la adaptación y distribución de la especie a nivel de país, con lo cual se puede promover la producción a nivel nacional. Se identificaron variables discriminantes que podrían demostrar la capacidad de adaptación de cultivo pudiendo cultivarse en diferentes varios ecosistemas.
- En miso se identificaron seis categorías ecogeográficas distribuidas a lo largo de la Sierra ecuatoriana e incluso hacia las estribaciones orientales de la zona andina. Se identificaron condiciones climáticas dan referencia de los agroecosistemas donde se desarrolla el cultivo

6.4 SITIOS DE ALTA DIVERSIDAD ECOGEOGRÁFICA

- Las zonas con mayor variabilidad morfológica del tarwi se encuentran hacia la zona sur del país, sin embargo, es una zona con baja diversidad ecogeográfica lo que significa que existen agroecosistemas más homogéneos. El germoplasma adaptado a estas condiciones podría estar asociado a algunas características como rusticidad, resistencia a fitopatógenos y a algunas plagas.
- En jícama, aunque no se realizó la caracterización morfológica de la especie, estudios preliminares dan a conocer que la diversidad de la especie se concentra en el Sur del país, esto podría dar respuesta a la variabilidad existente. Sin embargo, la provincia de Imbabura presenta tres categorías ecogeográficas, siendo necesario evaluar la diversidad morfológica de esta provincia
- En miso es Cotopaxi la provincia que alberga el 70% de la colección y donde se registra la mayor variabilidad en formas y colores asociados a las características morfológicas de la planta. En el sur del país no hay reportes de la presencia de miso, pero alberga el mayor número de categorías ecogeográficas, esto representa la posibilidad de introducir la especie en parcelas de productores como alternativa de conservación de la especie y de diversificación de las parcelas de los agricultores, siendo necesario incentivar líneas de investigación en torno a esta especie.

REFERENCIAS

- Aguirre, A., Aguirre, N., y Muñoz, J. (2017). Biodiversidad de la provincia de Loja, Ecuador. *Arnaldoa*, 24(2), 523-542. <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v24n2/a06v24n2.pdf>
- Aguirre-Morales, A., Bonilla-Morales, M., y Caetano, C. (2016). Evaluación de la diversidad y patrones de distribución de *Passiflora* subgénero *Astrophea* (Passifloraceae) en Colombia. Un reto para la investigación taxonómica, florística y de conservación de las especies. *Acta Agronómica*, 65(4), 422-430. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n4.51444>
- Almeida, J. (2015). *Evaluación del rendimiento de cuatro ecotipos de chocho (Lupinus mutabilis) en el Centro Experimental San Francisco, en Huaca-Carchi*. [Tesis pregrado, Universidad Politécnica Estatal del Carchi]. [http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/355/1/252%20Evaluaci%
c3%b3n%20del%20rendimiento%20de%20cuatro%20ecotipos%20de%20chocho%20%28Lupinus%20mutabilis%29%2c%20en%20el%20Centro%20Experimental%20San%20Francisco.pdf](http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/355/1/252%20Evaluaci%c3%b3n%20del%20rendimiento%20de%20cuatro%20ecotipos%20de%20chocho%20%28Lupinus%20mutabilis%29%2c%20en%20el%20Centro%20Experimental%20San%20Francisco.pdf)
- Altieri, M.A., y Nicholls, C.I. (2009). Cambio climático y agricultura campesina: Impactos y respuestas adaptativas. *LEISA Revista de Agroecología*, 24(4), 5-9. <https://issuu.com/leisa-al/docs/vol24n4>
- Álvarez, G., Sánchez, S., y Uchuari, Y. (2012). *Manual técnico para el cultivo de jícama (Smallanthus sonchifolius) en Loja*. Universidad Nacional de Loja. <https://www.yumpu.com/es/document/read/14873809/manual-tecnico-del-cultivo-jicama-universidad-nacional-de-loja>
- Aniszewski, T., Kupari, MH., y Leinonen, AJ. (2001). Seed number, seed size and seed diversity in Washington lupin (*Lupinus polyphyllus* Lind.) *Annals of Botany* 87(1): 77-82.
- Aquino, V., Camarena, F., Julca, A., y Jiménez, J. (2018). Caracterización multivariada de fincas productoras de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) del Valle del Mantaro, Perú. *Scientia Agropecuaria*. 9(2): 269-279.
- Arrobo, J. (2013). La fruta de jícama una alternativa de nutrición y salud. *Revista Científica Yachana*, 2(2), 219-223. <http://revistas.ulvr.edu.ec/index.php/yachana/article/view/48>
- Balzarini M.G., González L., Tablada M., Casanoves F., Di Rienzo J.A., Robledo C.W. (2008). *Manual del Usuario*, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Barda, M., Chatzigeorgiou, T., Papadopoulos, G., y Bebeli, P. (2021). Agro-morphological evaluation of *Lupinus mutabilis* in two locations in Greece and association with insect pollinators. *Agriculture*, 11(3), 236; <https://doi.org/10.3390/agriculture11030236>
- Barrera, V., Espinosa, P., Tapia, C., Monteros, A. y Valverde, F. (2004). Caracterización de las raíces y los tubérculos andinos en la ecorregión andina del Ecuador (Capítulo 1). En: V. Barrera; C. Tapia y A. Monteros (Eds.). *Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
- Barrera, V.; Tapia, C., y Monteros, A. (eds.). (2004). *Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el*

- desarrollo (1993-2003). No.4. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Quito, Ecuador - Lima, Perú. 176 p
- Basantes, E. (2015). *Manejo de cultivos andinos del Ecuador*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10163/4/Manejo%20Cultivos%20Ecuador.pdf>
- Bennett, S.J., y Maxted, N. (1997). An ecogeographic analysis of the *Vicia narbonensis* complex. *Genetic Resources and Crop Evolution* 44, 411–428. <https://doi.org/10.1023/A:1008688919569>
- Bermejo, J., León, J. (eds) (1994) Neglected crops: 1492 from a different perspective. *Plant production and protection series* 26, 205–209
- Blanco, F. (2011). Caracterización morfológica del ecotipo local del cultivo de tarwi (*Lupinus mutabilis*) en el municipio de Carabuco del Departamento de La Paz. [Tesis pregrado, Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/10245>
- Blanco, O. (1980). *Genetic variability of tarwi (Lupinus mutabilis): I Conferencia Internacional de Lupinus*. Perú.
- Brussaard L., De Ruiter P.C., y Brown G.G. (2007). Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Vol. 121(3): 233-244. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.013>
- Cabrera, R., Sánchez, K., y Linaes, A. (2019). *Manual de manejo agronómico del yacón (Smallanthus sonchifolius (Poepp. & Endl.) H. Robinson)*. (1ra. Ed.). Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA. <https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/1056/1/Manual%20de%20manejo%20agron%C3%B3mico%20del%20yac%C3%B3n%20%28Smallanthus%20sonchifolius%20%28Poepp.%20%26%20Endl.%29%20H.%20Robinson%29..pdf>
- Caicedo, C., Murillo, A., Pinzón, J., Peralta, E., y Rivera, M. (2010). *INIAP 450 Andino. Variedad de chocho (Lupinus mutabilis Sweet)*. Plegable divulgativo N° 169. Quito, Ecuador. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2584/1/iniapscpd169.pdf>
- Caicedo, C., y Peralta, E. (1999). *Chocho, fréjol y arveja, leguminosas de grano comestible, con un gran mercado potencial en Ecuador*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Quito, Ecuador. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/510/1/iniapsci159.pdf>
- Caicedo, C., y Peralta, E. (2000). *Zonificación potencial para el cultivo de chocho. Compilado Caicedo y Peralta. Zonificación potencial, sistemas de producción y procesamiento artesanal de chocho (Lupinus mutabilis Sweet) en Ecuador*. Boletín Técnico N° 89. Programa Nacional de Leguminosas. INIAP-FUNDACYT-P-BID-206. Quito-Ecuador. 134 p. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/441/4/iniapscbt89.pdf>
- Calvache, M. (2014). El suelo y la productividad agrícola en la Sierra del Ecuador. *Memorias del XIV Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. https://www.researchgate.net/publication/303298014_EL_SUELO_Y_LA_PRODUCTIVIDAD_AGRICOLA_EN_LA_SIERRA_DEL_ECUADOR
- Canahua, A., y Román, P. (2016). Tarwi, legumina andina de gran potencial. *Leisa Revista de Agroecología*. 32(2), 20-21. <https://www.leisa-al.org/web/images/stories/revistapdf/vol32n2.pdf>
- Carrera, J. (2018). El Miso. *Allpa la voz de la tierra*. <https://www.allpa.org/el-miso/>

- Castañeda, C.B., Manrique, M.R., Ibáñez, V.L., Gamarra, C.F., Galan, L.D., y Quispe, H.P. (2002). Evaluación del Efecto Antiinflamatorio del Extracto Acuoso de las Semillas de *Lupinus mutabilis* Sweet (Tarwi, Chocho), en Animales de Experimentación. *Revista Horizonte Médico*. 2(1/2): 35-47.
- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de “El Niño” [CIIFEN]. (2011). *Informe técnico Estimación del riesgo a sequías, heladas y otros Impactos del cambio climático que pueden afectar al Sector agrícola de la serranía del ecuador, y en las Cuencas de los ríos Chone y Portoviejo*. <http://geonode.ciifen.org/documents/2648>
- Cevallos, M., Chalan, J., Ponce, M., Maigua, E. y Jiménez, R. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia San Pablo. Otavalo*.
- Chamba, M.; Suquilanda, F. y Vásquez, E. (2016). Producción y comercialización de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) en el cantón Saraguro de la provincia de Loja. *Revista Biotecnología*, 5(1), 92-102. https://issuu.com/universidadnacionaldelojo/docs/revista_biotecnologia_a_5_-_enviar
- Chía, J., López, C., Blas, R., Seminario, J., Mansilla, R., y Baudoin, JP. (2006). Diversidad genética molecular de *Mirabilis expansa* mediante RAPD. *Revista Ecología Aplicada*, 5(1), 81-86. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v5i1-2.321>
- Chirinos-Arias, M., Jiménez, E.J., y Vilca-Machaca, S.L. (2015). Análisis de la Variabilidad Genética entre treinta accesiones de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) usando marcadores moleculares ISSR. *Scientia Agropecuaria*- 6(1), 17–30. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.01.02>
- Clements, J., Sweetingham, M. W., Smith, L., Francis, G., Thomas, G., y Sipsas, S. (2008). Crop Improvement in *Lupinus mutabilis* for Australian Agriculture - Progress and Prospects. In J. A. Palta, & J. B. Berger (Eds.), *Lupins for Health and Wealth* (Fremantle, Western Australia ed., Vol. 1, pp. 244-250). International Lupin Association.
- Constitución de la República del Ecuador. *Registro Oficial N° 449*. 20 de octubre de 2008. https://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/documents/old/constitucion_de_bolsillo.pdf
- Contreras-Medina, R. (2006). Los métodos de análisis biogeográfico y su aplicación a la distribución de gimnospermas en México. *Interciencia*. 31(3), 176-182. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000300006
- Cowling, W., Buirchell, B., and Tapia, M. (1998). *Lupin. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Resources. Italy. https://www.researchgate.net/profile/Bevan-Buirchell/publication/245539353_Lupin_Lupinus_L/links/58738e1d08ae8fce4924b926/Lupin-Lupinus-L.pdf
- Cremer, H.D. (1983). Current aspects of legumes as a food constituent in Latin America with special emphasis on lupines: Introduction. *Plan Foods for Human Nutrition* 32: 95-100. <https://doi.org/10.1007/BF01091329>
- Cruz, E. (2006). *Las Leguminosas y la Nutrición Humana*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONACYT]. Ambato – Ecuador.
- Cuesta, F., Peralvo, M., Baquero, F., Bustamante., M., Merino, A., Muriel., P., Freile, J., y Torres, O. (2013). *Identificación de vacíos y prioridades de conservación en el Ecuador Continental*. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina. Quito.
- De Cara García, J. (2006). *La observación fenológica en agrometeorología*. <https://www.divulgameteo.es/uploads/Observaci%c3%b3n-fenol%c3%b3gica.pdf>
- De la Cruz, N. (2018). *Caracterización fenológica y de rendimiento preliminar de ecotipos de tarwi (Lupinus mutabilis Sweet), bajo condiciones del Callejón de Haylas-Ancash*. [Tesis

- pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3727/delacruz-delacruz-nessor-jesus.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Debouck, D., Ebert, A., Peralta, E., Barandiarán, M., y Ramírez, M. (2008). La importancia de la utilización de la diversidad genética vegetal en los programas de investigación agrícola en América Latina. *Revista Recursos Naturales y Ambiente*. 53, 46-53. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2760/3/iniapscR2008n53p46.pdf>
- Delgado, H., Pinzón, e., Blair, M., e Izquierdo, P. (2013). Evaluation of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines result of an advanced backcross between a wild accession and radical cerinza”. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*. Vol. 16 (1): 79-86.
- Demey, J., Zambrano, A., Fuenmayor, F., Segovia, V. (2003). Relación entre caracterizaciones moleculares y morfológicas en una colección de yuca. *INCI*, 28(12), 684-689. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442003001200004
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C.W. (2011). *InfoStat*. <http://www.infostat.com.ar/>
- Dorstert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M., y Weigend, M. (2009). Factsheets: Datos botánicos de Yacón. *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob. Lima-Perú. https://www.researchgate.net/publication/43178819_Factsheet_datos_botanicos_de_Yacon_Smallanthus_sonchifolius_Poepp_H_Rob
- Dosert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M., y Weigend, M. (2009). *Factsheet: Datos botánicos de Yacón Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob. (1ra. Ed). http://www.botconsult.com/downloads/Yacon_factsheet_final.pdf
- Dugje, I., Omoigui, L., Ekeleme, F., Kamara, A., y Ajeigbe, H. (2009). *Farmers guide to cowpea production in West Africa*. International Institute of Tropical Agriculture. IITA. Ibadan, Nigeria, 19p.
- Ebber, S. (2016). *Proyecto CFI “Rescate y promoción de cultivos tradicionales de la Región Andina y Conservación de biodiversidad – El Yacón”*. <http://biblioteca.cfi.org.ar/wp-content/uploads/sites/2/2008/01/47671.pdf>
- Elameen, A., Larsen, A., Klemsdal, S., Fjellheim, S., Sundheim, L., Msolla, S., Masumba, E., y Arne, Rognli, O. A. (2011). Phenotypic diversity of plant morphological and root descriptor traits within a sweet potato, *Ipomoea batatas* (L.) Lam., germplasm collection from Tanzania. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 58(3), 397-407. <https://doi.org/10.1007/s10722-010-9585-1>
- Espín, S., Villacrés, E., y Brito, B. (2004). Capítulo IV: Caracterización Físico-Química, nutricional y funcional de raíces y tubérculos andinos. En Barrera, et al. (Ed). *Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Serie 4, Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)*, (91-116). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Quito-Ecuador, Lima-Perú. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3264/1/iniapscCD55p91.pdf>
- Estrada, V., y Suárez-Duque, D. (2020). Factores socioambientales que favorecen la conservación in situ de tubérculos alto andinos nativos en los cantones de Colta y Guamote en Chimborazo, Ecuador. *Sociedad y Ambiente* (22):72-96. <https://doi.org/10.31840/sya.vi22.2081>
- Estrella, E. (1998). *El Plan de América. Ethnohistoria de los alimentos borígenes del Ecuador*. (3era ed.). FUNDACYT. Ecuador.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2007). *Las ADRS y la agrobiodiversidad*. <http://www.lamolina.edu.pe/postgrado/pmdas/cursos/diversidad/lecturas/apoyo/SARD-agri-biodiversity%20-%20spanish.pdf>
- FAO. (13 de junio de 2021). *Programa CAPFITOGEN para el Fortalecimiento de las Capacidades Nacionales en Recursos Fitogenéticos*. <http://www.fao.org/plant-treaty/herramientas/capfitogen/es/>
- FAO. (2009). *Estado de los recursos fitogenéticos para la agricultura y la alimentación (RFAA) en Bolivia*. http://www.cropwildrelatives.org/fileadmin/templates/cropwildrelatives.org/upload/In_situ_Manual/state_of_the_world_Bolivia.pdf
- FAO. (2009). *Tratado internacional sobre los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura*. <http://www.fao.org/3/i0510s/i0510s.pdf>
- FAO. (2013). *Genebank standards for plant genetic resources for food and agriculture*. Rome. <http://www.fao.org/3/i3394e/i3394e.pdf>
- FAO. (2017). *Carbono orgánico del suelo: El potencial oculto*. Italia. <http://www.fao.org/3/i6937s/i6937s.pdf>
- FAO. (2018). *Evaluación Final del Proyecto “Incorporación del uso y conservación de la agro-biodiversidad en las políticas públicas a través de estrategias integradas e implementación in situ en cuatro provincias alto andinas”* GCP/ECU/086/GFF GEF ID 4777. <http://www.fao.org/3/CA1270ES/ca1270es.pdf>
- Fisher, R.A. (1936). The Use of Multiple Measurements in Taxonomy Problems. *Annals of eugenics*, 7(2), 179-188. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1936.tb02137.x>
- Fitzpatrick, M.C., Gove, A.D., Sanders, N.J. and Dunn, R.R. (2008). Climate change, plant migration, and range collapse in a global biodiversity hotspot: the Banksia (Proteaceae) of Western Australia. *Global Change Biology*. 14(6), 1337-1352. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01559.x>
- Flores, H.E., Walker, T.S., Guimarães, R.L., Bais, H. P., y Vivanco, J.M. (2003). Andean root and tuber crops: Underground rainbows. *HortScience*, 38(2), 161-167.
- Flores, H.E., Walker, T.S., Guimarães, R.L., Bais, H.P., y Vivanco, J. M. (2003). Andean root and tuber crops: Underground rainbows. *HortScience*, 38(2), 161-167. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.38.2.161>
- Franco, S. y Rodríguez, J. (1988). *Multipliación por esquejes del chago, miso o mauka (Mirabilis expansa)*. *Memorias el VI Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Franco, T., e Hidalgo, R. (2003). *Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos*. Boletín Técnico Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI) N°. 8. Bioersity International. https://www.bioersityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/An%C3%A1lisis_estad%C3%ADstico_de_datos_de_caracterizaci%C3%B3n_morfol%C3%B3gica_de_recursos_fitogen%C3%A9ticos_894.pdf
- Frick, K.M., Kamphuis, L.G., Kadambot, H., Siddique, M., Singh, K.B., and Foley, R.C. (2017). Quinolizidine Alkaloid Biosynthesis in Lupins and Prospects for Grain Quality Improvement. *Frontiers in Plant Science*, 8(87), 1-12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00087>
- Galantini, J., y Rosell, R. (2006). Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid Pampean soils. *Soil and Tillage Research* 87(1), 72-79. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.032>

- Galex, R., Zalewski D., Kozak, B., y Sawicka-Sienkiewicz, E. (2015). Pheno-morphological and agronomic diversity in a collection of wild and domesticated species of the genus *Lupinus*. *Turkish Journal of Field Crops*, 20(1), 43-48. <https://doi.org/10.17557/08197>
- García, L., y Schlatter, J. (2012). Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 7(3), 456-464. <http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=v7i3a1736>
- Gendall, H. (2017). *Rememberg mauka. Biocultural diversity conservation and the case the 'lost' andean crop Mirabilis expansa (Ruíz & Pav.) Standley*. [Tesis postgrado Agricultural Development, University Copenhagen].
- Gendall, H., Seminario, J., Sorensen, M., y Theilade, I. (2019). Unearthing the “Lost” Andean Root Crop “Mauka” (*Mirabilis expansa* [Ruíz & Pav.] Standl.). *Economic Botany*, 73(4), 443-460. <https://doi.org/10.1007/s12231-019-09467-y>
- Gendall, H., Seminario, J., Sorensen, M., y Theilade, I. (2019). Unearthing the “Lost” Andean Root Crop “Mauka” (*Mirabilis expansa* [Ruíz & Pav.] Standl.). *Economic Botany*, 73, 443-460. <https://doi.org/10.1007/s12231-019-09467-y>
- Georgieva, N. A., Kosev, V. I., Genov, N. G., & Butnariu, M. (2018). Morphological and biological characteristics of white lupine cultivars (*Lupinus albus* L.). *Romanian Agricultural Research*, 35, 109-119. https://www.researchgate.net/publication/323748723_Morphological_and_biological_characteristics_of_white_lupine_cultivars_Lupinus_albus_L
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Antonio Ante. (2019). *Chaltura*. <https://www.antonioante.gob.ec/AntonioAnte/index.php/canton/simbolos-del-canton/17-canton/98-chaltura>
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Imbabura (2015). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia de Imbabura 2015-2035*. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1060000180001_PDO_T%20IMBABURA%202015-2035_SIGAD_15-08-2015_22-50-42.pdf
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia de Chimborazo. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Chimborazo*. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0660000280001_PDy_OT%20FINAL%20-%20160516%2013y50_16-05-2016_19-06-53.pdf
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Eloy Alfaro. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Eloy Alfaro 2014-2022*. <http://www.prefecturadeesmeraldas.gob.ec/web/assets/canton-pdot-eloy-alfaro.pdf>
- Gómez, C., Bermejo, L.M., y Loria, V. (2011). Importance of a balanced omega 6/omegam3 ratio for the maintenance of health. Nutritional recommendations. *Nutrición Hospitalaria*, 26(2), 323-329. https://scielo.isciii.es/pdf/nh/v26n2/13_original_06.pdf
- Gómez, K. (2010). *Análisis de la representatividad de la biodiversidad e identificación de sitios prioritarios para la conservación de la XIV Región de Los Ríos*. [Tesis pregrado, Universidad Austral de Chile]. Repositorio institucional - Universidad Austral de Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/fifg633a/doc/fifg633a.pdf>
- Gower, J. (1967). A comparison of some methods of cluster analysis. *Biometrics*. 23: 623-627.
- Grau, A. y Rea, J. (1997). Yacón *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl) H. Robinson. En M. Hermann., y J. Heller. *Andean roots and tubers: Achipa, arracacha, maca and yacon*. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Reserch [IPGRI]. (pp. 200-239).

- https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/migrated/uploads/tx_news/Andean_roots_and_tubers_472.pdf
- Gross, R., Von Baer, E., Koch, F., Marquard, R., Trugo, L., y Wink, M. (1998). Chemical composition of a new variety of the Andean Lupin (*Lupinus mutabilis* cv. Inti) with low-alkaloid content. *Journal of Food Composition and Analysis*. 1(4), 353-361. [https://doi.org/10.1016/0889-1575\(88\)90035-X](https://doi.org/10.1016/0889-1575(88)90035-X)
- Guarino L, Jarvis A, Hijmans RJ, Maxted N. (2002). Chapter 36. Geographic information systems (GIS) and the conservation and use of plant genetic resources. In: J. Engels., R. Ramanatha., A. Brown., and T. Jackson (Eds). *Managing plant genetic diversity. Proceedings of an international conference, Kuala Lumpur, Malaysia*. https://www.diva-gis.org/docs/gis_pgr_conservation.pdf
- Guaytarilla, P., y Falconí, C. (2014). Selección pro arquitectura de la planta y resistencia a la Antracnosis de 7 Genotipos de chocho (*Lupinus mutabilis*). In *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*. 9(1), 63-70.
- Güemes-Vera, N., Peña-Bautista, R.J., Jiménez-Martínez, C., Dávila-Ortiz, G., y G. Calderón Domínguez. (2008). Effective detoxification and decoloration of *Lupinus mutabilis* seed derivatives, and effect of these derivatives on bread quality and acceptance. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88: 1135-1143. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3152>
- Guilengue, N., Alves, S., Talhinhos, p., y Neves-Martins, J. (2020). Genetic and genomic diversity in a tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) germplasm collection and adaptability to Mediterranean climate conditions. *Agronomy*, 10(1), 1-24. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010021>
- Guilano, A., Alves, S., Martins, J. and L. Trindade. (2019). Genetics and Breeding of *Lupinus mutabilis*: An Emerging Protein Crop. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1385. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01385>
- Hardy, A., Huyghe, C., Rahim, M.A., Roemer, P., Neves-Martins, J.M., Sawicka-Sienkiewicz, E., and Caligari, P.D. (1998). Effects of genotype and environment on architecture and flowering time of indeterminate Andean lupins (*Lupinus mutabilis* Sweet). *Australian Journal of Agricultural Research*. 49, 1241-1252. <https://doi.org/10.1071/A98060>
- Hawkes, J.G. (1989). *The domestication of roots and tubers in the American tropics*. London, UK.
- Hellen, J., y Higman, S. (2006). Crop diversity and livelihood security in the andes. *Development in Practice*, 15(2), 165-174. <http://dx.doi.org/10.1080/09614520500041344>
- Hernández, E. (2013). Caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. *Revista Bio Ciencias* 2(3): 113-118.
- Hernández, J., y León, J. (1992). *Cultivos marginados, otra perspectiva de 1942*. Colección FAO: Producción y protección vegetal N° 26. <http://www.fao.org/3/t0646s/t0646s.pdf>
- Hernández-Verdugo, S., Porras, F., Pacheco-Olvera, A., López-España, R., Villarreal-Romero, M., Parra-Terraza, S., y Osuna, E. (2012). Caracterización y variación ecogeográfica de poblaciones de chile (*Capsicum annum* var. *Glabriusculum*) silvestre del noroeste de México. *Polibotánica*, 33: 175-191
- Hidalgo-Proano, M. (2017). Variabilidad climática interanual sobre el Ecuador asociada a ENOS. *CienciAmérica*, 6(2), 42-47. <http://cienciamerica.uti.edu.ec/openjournal/index.php/uti/article/view/82>
- Hinostroza, F., Mendoza, M., Navarrete, M., y Muñoz, X. (2014). *Cultivo de yuca en Ecuador*. Boletín Divulgativo N°436. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5214/1/INIAPEEPbd436.pdf>

- Hondelmann, W. (1984). The lupin ancient and modern crop plant. *Theoretical and Applied Genetics*, 68, 1-9.
- Huanca Ticona, M. E., Chipana Rivera, R., Figueredo Fernández, F., y Chipana Mendoza, G. J. (2018). Comportamiento de dos ecotipos de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) bajo riego deficitario controlado y temperaturas bajas extremas en la Estación Experimental Choquenaira. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 5(2), 16-28. http://www.scielo.org.bo/pdf/riiarn/v5n2/v5n2_a04.pdf
- Huisa, J. (2018). *Evaluación del comportamiento agronómico de catorce accesiones del ensayo nacional de tarwi (Lupinus mutabilis Sweet.) en el CIP Camacani Puno-Perú*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/11381/Huisa_Huarcaya_Javier.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hunter, D., y Heywood, V. (2011). *Parientes silvestres de los cultivos: manual para la conservación in situ*. Bioersity International. Italia. (1ª ed.) https://www.bioersityinternational.org/fileadmin/migrated/uploads/tx_news/Parientes_silvestres_de_los_cultivos_1641.pdf
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. (1997). *Estudios poscosecha de la calidad de raíces y tubérculos andinos para establecer posibles usos y aplicaciones. Informe técnico de avances*. Subproyecto RTA No 5 R7-040. Período agosto 1996 a diciembre 1997.
- Instituto Nacional de Biodiversidad [INABIO]. (2019). *Metas AICHI. 13: Diversidad genética mantenida*. Recuperado el 10 de enero 2021, de <http://inabio.biodiversidad.gob.ec/2019/01/30/13-diversidad-genetica-mantenida/>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. (2002). III Censo Nacional Agropecuario. Resultados Nacionales. Ecuador. Resultados nacionales. Vol.1. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/CNA/Tomo_CNA.pdf
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP] y Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca [MAGAP, ahora MAG]. (2016). *Promover la resiliencia de los sistemas productivos para disminuir la vulnerabilidad de familias de pequeños productores a través de la revalorización de cultivos postergados del género Lupinus*. <https://www.iniap.gob.ec/pruebav3/wp-content/uploads/2018/05/Proyecto%20LUPINO.pdf>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP] y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2017). *La Biodiversidad para la agricultura y la alimentación en Ecuador: Estado actual y proyecciones de su uso sustentable y conservación (Resumen del Informe)*. FAO. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/4772/1/iniapsc360.pdf>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. (2002). *Raíces y tubérculos andinos: Alimentos de ayer para la gente de hoy. Recetas para una alimentación sana y nutritiva*. INIAP.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. (2016). *Proyecto: Apoyo a la seguridad alimentaria en comunidades de las provincias Cotopaxi, Chimborazo y Cañar, Ecuador; a través de los cultivos de quinua, chocho y amaranto. Informe de resultados, Cantón Cañar, Cañar*. INIAP, EKORURAL, The Mcknight Foundation <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3943/1/iniapsc352.pdf>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. (2017). *Informe anual 2017*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/4800/1/iniapscIARF2017.pdf>

- International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR). (1981). *Lupin Descriptors - Descriptores de Lupinos*. Roma. https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/bioversity/publications/Web_version/103/begin.htm#Contents.
- Jacobsen, S., Mujica, A., y Ortiz, R. (2003). La importancia de los Cultivos Andinos. *Fermentum. Revista Venezolana de Sociología y Antropología*, 13(36), 14-24. <https://www.redalyc.org/pdf/705/70503603.pdf>
- Jacobsen, S., y Mujica, A. (2006). El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. *Botánica Económica de los andes centrales*, 28(1), 458-482. <https://beisa.au.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2028.pdf>
- Jacobsen, S., y Mujica, A. (2008). Geographical distribution of the Andean lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet). *Plant Genetic Resources Newsletter*. 155, 1-8. http://www.bioversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/NL_155_complete.pdf
- Jarvis, A., Lane, A., Hijmans, R.J. (2008). The effect of climate change on crop wild relatives. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 126(1-2), 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.01.013>
- Klášková, T. y Fernández, C. (2011). Mauka – a promise for fighting with the unbalanced nutrition of high Andean regions. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 44(1), 37-40. http://agriculturaitz.czu.cz/pdf_files/vol_44_1_pdf/klaskova.pdf
- Kómetter, R. (2011). *Ecosistemas forestales andinos en el Perú: una visión de las experiencias y perspectivas del manejo forestal*. Serie Investigación y Sistematización, número 24. Programa Regional ECOBONA-COSUDE. Perú. <http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/1575.pdf>
- Lagunes-Espinoza, L., López-Upton, J., García-López, E., Jasso-Mata, J., Delgado-Alvarado., y García, G. (2012). Diversidad morfológica y concentración de proteína de *Lupinus* spp. en la región Centro-Oriental del Estado de Puebla, México. *Acta Botánica Mexicana* 99: 73-90. <http://www.scielo.org.mx/pdf/abm/n99/n99a5.pdf>
- Leakey, C.L.A. (1988). *Genotypic and Phenotypic Markers in Common Bean*. In: Gepts P. (eds) Genetic Resources of Phaseolus Beans. Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture, vol 6. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-009-2786-5_12
- Lema, B. (2020). *Evaluación del comportamiento agronómico de ocho genotipos seleccionados de tarwi (Lupinus mutabilis Sweet.) bajo condiciones del CIP, Camacani-UNA-Puno*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/15873/Lerma_Cayo_Beatriz.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Lema, M., y Lindner, R. (2002). *Caracterización y evaluación de poblaciones de Lupinus hispanicus de Galicia*. Actas de Horticultura. Nº 34. Congreso de mejora genética de plantas. https://digital.csic.es/bitstream/10261/163757/1/Lema_Caracterizacion_evaluacion...pdf
- Lescay, E., Vásquez, y., y Celeiro, F. (2004). Variabilidad y relaciones fenotípicas en variables morfoagronómicas en genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Centro Agrícola*. Vol.44 (4). 58-64p.
- Ley Orgánica de Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de Agricultura Sustentable. *Registro Oficial Suplemento N° 10*. 08 de junio de 2017. <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-11/Ley-Org%C3%A1nica-de-Agrobiodiversidad-Semillas-y-Fomento-de-la-Agricultura-Sustentable.pdf>

- Lezcano, J. (1994). *Quinua, kañihua, tarwi, kiwicha, papa amarga, olluco, mashua y oca*. Puno, Perú: Programa Interinstitucional de Waru Waru: INADE (Organización), Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca y Cooperación Técnica Suiza.
- Ligarreto, G. A. 2003. Caracterización morfológica de germoplasma. Estudios de casos. Caso 2: Análisis de la variabilidad genética en frijol. In: Franco, T., y R. Hidalgo (eds). *Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos*. Boletín Técnico 8. IPGRI. Roma, Italia. pp: 40-49.
- Lim, T.K. (2015). *Edible medicinal and non-medicinal plants*. Vol. 9. Modified Stems, Roots, Bulbs. DOI 10.1007/978-94-017-9511-1_1
- Lopera-Marín, J., Angulo-Arizala, J., Murgueitio Restrepo, E., y Mahecha-Ledesma, L. (2020). Producción de tubérculos y biomasa aérea del yacón, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob. (Asteraceae), para alimentación animal en el trópico alto colombiano. *Livestock Research for Rural Development*, 32(8). <http://www.lrrd.org/lrrd32/8/jjlop32135.html>
- Malpica D., y Varela, W. (2017). *Técnicas y estrategias andinas de adaptación al cambio climático. Manual de capacitación e implementación*. GRUPIDES. <http://grufides.org/sites/default/files/documentos/publicaciones/ManCapacitcTecEstrategAndAdaptcC.Cl.pdf>
- Mamani, P.; Calisaya, J.; Vallejos, J. y Gandarillas, A. (2015). *Revalorizando el Tarwi. Una alternativa para promover la resiliencia de los sistemas productivos andinos y la mejora de la seguridad alimentaria y la economía local*. Fundación PROINPA. Informe Compendio 2011-2014. Cochabamba - Bolivia. https://www.proinpa.org/publico/Informe_compendio_2011_2014/tarwi.pdf
- Manrique, I., Hermann, M., y Bernet, T. (2004). *Yacón. Ficha técnica*. Centro Internacional de la Papa (CIP). Perú. <https://core.ac.uk/download/pdf/48032371.pdf>
- Mansilla, R., López, C., Blas, R., Chia, J., y Baudoin, J. (2006). Análisis de la variabilidad molecular de una colección peruana de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp & Endl) H. Robinson "Yacón". *Ecología Aplicada*, 51(1-2), 75-80. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162006000100010
- Mantel, N. (1967). The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Research*, 27(2), 209-220. https://cancerres.aacrjournals.org/content/canres/27/2_Part_1/209.full.pdf
- Márquez, C. (15-07-2020). 600 familias productoras de chochos lograron una certificación de buenas prácticas agrícolas en esta pandemia. El Comercio. Recuperado de: <https://www.elcomercio.com/actualidad/chocho-union-familias-chimborazo-comercializacion.html>
- Márquez, C. (2016). La siembra de chocho es más rentable. *Revista Líderes*, 25. <https://www.revistalideres.ec/lideres/siembra-chocho-produccion-chimborazo.html#:~:text=El%20precio%20estable%20del%20chocho,la%20siembra%20de%20la%20leguminosa>
- Martín, L., López, R., y Haro, A. (1985). Análisis de las relaciones entre caracteres de interés agronómico en *Lupinus albus* L. *Revista Pastos*. 15(1-2): 75-85. <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/497/1043>
- Martínez, E., Fuentes, J. P., y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68-96. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcsuelo/v8n1/art06.pdf>
- Martínez-Castillo, J., May-Pa, F., Zizumbo-Villareal, D., y García-Martín, P. (2004). Diversidad intraespecífica del ib (*Phaseolus lunatus* L.) en la agricultura tradicional de la península de Yucatán, México. En: Chávez-Servia, J.L., Tuxill, J., y Jarvis, D.I. (eds).

- Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia.
- Mazón, N. (2018). El chocho o tarwi como recurso genético de la región andina [Seminario online]. Mercado, G (Ed). *Los caminos del tarwi y la integración andina: Bolivia, Perú y Ecuador*. Bolivia.
https://www.researchgate.net/publication/329842526_Los_caminos_del_tarwi_y_la_integracion_andina_Bolivia_Peru_y_Ecuador
- Meneses, R. (1996). *Las leguminosas en la agricultura boliviana. Proyecto. Rhizobiología Bolivia*. CIAT-CIFPNLG-CIFP-WALL. Bolivia.
- Meza, G. (1995). *Varietades Nativas de Llacón (Polymnia sonchifolia K.) en Cusco. Manejo de la Biodiversidad de raíces y tubérculos andinos*. Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Universidad San Antonio Abad, Cusco.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca [MAGAP, ahora MAG]. (2014). *Zonificación agroecológica económica del cultivo de chocho (Lupinus mutabilis) en Ecuador Continental*. <https://fliphtml5.com/ijia/ligk/basic>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca [MAGAP, ahora MAG]. (2015). *Memoria técnica Cantón Cañar/Bloque 2.4. Proyecto: "Levantamiento de cartografía temática escala 1:25.000, Lote 2"*. http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Memoria_tecnica_Coberturas_CA%C3%91AR_20150415.pdf
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca [MAGAP, ahora MAG]. (2016). *La política agropecuaria ecuatoriana: hacia el desarrollo territorial rural sostenible: 2015-2025. I. Parte*. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu183434.pdf>
- Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE). (2013). *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador Continental*. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito. <http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/NIVEL%20NACIONAL/MAE/ECOSISTEMAS/DOCUMENTOS/Sistema.pdf>
- Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE). (2016). *Estrategia Nacional de Biodiversidad 2015-2030*. Ecuador. <http://maetransparente.ambiente.gob.ec/documentacion/WebAPs/Estrategia%20Nacional%20de%20Biodiversidad%202015-2030%20-%20CALIDAD%20WEB.pdf>
- Monteros-Altamirano, A., Tacán, M., Peña, G., Tapia, C., Paredes, N., y Lima, L. (2018). Guía para el manejo de los recursos fitogenéticos en Ecuador. Protocolos. *Publicación miscelánea* No. 432.
- Morillo L. (1998). *Análisis de polimorfismo en las colecciones de jícama (Polymnia sonchifolia P&E) y miso (Mirabilis expansa R. & P.) del banco de germoplasma de INIAP*. [Tesis Licenciado Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica del Ecuador].
- Muenala, N. (2019). *Evaluación de la variabilidad genética del miso Mirabilis expansa Ruiz & Pav. Standley*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9112/1/03%20AGP%20241%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Mujica, A. (1990). *Investigación y producción del tarwi (Lupinus mutabilis Sweet.) en el Perú*. INIAA, PICA. Lima.
- Mujica, A. (1992). Granos y leguminosas andinas. En: J.E, Hernández., y J. León (Eds.), *Cultivos marginados otra perspectiva de 1542* (pp. 129-146). Colección FAO, Producción y Protección Vegetal 26. <http://www.fao.org/3/t0646s/t0646s.pdf>

- Mujica, A., Jacobsen, S.E., e Izquierdo, J. (2001). Resistencia a factores adversos de la quinua. En: A. Mujica., y Jacobsen, S. *Lost Crops of the Incas: Little-Known Plants of the Andes With Promise for Worldwide Cultivation*. National Academy Press.
- Muñoz, A. (2010). *Monografía: Yacón *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob.* https://repositorio.promperu.gob.pe/bitstream/handle/123456789/1374/Monografia_yacon_2010_keyword_principal.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Fonseca, G.A., y Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853–858. <http://doi.org/10.1038/35002501>
- Naranjo, E. (2017). *Caracterización eco-geográfica en tres especies tuberosas alto andinas del Ecuador: Melloco (*Ullucus tuberosus* C.), Oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) y Mashua (*Tropaeolum tuberosum* R. y P.)*. [Tesis de posgrado, Universidad de Granma].
- Naranjo, E., Tapia, C., Velásquez, R., Cruz, Y., Delgado, A., Borja, E., y Paredes, N. (2017). Caracterización eco-geográfica de melloco (*Ullucus tuberosus* C.) en la región alto Andina del Ecuador. *Revista de las Agrociencias*, 19(1), 31-46. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i19.953
- National Research Council. (1989). *Lost crops of the Incas*. National Academy Press.
- Navarrete, K. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia “La Sofía”*. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0460022960001_DIAGNO_STICO%20LA%20SOFIA_29-10-2015_23-20-33.pdf
- Neill, D. y Ulloa, C. (2011). *Adiciones a la flora del Ecuador: Segundo suplemento, 2005-2010*. Fundación Jatun Sacha.
- Ochoa-Zavala, M., Suárez-Montes, P., Chávez-Pesqueira, M., López-Cobos, D., Figueredo, C., David, A., Raquel, H., Lazo, Y., Sibile, S., Villanueva, R., Aviles, W., Cárdenas, J., Corrales, M., Montesinos, L., Quispe, R., Torres, I., y Casa, A. (2016). Diferencias en morfología y visitantes florales entre *Lupinus mutabilis* y *Lupinus* aff. *ballianus* en la microcuenca de Warmiraga, Perú. En A. Casas., J. Torres-Guevara., y F. Parra (Eds). *Domesticación en el Continente Americano, Volumen 1: Manejo de biodiversidad y evolución dirigida por las culturas del Nuevo Mundo*.
- Ollague, J., Capa, L., Novillo, E., Sánchez, T., Sánchez, L., y García, M. (2019). Variables sociales, económicas y productivas con referente de posicionamiento nacional de la provincia de El Oro, Ecuador. *Revista Espacios*, 40(37), 13. <https://www.revistaespacios.com/a19v40n37/a19v40n37p13.pdf>
- Ortega-David, E., Rodríguez, A., David, A. y Zamora-Burbano A. (2010). Caracterización de semillas de *Lupinus mutabilis* sembrado en los andes de Colombia. *Acta agronómica*, 59(1),111-118. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/14094
- Pablo-Pérez, M., Lagunes-Espinoza, LC., López-Upton, J., Ramos-Juárez, J., y Aranda-Ibáñez, E. (2013). Morfometría, germinación y composición mineral de semillas de *Lupinus silvestres*. *Revista Bioagro* 25(2): 101-108. <http://ve.scielo.org/pdf/ba/v25n2/art03.pdf>
- Paredes, N. y Tapia, C. (2014) Centro de Bioconocimiento para Desarrollo Agrario (CBDA). *Publicación Miscelánea N° 417*. INIAP. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2724/1/iniapscpm417.pdf>
- Park, S.W., Stevens N.M. y Vivanco, J.M. (2002). Enzymatic specificity of three ribosome-inactivating proteins against fungal ribosomes, and correlation with antifungal activity. *Planta*, 216, 227-234. <https://doi.org/10.1007/s00425-002-0851-0>
- Parra-Quijano, M., Draper, D., Torres, E., e Iriondo, J.M. (2008). Ecogeographical representativeness in crop wild relative ex situ collections. En: N. Maxted., B.V. Ford-

- Lloyd., S.P. Kell., J.M. Iriondo., M.E. Dulloo., y J. Turok. (Eds.). *Crop wild relative conservation and use*. (pp. 249- 273).
- Parra-Quijano, M., Iriondo, J.M., y Torres E. (2012a). Ecogeographical land maps as a tool for assessing plant adaptation and their implications in agrobiodiversity studies. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59, 205–217. <https://doi.org/10.1007/s10722-011-9676-7>
- Parra-Quijano, M., Iriondo, JM., y Torres, E. (2012b). Applications of ecogeography and geographic information systems in conservation and utilization of plant genetic resources. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 10(2), 419-429. <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2012102-303-11>
- Parra-Quijano, M., Torres, E., Iriondo, J., y López, F. (2015). *Manual de usuario herramientas CAPFITOGEN. Tratado Internacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura*. FAO.
- Peralta, E. (2010). Producción y distribución de semilla de buena calidad con pequeños agricultores de granos andinos: chocho, quinua, amaranto. *Publicación Miscelánea No. 169*. INIAP. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2715/1/iniapscpm169.pdf>
- Peralta, E. (2016). *El Chocho en Ecuador. "Estado de Arte"*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3938/1/iniapscdpCD99.pdf>
- Peralta, E., Mazón, N., Murillo, A., Rivera, M., y Rodríguez, D., (2014). *Manual agrícola de granos andinos: Chocho, Quinua, Amaranto y Ataco. Cultivos, variedades y costos de producción*. (4ta ed). Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Publicación Miscelánea N° 69. Ecuador. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2418/4/iniapscpm69.pdf>
- Peralta, E., Murillo, A., Mazón, N., Villacrés, E., y Rivera, M. (2013). *Catálogo de variedades mejoradas de granos andinos: chocho, quinua, amaranto y sangorache, para la Sierra ecuatoriana*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Publicación Miscelánea N°. 151. (3ra Ed). Ecuador. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2713/1/iniapscpm151%283%29.pdf>
- Peralta, E., Murillo, A., y Mazón, N. (2015). *Línea del tiempo. Mejoramiento genético de los granos andino en Ecuador: quinua, chocho, amaranto y ataco*. INIAP, MAG. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2726/1/iniapscpm420.pdf>
- Peralta, E., Rivera, M., Murillo, A., Mazón, N., y Monar, C. (2010). *INIAP 451 Guaranguito. Nueva variedad de chocho para la provincia de Bolívar*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Boletín Divulgativo N° 382. Ecuador. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/330/4/iniapscbd382.pdf>
- Peralta, E., Villacrés, E., y Mazón, N. (2015). *Granos andinos: quinua, chocho, amaranto y ataco. Valor nutricional y funcional*. Boletín divulgativo N° 430. INIAP. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3940/1/iniapscbd430.pdf>
- Peralta, E., y Villacrés, E. (2015). 100 recetas prácticas usando quinua, chocho y amaranto. *Publicación Miscelánea N° 421*. INIAP. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2727/1/iniapscpm421.pdf>
- Pérez, N., Mullo, H., y Marcatoma, J. (2020). Análisis del cambio climático en un ecosistema alto andino, Riobamba-Ecuador. *Perfiles*, 23(1), 4-11. <http://ceaa.esPOCH.edu.ec:8080/revista.perfiles/Articulos/Perfiles23Art1.pdf>
- Polanco Puerta, M., y Augusto García, M. (2013). Caracterización morfológica y molecular de materiales de yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poep. & Endl) H. Robinson colectados en la ecorregión Eje Cafetero de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 4 (2), 97-116. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/981>

- Popenoe H, King SR, León J, Kalinkowski LS, Vietmeyer ND, Dafforn M. (1989). *Lost crops of the Incas. Little known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation*. National Research Council.
- Portilla, F. (2018). *Agroclimatología del Ecuador*. (1ra. Ed). Abya-Yala.
- Pourrut, P. (1983). *Los climas del Ecuador: Fundamentos explicativos*. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-10/21848.pdf
- Pourrut, P., Gómez, G.; Bermeo, A.; Segovia, A. (1995). Factores condicionantes de los regímenes climáticos e hidrológicos. En: P. Pourrut (Ed.). *El agua en el Ecuador. clima, precipitaciones, escorrentía*. Corporación Editora Nacional, Colegio de Geógrafos del Ecuador, ORSTOM.
- Prado, J. Gómez, M. Aragón, M. y Chalampiente, D. (2017). Manejo de plantas silvestres para el incremento de artrópodos benéficos en la granja experimental La Pradera, Chaltura. En M. Cevallos., T. Sánchez., M. Naranjo., M. Posso., J. García., Y. Reascos., y L. Yépez (Ed). *Generando Ciencia, II Jornadas Internacionales Investigación Científica, 1er Foro de Investigación "Desafíos actuales de la Sociedad del Conocimiento"* (175- 182 pp). Editorial UTN. <https://issuu.com/utnuniversity/docs/ebook-ii-jornadas-internacionales-u/175>
- Pumisacho, M., y Sherwood, S. (Eds) (2002). *El cultivo de la papa en Ecuador*. (1ra edición). INIAP, CIP. <https://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.pdf>
- Ramos, R. (1997). *Respuesta de tres raíces andinas: Zanahoria blanca (Arracacia xanthorrhiza B.), Miso (mirabilis expansa R & P.) y Jícama (Polymnia sonchifolia P & E.); dos pastos y una mezcla forrajera, al efecto de tres sistemas agroforestales preestablecidos*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca. Ecuador].
- Ravelo, AC., y Planchuelo, AM. (2003). Aptitud agroecológica de la pradera pampeana argentina para el cultivo del lupino blanco (*Lupinus albus* L.). *Agriscientia*, 20, 35-44. DOI: <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v20.n0.2829>
- Rea, J. (1982). El Miso Una Contribución de la Agricultura Pre-Inca de Ecuador y Bolivia. *Desde el Surco*, 5 23-26.
- Rea, J. (2004). Conservación y manejo in situ de recursos fitogenéticos agrícolas en Bolivia. En: J. Seminario. (ed.). *Raíces Andinas: Contribuciones al conocimiento y a la capacitación. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)* Universidad Nacional de Cajamarca, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. (pp.49-64). http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/06/01_Origen_raices_andinas.pdf
- Rehfeldt, G.E., Crookston, N.L., Sáenz-Romero, C., and Campbell, E. (2012). North American vegetation analysis for land use planning in a changing climate: a statistical solution to large classification problems. *Ecological Applications*, 22(1), 119-141. https://www.fs.fed.us/rm/pubs_other/rmrs_2012_rehfeldt_g001.pdf
- Rivera, M., Pinzón, J., Caicedo, C., Murillo, A., Mazón, N., y Peralta, E. (1998). *Catálogo del banco de germoplasma del chocho (Lupinus mutabilis Sweet) y otras especies de Lupinus*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Ecuador. <https://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/bitstream/41000/511/1/iniapsci160.pdf>
- Robinson, H. (1978). Studies in the Heliantheae (Asteraceae). XII. Reestablishment of the genus *Smallanthus*. <https://ia803209.us.archive.org/4/items/biostor-63133/biostor-63133.pdf>

- Rojas, W. (2003). Análisis de la variabilidad genética en quinua. En: T. Franco y R. Hidalgo (Eds). *Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos*. Boletín técnico No. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p.
[https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/migrated/uploads/tx_news/An%C3%A1lisis estad%C3%ADstico de datos de caracterizaci%C3%B3n morfol%C3%B3gica de recursos fitogen%C3%A9ticos_894.pdf](https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/migrated/uploads/tx_news/An%C3%A1lisis%20estad%C3%ADstico%20de%20datos%20de%20caracterizaci%C3%B3n%20morfol%C3%B3gica%20de%20recursos%20fitogen%C3%A9ticos_894.pdf)
- Rojas, W., Soto, J.L., Pinto, M., Jager, M., y Padulosi, S. (Ed). (2010). *Granos Andinos. Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia*. Biodiversity International. Italia.
[https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/migrated/uploads/tx_news/Granos andinos avances logros y experiencias desarrolladas en quinua cañahua y amaranto en Bolivia 1413.pdf](https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/migrated/uploads/tx_news/Granos_andinos_avances_logros_y_experiencias_desarrolladas_en_quinua_ca%C3%B1ahua_y_amaranto_en_Bolivia_1413.pdf)
- Ruales, J., Pólit, P., and Nair, B.M. (1988). Nutritional quality of blended foods of rice, soy and lupins, processed by extrusion. *Food Chemistry*. 29(4), 309-321.
[https://doi.org/10.1016/0308-8146\(88\)90046-5](https://doi.org/10.1016/0308-8146(88)90046-5)
- Ruiz, J., Durán, N., Sánchez, J., Ron, J., González, D., Holland, J., and Medina, G. (2008). Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 Mexican maize races. *Crop Science*, 48(4), 1502– 1512. doi:10.2135/cropsci2007.09.0518
- Russión, G., Agosta, E., y Compagnucci, R. (2015). Variaciones en bajas frecuencias de la precipitación estacional en la región Pampa Amarilla y posibles forzantes. *Meteorológica*, 40(1), 17-42.
<https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/46451/CONICET.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Sadaki, M., Jarvis D., Bajracharya, J., Hue, N., Camacho-Villa, T., Burgos-May, L., Sawadogo, M., Balma, D., Lope, D., Arias, L., Mar, I., Karamura, D., Williams, D., Chávez-Servia, L., Sthapit, B., y Rao, V. (2011). Capítulo 3. Nombres de variedades: ¿Son los nombres de las variedades un punto de entrada a la diversidad genética de los cultivos y a su distribución en los agroecosistemas? En Jarvis, D., Padoch, C., y Cooper, H. (Eds). *Manejo de la agrobiodiversidad en los ecosistemas agrícolas*. Biodiversity International.
[https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/migrated/uploads/tx_news/Manejo de la biodiversidad en los ecosistemas agrícolas 1514.pdf](https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/migrated/uploads/tx_news/Manejo_de_la_biodiversidad_en_los_ecosistemas_agricolas_1514.pdf)
- Scheldeman X, van Zonneveld M (2010) *Training Manual on Spatial Analysis of Plant Diversity and Distribution*. Biodiversity International, Rome, Italy, 179 p.
- Seminario, J. (2004 a). Origen de las Raíces Andinas. En: Seminario, J. (ed.). *Raíces Andinas: Contribuciones al conocimiento y a la capacitación. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)*. Universidad Nacional de Cajamarca, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. (pp.1-38). http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/06/01_Origen_raices_andinas.pdf
- Seminario, J. (2004b) Aspectos etnobotánicos y productivos del chago, miso o mauka (*Mirabilis expansa* [Ruíz y Pavón] Standley). En: Seminario, J. (ed.). *Raíces Andinas: Contribuciones al conocimiento y a la capacitación. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)*. Universidad Nacional de Cajamarca, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. (pp. 367-376). https://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/09/26-Aspec_etsnobot_chago_miso.pdf

- Seminario, J. y Valderrama, M. (2012). Variabilidad morfológica y evaluación agronómica de *maukas Mirabilis expansa* (Ruiz & Pav.) Standl. del norte peruano. *Revista Peruana de Biología*, 19(3), 249-256. <https://doi.org/10.15381/rpb.v19i3.1001>
- Seminario, J., Valderrama, M., y Manrique, I. (2003). *El yacón: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio*. Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/07/Yacon_Fundamentos_password.pdf
- Sevilla, R. y Holle, M. (2004). *Recursos Genéticos Vegetales*. Luis León Asociados.
- Shao, G., Halpin, P.N. (1995). Climatic control of eastern North American coastal tree and shrub distribution. *Journal of Biogeography*, 22(6), 1083-1089. <https://doi.org/10.2307/2845837>
- Silva, J. (2018). *Plan de emprendimiento para la producción y comercialización de una bebida hidratante de jícama en la ciudad de Machala*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12362/1/TTUACE-2018-MKT-DE00055.pdf>
- Solís-Neffa, V.G., (2010). Geographic patterns of morphological variation in *Turnera sidoides* subsp. *pinnatifida* (Turneraceae). *Plant Systematics and Evolution*, 284(3), 231-253. <https://doi.org/10.1007/s00606-009-0249-6>
- Steiner, J.J., y Greene, S.L. (1996). Proposed ecological descriptors and their utility for plant germplasm collections. *Crop Science*, 33(2), 439-451. <https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600020037x>
- Suquilanda, M.B. (207). *Producción orgánica de cultivos andinos (Manual técnico)*. FAO. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/mountain_partnership/docs/1_produccion_organica_de_cultivos_andinos.pdf
- Taco-Taype, N. y Zúñiga-Dávila, D. (2020). Efecto de la inoculación de plantas de Tarwi con cepas de *Bradyrhizobium* spp. aisladas de un lupino silvestre, en condiciones de invernadero. *Revista Peruana de Biología*, 27(1), 35-42. <https://dx.doi.org/10.15381/rpb.v27i1.17577>
- Tapia, C. (2015a). *Identificación de áreas prioritarias para la conservación de razas de maíz en la sierra de Ecuador*. [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. <http://oa.upm.es/35522/>
- Tapia, C., Carrera, H., Acosta, V., Chalampunte, D., Lima, L., Navarro Ortega, M.A., Sáenz, P., Tacán, M., y Villota, C. (2011). *Promoción de los cultivos andinos para el desarrollo rural en Cotacachi – Ecuador*.
- Tapia, C., J. Estrella., A. Monteros, F. Valverde, M. Nieto y J. Córdova. (2004). Manejo y Conservación de RTAs in situ en fincas de agricultores y ex situ en el Banco de Germoplasma de INIAP. En: V. Barrera., C. Tapia., y A. Monteros (Eds.). *Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)*. INIAP, CIP, COSUDE. Quito, Ecuador - Lima, Perú. pp. 31 - 74.
- Tapia, C., Paredes, N., y Lima, L. (2019). Representatividad de la diversidad del género *Musa* en el Ecuador. *Ecuador es Calidad*. 6(1), 53-58. <https://revistaecuadorestcalidad.agrocalidad.gob.ec/revistaecuadorestcalidad/index.php/revista/article/view/69/146>
- Tapia, C., Rosales, O., & Suárez-Duque, D. (2017). Zonas para la conservación de diez cultivos nativos. (INIAP/MAG/FAO/GEF/UTN, Ed.). Quito, Ecuador

- Tapia, C., Tacán, M., y Naranjo, E. (2018). Representatividad de la colección de maíz en la Sierra Norte de Ecuador. En L. Sandía, Rivas, E. Recalde y S. Mafla. (Eds). Avances, Desarrollo y Sustentabilidad Agroambiental en Ecuador y Venezuela (pp.210-216). Universidad de Los Andes, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Ibarra. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/4846/1/iniapscCD205p210.pdf>
- Tapia, C., Torres, E., Parra-Quijano, M. (2015). Searching for adaptation to abiotic stress: Ecogeographical analysis of highland ecuadorian maize. *Crop Science*, 55(1), 262 -274. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.12.0813>
- Tapia, M. (2000). *Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación*. FAO. https://issuu.com/b.mendozaelizabeth/docs/cultivos_andinos_subexplotados_y_s1
- Tapia, M. (2015b). *El Tarwi, Lupino Andino*. <http://fadvamerica.org/wp-content/uploads/2017/04/TARWI-espanol.pdf>
- Tapia, M. 1982. Proceso agroindustrial del tarwi (*Lupinus mutabilis*). En Actas de la Conferencia Internacional del Lupinu. Asociación Internacional del Lupinu. España
- Tapia, M. y Fries, A.M. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos*. FAO, ANPE. Perú.
- Tay, J. (2008). *Producción de Canola, Lupino y Arveja en la precordillera del Biobio y el secano costero de la provincia de Arauco*. Boletín INIA- Instituto de Investigaciones Agropecuarias, N° 188. 166p. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/7273>
- Timmerman-Vaughan, G., Mills, A., Whitfield, C., Frew, T., Butler, R., Murray, S., Whitfield, A., Rusell, A., y Wilson, D. (2005). Linkage mapping of QTL for seed yield, yield components, and developmental traits in pea. *Crop Science*, 45(4), 1336-1344. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0436>
- Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV). (2002). *Introducción general al examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad y a la elaboración de descriptores armonizadas de las obtenciones vegetales*. Ginebra. https://www.upov.int/es/publications/tg-rom/tg001/tg_1_3.pdf
- Valderrama, M. (2005). *Manual del cultivo de yacón. Experiencias de introducción y manejo técnico en el Valle de Condebamba*. <http://www.asocam.org/sites/default/files/publicaciones/files/74455093814a213d6976637f4f71ad5f.pdf>
- Vásquez, L., Paredes, D., Otero, J., Tapia, C., Pabón, G., y Monteros, A. (2019). Diversidad de morfotipos de camote *Ipomoea batatas* (Convolvulaceae), y determinación de áreas óptimas de conservación en Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 7(1), 1-11. <http://www.rccb.uh.cu/index.php/RCCB/article/view/232>
- Vega, L., Rodríguez, D., Murillo, A., y Mazón, N. (2018). Cuantificación del daño y validación de una estrategia de control químico de la Antracnosis (*Colletotrichum acutatum*) en el cultivo del chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) en Ecuador. En C.Yáñez., M. Racines., C. Sangoquiza., y X. Cuesta. (Eds.). *Artículos del Primer Congreso Internacional de Ciencias y Tecnología Agropecuaria*. Ecuador.
- Velásquez, J. (1993). *Evaluación agronómica y morfológica de 283 entradas de lupinos (*Lupinus spp.*) del banco de germoplasma del INIAP-Ecuador*. [Tesis de pregrado. Ingeniería Agronómica. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Cuenca].
- Vepachedu R., S.W. Park, N. Sharma y J.M. Vivanco. (2005). Bacterial expression and enzymatic activity analysis of ME1, a ribosome-inactivating protein from *Mirabilis expansa*. *Protein expression and purification* 40(1): 142-151. <https://doi.org/10.1016/j.pep.2004.12.005>
- Villacrés, E., Navarrete, M., Lucero, O., Espín, S., y García, E. (2010). Evaluación del rendimiento, características físico-químicas y nutraceuticas del aceite de chocho (*Lupinus*

- mutabilis* Sweet). *Revista Tecnológica - Espol*, 23(2), 57-62.
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/56>
- Villacrés, E., Peralta, E., y Álvarez, M. (2003). *Chochos en su punto. Recetario*. Publicación Miscelánea N° 118. INIAP.
<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2702/1/iniapscpm118.pdf>
- Villacrés, E., Peralta, I., Cuadrado, L., Revelo, J., Addo, S., y Aldaz Berrones, R.F. (2009). *Propiedades y aplicaciones de los alcaloides del chocho (Lupinus mutabilis Sweet)*. INIAP-ESPOCH-SENACYT. Editorial Grafista.
<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/453/4/iniapscbt133.pdf>
- Villacrés, E., Rubio, A., Egas, L., y Segovia, G. (2006). *Usos alternativos del chocho. Boletín Divulgativo* N° 333. INIAP.
<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/298/1/iniapscbd333.pdf>
- Vitali, M., Sancho, G., y Katinas, L. (2015). A revision of *Smallanthus* (Asteraceae, Millerieae), the “yacón” genus. *Phytotaxa* 214 (1): 001-084.
<http://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.214.1.1>
- Vitali, M.S. y Katinas, L. (2015). Modelado de distribución de las especies argentinas de *Smallanthus* (Asteraceae), el género del “yacón”: un cultivo potencial para la agricultura familiar. *Revista Facultad de Agronomía*, 114(1), 110-121.
<http://revista.agro.unlp.edu.ar/index.php/revagro/article/view/285>
- Vivanco J., Savary, B., y Flores, H. (1999). Characterization of two novel type 1 ribosome-inactivating proteins from the storage roots of the Andean crop *Mirabilis expansa*. *Plant Physiology*, 119(4), 1447-1456. <https://doi.org/10.1104/pp.119.4.1447>
- Wilcox, A. R. (1973). Indices of qualitative variation and political measurement. *Western Political Quarterly*, 26(2), 325-343. <https://doi.org/10.2307/446831>
- Winckell, A., Morocco, R., Winter, T., Huttel, C., Pourrut, P., Zebrowski, C., y Sourdat, M. (1992). *Geografía básica del Ecuador. Las condiciones del medio natural*. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/doc34-07/010022380.pdf
- Winckell, A., Zebrowski, C., Sourdat, M. (1997). *Las regiones y paisajes del Ecuador*. Centro ecuatoriano de investigación geográfica.
- Yépez, A. (2016). *Caracterización y geo-referenciación de los sistemas de producción de jícama (Smallanthus sonchifolius (Poepp. & Endl) H. Robinson en la provincia de Imbabura*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte].
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5676>
- Young, B. E., Josse, C., Stern, M., Vasconez, S., Olander, J., Smyth, R., ... y Hak, J. (2015). *Hotspot de biodiversidad de los Andes tropicales. Resumen técnico del perfil del ecosistema*. NatureServer & EcoDecisión.
https://www.cepf.net/sites/default/files/tropicalandes_techsummary_sp.pdf
- Zalweskim, D., Galek, R., Kozak, B., y Sawicka-Sienjiewicz. (2015). Pheno-morphological and agronomic diversity in a collection of wild and domesticated species of the genus *Lupinus*. *Turkish Journal of Field Crops*, 20(1), 43-48.
<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/158965>
- Zapana, J., Mamami, M., Escobar-Mamani, F., y Zapata, J. (2017). Producción de raíz tuberosa en cultivo de “mauka” (*Mirabilis expansa* [Ruiz y Pavón] Standley) con aplicación de abonamiento orgánico y fertilización química en Puno – Perú. *Revista de Investigación Altoandinas*, 19(3), 275-284. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2017.292>
- Zapana, J., Villalta, P., Mamami, M., Escobar-Mamani, F. (2015). Efecto del abono orgánico y fertilizantes químicos en la producción de semilla botánica y raíz tuberosa de la “mauka”

- (*Mirabilis expansa* (Ruíz y Pabón) Standley). *Revista de Investigación Altoandina*, 17(1), 73-78. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5157117>
- Zapata, R. (2004). *Química de la acidez del suelo*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3280>
- Zardini, E. (1991). Ethnobotanical Notes on Yacón (*Polymnia sonchifolia* P&E). *Economic Botany*. 45: 72-85. <https://doi.org/10.1007/BF02860051>
- Zavaleta, A. (2018). *Lupinus mutabilis* (tarwi). *Leguminosa andina con gran potencial industrial*. Fondo Editorial de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <http://fondoeditorial.unmsm.edu.pe/index.php/fondoeditorial/catalog/download/216/199/900-1?inline=1>



ANEXOS

INTRODUCCIÓN

Anexo 1. Autotización de uso del mapa de distribución de *Lupinus mutabilis* S. con base a 112 registros de especímenes de herbario georreferenciados.

25/10/21 8:19

Correo: Doris Chalampunte Flores - Outlook

Lupinus mutabilis

colin.hughes@systbot.uzh.ch <colin.hughes@systbot.uzh.ch>

Jue 21 Oct 2021 13:20

Para: doris_ch1@hotmail.com <doris_ch1@hotmail.com>

📎 1 archivos adjuntos (539 KB)

Distribution map.pptx

Dear Doris,

I saw your request on the Univ Zurich publications repository.

I attach here the *Lupinus mutabilis* distribution map. Of course it is absolutely fine to use it in your thesis!

Are you working on Andean *Lupinus* / *L. mutabilis*?

Best wishes

Colin

Dr. Colin Hughes
Department of Systematic & Evolutionary Botany
University of Zurich
colin.hughes@systbot.uzh.ch

CAPÍTULO 1.**Anexo 1. Datos pasaporte de la colección de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) de Ecuador.**

Accesión	Provincia	Cantón	Parroquia	Latitud	Longitud	Altitud (m s.n.m.)
ECU27500	Carchi	Espejo	La Libertad	0° 38'31,1" N	77° 56'20,1" O	3142
ECU27506	Carchi	Espejo	La Libertad	0° 39'01" N	77° 56'41" O	3114
ECU27507	Carchi	Espejo	La Libertad	0° 39'01" N	77° 56'41" O	3114
ECU27508	Carchi	Espejo	La Libertad	0° 39'12" N	77° 56'25" O	3171
ECU27509	Carchi	Montúfar	La Paz	0° 31'33" N	77° 50'15" O	2797
ECU27510	Carchi	Montúfar	Cristóbal Colón	0° 35'58" N	77° 48'54" O	2877
ECU27511	Carchi	Montúfar	San José	0° 35'34" N	77° 48'56" O	2878
ECU27512	Carchi	Montúfar	Cristóbal Colón	0° 36'39" N	77° 48'13" O	2877
ECU27534	Carchi	Espejo	San Isidro	0° 36'13" N	77° 59'22" O	3038
ECU27535	Carchi	Espejo	La Libertad	0° 38'53,9" N	77° 56'28,3" O	3172
ECU27536	Carchi	Espejo	La Libertad	0° 38'55,6" N	77° 56'36" O	3125
ECU27537	Carchi	Espejo	La Libertad	0° 38'55,6" N	77° 56'36" O	3125
ECU27538	Carchi	Montúfar	Chitán	0° 37'28,5" N	77° 48'41,5" O	2959
ECU27560	Carchi	Montúfar	La Paz	0° 31'07" N	77° 50'19" O	2804
ECU648	Carchi	Montúfar	La Paz	0° 30'46,9"N	77° 51'58,2" O	2620
ECU649	Carchi	Espejo	San Isidro	0°35'28"N	77°59'37,8" O	2940
ECU673	Carchi	Espejo	La Libertad	0°39'15,43"N	77°56'33,14" O	3100
ECU674	Carchi	Montúfar	Cristobal Colón	0° 38'19,2" N	77° 50'27,1" O	2910
ECU676	Carchi	Espejo	La Libertad	0° 40'03,7" N	77° 58'22,9" O	3160
ECU743	Carchi	Montúfar	Cristóbal Colón	0° 38'17,24" N	77° 48'4,39" O	2900
ECU744	Carchi	Espejo	El Ángel	0°38'4,53" N	77°57'11,56" O	2950
ECU755	Carchi	Montúfar	Cristobal Colón	0°35'00,8" N	77°48'12,4" O	2740
ECU27513	Imbabura	Otavalo	San Luis	0° 13'59" N	78° 16'43" O	2620
ECU27514	Imbabura	Otavalo	San Luis	0° 13'58" N	78° 16'42" O	2616
ECU27515	Imbabura	Otavalo	San Luis	0° 15'23" N	78° 15'48" O	2589
ECU27539	Imbabura	Otavalo	San Pablo	0° 11'34,8" N	78° 07'07,1" O	3057
ECU27540	Imbabura	Otavalo	Angochagua	0° 11'13,6" N	78° 06'58,4" O	2975
ECU3719	Imbabura	Otavalo	San Pablo	0° 15'09,5" N	78° 15'08,1" O	2588
ECU646	Imbabura	Otavalo	González Suárez	00°25' N	78°13' O	2950
ECU647	Imbabura	Ibarra	Angochagua	0°14'35" N	78°5'33" O	2790
ECU650	Imbabura	Otavalo		0°13'26,3" N	78°15'27,2" O	2610
ECU27546	Pichincha	Cayambe	Olmedo	0° 09'26,5" N	78° 04'04,4" O	3149
ECU27547	Pichincha	Cayambe	Ayora	0° 05'09,2" N	78° 07'03,2" O	2980
ECU27556	Pichincha	Cayambe	Olmedo	0° 08'26,4" N	78° 02'54,2" O	3189
ECU27557	Pichincha	Cayambe	Cangahua	0° 03'22,7" N	78° 08'14,7" O	3362

ECU3755	Pichincha	Pedro Moncayo	Olmedo	03°59' S	79°11' O	3250
ECU3887	Pichincha	Pedro Moncayo		00°07'47" N	78°16'12" O	3000
ECU644	Pichincha	Cayambe	Cangahua	0°05'15,6" N	78°10'15,7" O	2690
ECU645	Pichincha	Cayambe	Olmedo	0°3'42" N	77°52'44" O	3050
ECU668	Pichincha	Cayambe	Cangahua	0°4'43'12" N	78°09'13,9" O	3500
ECU669	Pichincha	Cayambe	Cangahua	0°1'42,42" S	78°15'47,14" O	3100
ECU675	Pichincha	Cayambe	Ayora	0°05'29,4" N	78°8'51,17" O	2880
ECU12003	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	0°41'03,9" S	78°51'39,7" O	2800
ECU27526	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	0°42'23,5" S	78°53'39,3" O	2937
ECU27527	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	0°42'24,8" S	78°53'04,6" O	2870
ECU27528	Cotopaxi	Latacunga	Latacunga	0°55'16,6" S	78°36'21,3" O	2801
ECU27533	Cotopaxi	Toacazo	Chilcapamba	0°46'06,7" S	78°39'43,4" O	3015
ECU27548	Cotopaxi	Pujilí	Pujilí	0°57'44,6" S	78°41'32,0" O	2949
ECU27549	Cotopaxi	Pujilí	Pujilí	0°57'46,8" S	78°41'30,7" O	2949
ECU27550	Cotopaxi	Salcedo	Belisario Quevedo	0°58'48,7" S	78°35'02,1" O	2804
ECU27551	Cotopaxi	Latacunga	Eloy Alfaro	0°54'59,7" S	78°38'33,3" O	2891
ECU27552	Cotopaxi	Latacunga	Eloy Alfaro	0°54'16,0" S	78°39'11,6" O	2916
ECU27553	Cotopaxi	Latacunga	Poaló	0°51'42,7" S	78°39'16,0" O	2906
ECU27554	Cotopaxi	Saquisilí	Saquisilí	0°50'57,7" S	78°40'01,7" O	2936
ECU27555	Cotopaxi	Latacunga	Guaitacama	0°48'12,9" S	78°39'02,9" O	2995
ECU27558	Cotopaxi	Latacunga	Tanicuchi	0°46'21,3" S	78°39'09,0" O	3041
ECU27559	Cotopaxi	Latacunga	Pastocalle	0°42'45,7" S	78°38'06,3" O	3223
ECU27561	Cotopaxi	Latacunga	Pastocalle	0°43'35,7" S	78°37'34,4" O	3118
ECU27583	Cotopaxi	Zumbahua	Zumbahua	0°56'55,6" S	78°54'10,2" O	3507
ECU27584	Cotopaxi	Sigchos	Chugchilán	0°47'41,5" S	78°54'46,7" O	3122
ECU27585	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	0°45'04,3" S	78°54'06,2" O	2972
ECU27586	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	0°42'04,9" S	78°54'05,6" O	2983
ECU27587	Cotopaxi	Latacunga	Pastocalle	0°42'52,5" S	78°36'59,8" O	3087
ECU651	Cotopaxi	Latacunga	Guaytacama	0°46'11,2" S	78°38'59,2" O	2970
ECU652	Cotopaxi	Saquisilí	Saquisilí	0°51'17,81" S	78°38'25,94" O	2790
ECU653	Cotopaxi	Pujilí		0°57'9,68" S	78°41'1,47" O	2810
ECU655	Cotopaxi	Latacunga		0°54'59" S	78°37'35" O	2700
ECU656	Cotopaxi	Latacunga		00°55' S	78°38' O	2760
ECU660	Cotopaxi			00°55' S	78°40' O	3060
ECU661	Cotopaxi	Latacunga	San Juan Pastocalle	0°42'2,20" S	78°35'1,95" O	3030
ECU662	Cotopaxi	Latacunga	San Juan Pastocalle	0°42'18,4" S	78°37'49,9" O	2760
ECU725	Cotopaxi	Sigsig		3°3'16,2" S	78°48'11,9" O	2450
ECU7294	Cotopaxi	Salcedo	Belisario Quevedo	00°58' S	78°34' O	2830
ECU8415	Cotopaxi	Salcedo	Cusubamba	1°05'2.11" S	78°43'29.44" O	2600

ECU27516	Tungurahua	Píllaro	Urbina	1° 08'54,0" S	78° 33'19,0" O	2863
ECU27517	Tungurahua	Píllaro	Urbina	1° 08'51,0" S	78° 33'25,0" O	2881
ECU27518	Tungurahua	Píllaro	Urbina	1° 10'30,0" S	78° 33'44,0" O	2777
ECU27519	Tungurahua	Ambato	Huachi Grande	1° 18'31,0" S	78° 37'37,0" O	2842
ECU27520	Tungurahua	Ambato	Huachi Grande	1° 18'44,0" S	78° 37'53,0" O	2884
ECU27521	Tungurahua	Ambato	Juan Montalvo	1° 18'55,0" S	78° 37'14,0" O	2813
ECU27522	Tungurahua	Ambato	Pilahuín	1° 18'06,0" S	78° 44'06,0" O	3371
ECU27523	Tungurahua	Ambato	Pilahuín	1° 18'06,0" S	78° 43'58,0" O	3388
ECU27524	Tungurahua	Ambato	Pilahuín	1° 18'19,0" S	78° 46'40,0" O	3326
ECU27525	Tungurahua	Quero	Quero	1° 23'05,0" S	78° 23'55,0" O	2722
ECU27582	Tungurahua	Quero	La Matriz	1° 23'36,6" S	78° 36'25,0" O	2999
ECU654	Tungurahua	Píllaro	Presidente Urbina	1° 09'13,2" S	78° 33'32,83" O	2750
ECU657	Tungurahua	Quero		1° 25'40,5" S	78° 36'6,6" O	3070
ECU658	Tungurahua	Guano		01° 43' S	78° 44' O	2880
ECU663	Tungurahua	Quero		1° 23'5,79" S	78° 35'51,62" O	3000
ECU664	Tungurahua	Quero		01° 23' S	78° 35' O	3000
ECU678	Tungurahua	Ambato	Montalvo	1° 18'1,98" S	78° 38'50,43" O	2900
ECU746	Tungurahua	Ambato	Pilahuín	1° 18'08,5" S	78° 44'6,2" O	3390
DCH008	Chimborazo	Guamote	Palmira	2° 06'16,9" S	78° 47'8,4" O	3273
DCH121	Chimborazo	Guamote	La Matriz	1° 57'16,6" S	78° 44'41,8" O	3555
ECU27501	Chimborazo	Guamote	Palmira	2° 04'41,2" S	78° 43'41,2" O	3273
ECU27502	Chimborazo	Riobamba	Licán	1° 39'22,2" S	78° 42'20,3" O	2952
ECU27503	Chimborazo	Riobamba	Licán	1° 39'34,4" S	78° 42'01,7" O	2947
ECU27541	Chimborazo	Guamote	Palmira	2° 03'56,1" S	78° 44'26,5" O	3256
ECU27542	Chimborazo	Guamote	Palmira	2° 05'31,9" S	78° 45'37,4" O	3234
ECU27543	Chimborazo	Guamote	Cajabamba	1° 41'24,7" S	78° 45'50,8" O	3192
ECU27544	Chimborazo	Guamote	Guamote	1° 56'37,1" S	78° 43'10,8" O	3200
ECU27545	Chimborazo	Guamote	Guamote	1° 57'32,4" S	78° 42'55,8" O	3015
ECU27562	Chimborazo	Guano	Guano	01° 37'23,3" S	78° 41'01,4" O	2941
ECU27563	Chimborazo	Alausí	Tixán	2° 08'13,9" S	78° 47'19,4" O	3020
ECU27564	Chimborazo	Alausí	Tixán	2° 08'13,9" S	78° 47'19,4" O	3020
ECU27565	Chimborazo	Alausí	Tixán	2° 07'26,0" S	78° 44'52,6" O	3357
ECU27566	Chimborazo	Alausí	Tixán	2° 07'44,2" S	78° 44'39,8" O	3454
ECU27567	Chimborazo	Guamote	Palmira	2° 06'37,1" S	78° 43'26,8" O	3390
ECU27568	Chimborazo	Guamote	Palmira	2° 05'35,0" S	78° 42'05,2" O	3517
ECU27569	Chimborazo	Guamote	Palmira	2° 03'01,8" S	78° 42'17,2" O	3511
ECU27570	Chimborazo	Guamote	Guamote	2° 02'36,5" S	78° 42'11,8" O	3557
ECU27571	Chimborazo	Guamote	Palmira	2° 03'42,6" S	78° 47'56,8" O	3466
ECU27572	Chimborazo	Guamote	Guamote	1° 59' 32,7" S	78° 47'43,4" S	3750
ECU27573	Chimborazo	Guamote	Guamote	2° 00'04,9" S	78° 46'43,1" O	3581

ECU27574	Chimborazo	Guamote	Guamote	2°00'33,2" S	78°47'16,8" O	3660
ECU27575	Chimborazo	Guamote	Guamote	2°00'00,8" S	78°46'37,7" O	3563
ECU27576	Chimborazo	Guamote	Guamote	1°58'53,5" S	78°45'04,8" O	3497
ECU27577	Chimborazo	Guamote	Cebadas	1°56'21,5" S	78°38'16,3" O	2935
ECU27578	Chimborazo	Guamote	Guamote	1°57'26,4" S	78°43'53,6" O	3286
ECU27579	Chimborazo	Guamote	Palmira	2°06'05,1" S	78°46'15,4" O	3320
ECU27580	Chimborazo	Guamote	Palmira	2°5'4,05" S	78°45'48,08" O	3227
ECU27581	Chimborazo	Colta	Santiago de Quito	1°44'56,4" S	78°48'58,7" O	3444
ECU3795	Chimborazo	Guamote	Guamote	01°56'15" S	78°42'43" O	3200
ECU665	Chimborazo	Guamote	La Matriz	1°56'27,15" S	78°43'3,03" O	3100
ECU666	Chimborazo	Guamote	Palmira	2°04'21,3" S	78°43'46,04" O	3200
ECU667	Chimborazo	Guamote		1°55'5,92" S	78°42'10,16" O	3063
ECU670	Chimborazo	Guamote	La Matriz	1°56'48,4" S	78°43'4,43" O	2780
ECU671	Chimborazo	Chambo	Chambo	1°44'58,83" S	78°35'7,50" O	2980
ECU672	Chimborazo	Riobamba	Licán	1°39'49,5" S	78°42'24,0" O	2810
ECU679	Chimborazo	Riobamba	Cubijíes	1°35'34,67" S	78°31'34,97" O	2850
ECU7265	Chimborazo	Guamote	La Matriz	1°56'24,4" S	78°44'33,3" O	3180
ECU7266	Chimborazo	Guamote	La Matriz	1°56'18,2" S	78°42'28,7" O	3350
ECU7267	Chimborazo	Guamote	La Matriz	1°56'18,2" S	78°42'28,7" O	3000
ECU7268	Chimborazo	Guamote	La Matriz	1°57'26,4" S	78°43'53,6" O	2960
ECU7269	Chimborazo	Guamote	La Matriz	1°59'7,99" S	78°44'37,29" O	3120
ECU7270	Chimborazo	Guamote	La Matriz	01°56' S	78°43' O	3120
ECU7271	Chimborazo	Guamote	La Matriz	01°56' S	78°43' O	3300
ECU7272	Chimborazo	Guamote	La Matriz	01°56' S	78°43' O	3300
ECU7273	Chimborazo	Guamote	Palmira	2°3'49,69" S	78°44'29,09" O	3330
ECU7274	Chimborazo	Guamote	Palmira	2°4'36,9" S	78°44'2,3" O	2830
ECU7275	Chimborazo	Guamote	Palmira	2°4'4,67" S	78°44'18,87" O	2900
ECU7276	Chimborazo	Guamote	Palmira	2°5'4,97" S	78°45'46,88" O	2940
ECU7277	Chimborazo	Guamote	Palmira	02°03'50" S	78°44'36" O	2900
ECU7278	Chimborazo	Guamote	Palmira	02°03'50" S	78°44'36" O	2980
ECU7280	Chimborazo	Guamote	Palmira	02°03'42,50" S	78°44'21,5" O	2940
ECU7281	Chimborazo	Guamote	Palmira	2°03'50,62" S	78°44'36,09" O	2940
ECU7282	Chimborazo	Guamote	Palmira	2°05'35,0" S	78°42'05,2" O	3100
ECU7283	Chimborazo	Guamote	Palmira	2°05'35,0" S	78°42'05,2" O	3100
ECU7284	Chimborazo	Guamote	Palmira	2°05'35,0" S	78°42'05,2" O	3100
ECU7285	Chimborazo	Guamote	Palmira	2°05'35,0" S	78°42'05,2" O	3100
ECU7286	Chimborazo	Guamote	La Matriz	2°03'01,8" S	78°42'17,2" O	3100
ECU7288	Chimborazo	Guamote	La Matriz	02°10' S	78°36' O	3100
ECU7289	Chimborazo	Guamote	La Matriz	02°10' S	78°36' O	2900

ECU7290	Chimborazo	Guamote	La Matriz	02°10' S	78°36' O	2800
ECU7291	Chimborazo	Guamote	La Matriz	02°10' S	78°36' O	2800
ECU7292	Chimborazo	Guamote	La Matriz	1° 57'32,4" S	78° 42'55,8" O	2800
ECU7293	Chimborazo	Guamote	La Matriz	1° 57'32,4" S	78° 42'55,8" O	2800
ECU750	Chimborazo	Guamote	Palmira	02°06' S	78°44' O	3600
ECU751	Chimborazo	Guamote	Palmira	02°06' S	78°44' O	3600
ECU752	Chimborazo	Guamote	Palmira	2°6'7,26" S	78°44'55,41" O	3100
ECU753	Chimborazo	Guamote	Palmira	02°06' S	78°44' O	3100
ECU8414	Chimborazo	Guamote	Guamote	02°10' S	78°36' O	3350
DCH057	Azuay	Sigsig	Gima	3°10'53,4" S	78°59'55,35" O	2957
DCH059	Azuay	Sigsig	Gima	3°10'17" S	78°59'16" O	2918
ECU659	Bolívar	Guaranda		1°35'19,4" S	78°59'18,9" O	2460
DCH027	Loja	San Lucas	San Lucas	3°44'22,74" S	79°15'51,45" O	2421
ECU2743	Loja	Loja		3°59'1,29" S	79°11'3,02" O	2220
ECU2746	Loja	Loja		3°59'3,03" S	79°10'49,3" O	2220
ECU27504	Loja	Saraguro	Manú	3°30'59,4" S	79°22'59,3" O	2727
ECU27505	Loja	Saraguro		3°38'38,4" S	79°12'54,05" O	2705
ECU747	Loja	Saraguro	Manu	3°29'26,5" S	79°25'19,1" O	2780
ECU748	Loja	Loja	San Lucas	3°44'7,57" S	79°15'40,31" O	2700
ECU749	Loja	Loja	San Lucas	3°44'39,13" S	79°15'52,72" O	2700

CAPÍTULO 2.

Anexo 1. Lista de variables ecogeográficas del programa CAPFITOGEN vr 2.0

<i>Variables bioclimáticas</i>			
Código	Descripción de variables	Unidad	Fuente
prec_1	Precipitación media de enero	mm	Worldclim
prec_2	Precipitación media de febrero	mm	Worldclim
prec_3	Precipitación media de marzo	mm	Worldclim
prec_4	Precipitación media de abril	mm	Worldclim
prec_5	Precipitación media de mayo	mm	Worldclim
prec_6	Precipitación media de junio	mm	Worldclim
prec_7	Precipitación media de julio	mm	Worldclim
prec_8	Precipitación media de agosto	mm	Worldclim
prec_9	Precipitación media de septiembre	mm	Worldclim
prec_10	Precipitación media de octubre	mm	Worldclim
prec_11	Precipitación media de noviembre	mm	Worldclim
prec_12	Precipitación media de diciembre	mm	Worldclim
tmean_1	Temperatura media de enero	°C	Worldclim
tmean_2	Temperatura media de febrero	°C	Worldclim
tmean_3	Temperatura media de marzo	°C	Worldclim
tmean_4	Temperatura media de abril	°C	Worldclim
tmean_5	Temperatura media de mayo	°C	Worldclim
tmean_6	Temperatura media de junio	°C	Worldclim
tmean_7	Temperatura media de julio	°C	Worldclim
tmean_8	Temperatura media de agosto	°C	Worldclim
tmean_9	Temperatura media de septiembre	°C	Worldclim
tmean_10	Temperatura media de octubre	°C	Worldclim
tmean_11	Temperatura media de noviembre	°C	Worldclim
tmean_12	Temperatura media de diciembre	°C	Worldclim
tmin_1	Temperatura mínima de enero	°C	Worldclim
tmin_2	Temperatura mínima de febrero	°C	Worldclim
tmin_3	Temperatura mínima de marzo	°C	Worldclim
tmin_4	Temperatura mínima de abril	°C	Worldclim
tmin_5	Temperatura mínima de mayo	°C	Worldclim
tmin_6	Temperatura mínima de junio	°C	Worldclim
tmin_7	Temperatura mínima de julio	°C	Worldclim
tmin_8	Temperatura mínima de agosto	°C	Worldclim
tmin_9	Temperatura mínima de septiembre	°C	Worldclim
tmin_10	Temperatura mínima de octubre	°C	Worldclim
tmin_11	Temperatura mínima de noviembre	°C	Worldclim
tmin_12	Temperatura mínima de diciembre	°C	Worldclim
tmax_1	Temperatura máxima de enero	°C	Worldclim

tmax_2	Temperatura máxima de febrero	°C	Worldclim
tmax_3	Temperatura máxima de marzo	°C	Worldclim
tmax_4	Temperatura máxima de abril	°C	Worldclim
tmax_5	Temperatura máxima de mayo	°C	Worldclim
tmax_6	Temperatura máxima de junio	°C	Worldclim
tmax_7	Temperatura máxima de julio	°C	Worldclim
tmax_8	Temperatura máxima de agosto	°C	Worldclim
tmax_9	Temperatura máxima de septiembre	°C	Worldclim
tmax_10	Temperatura máxima de octubre	°C	Worldclim
tmax_11	Temperatura máxima de noviembre	°C	Worldclim
tmax_12	Temperatura máxima de diciembre	°C	Worldclim
bio_1	Temperatura media anual	°C	Worldclim
bio_2	Rango medio de temperaturas diurnas	°C	Worldclim
bio_3	Isotermalidad (BIOCLIM2/BIOCLIM7)(*100)		Worldclim
bio_4	Estacionalidad en la temperatura		Worldclim
bio_5	Máxima temperatura del mes más cálido	°C	Worldclim
bio_6	Mínima temperatura del mes más frío	°C	Worldclim
bio_7	Rango de temperatura anual (BIOCLIM5 - BIOCLIM6)	°C	Worldclim
bio_8	Temperatura media del cuarto más húmedo (3 meses más lluviosos) °C Worldclim	°C	Worldclim
bio_9	Temperatura media del cuarto más seco (3 meses más secos) °C Worldclim	°C	Worldclim
bio_10	Temperatura media del mes más cálido (3 meses más cálidos)	°C	Worldclim
bio_11	Temperatura media del cuarto más frío (3 meses más fríos)	°C	Worldclim
bio_12	Precipitación anual mm Worldclim	mm	Worldclim
bio_13	Precipitación del mes más húmedo	mm	Worldclim
bio_14	Precipitación del mes más seco	mm	Worldclim
bio_15	Estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)	mm	Worldclim
bio_16	Precipitación del cuarto más húmedo (3 meses más lluviosos)	mm	Worldclim
bio_17	Precipitación del cuarto más seco (3 meses más secos)	mm	Worldclim
bio_18	Precipitación del cuarto más cálido (3 más cálidos)	mm	Worldclim
bio_19	Precipitación del cuarto más frío (3 más fríos)	mm	Worldclim
Variables edáficas			
Código	Descripción de variables	Unidad	Fuente
ref_depth	Profundidad referencia de la unidad de suelo	m	HWS Database
t_gravel	Contenido de grava en suelo superficial	%vol	HWS Database
t_sand	Contenido de arena en suelo superficial	% peso	HWS Database
t_silt	Contenido de limo en suelo superficial	% peso	HWS Database
t_clay	Contenido de arcilla en suelo superficial	% peso	HWS Database
t_ref_bulk	Densidad aparente de referencia en suelo superficial	kg/dm3	HWS Database
t_oc	Contenido de carbón orgánico en suelo superficial	% peso	HWS Database
t_ph_h2o	pH en suelo superficial en solución suelo-agua	-log(H+)	HWS Database

t_cec_clay	Capacidad de intercambio catiónico de arcilla en suelo	cmol/kg	HWS Database
s_cec_soil	Capacidad de intercambio catiónico en subsuelo (general)	cmol/kg	HWS Database
t_bs	Saturación de bases en suelo superficial	%	HWS Database
t_teb	Bases intercambiables totales en suelo superficial	cmol/kg	HWS Database
t_caco3	Carbonato de calcio en suelo superficial	% peso	HWS Database
t_caso4	Yesos en suelo superficial	% peso	HWS Database
t_esp	Sodicidad en suelo superficial	%	HWS Database
t_ece	Salinidad en suelo superficial	dS/m	HWS Database
s_gravel	Contenido de grava en subsuelo	%vol	HWS Database
s_sand	Contenido de arena en subsuelo	% peso	HWS Database
s_silt	Contenido de limo en subsuelo	% peso	HWS Database
s_clay	Contenido de arcilla en subsuelo	% peso	HWS Database
s_ref_bulk	Densidad aparente de referencia en subsuelo	kg/dm ³	HWS Database
s_oc	Contenido de carbón orgánico en subsuelo	% peso	HWS Database
s_ph_h2o	pH en subsuelo en solución suelo-agua	-log(H ⁺)	HWS Database
s_cec_clay	Capacidad de intercambio catiónico de arcilla en subsuelo	cmol/kg	HWS Database
s_bs	Saturación de bases en subsuelo	%	HWS Database
s_teb	Bases intercambiables totales en subsuelo	cmol/kg	HWS Database
s_caco3	Carbonato de calcio en subsuelo	% peso	HWS Database
s_caso4	Yesos en subsuelo	% peso	HWS Database
s_esp	Sodicidad en subsuelo	%	HWS Database
s_ece	Salinidad en subsuelo	dS/m	HWS Database
Variables geofísicas			
Código	Descripción de variables	Unidad	Fuente
alt	Metros sobre el nivel del mar	m	Worldclim
slope	Pendiente (en grados) de la superficie del terreno	°	SRTM MDE
aspect	Orientación (en grados) de la superficie del terreno	°	SRTM MDE
northness	Norticidad. 1 si la orientación tiende al norte, -1 al sur		SRTM MDE
eastness	Esticidad. 1 si la orientación tiende al este, -1 oeste		SRTM MDE
POINT_X	Longitud	°	
POINT_Y	Latitud	°	

Anexo 2. Encuesta dirigida a expertos y conocedores de la producción y/o conservación del chocho o tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet).

La presente encuesta tiene la finalidad de definir variables edafoclimáticas y ecogeográficas que inciden o tienen efecto en la producción y/o conservación del chocho o tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet).

La encuesta solo demora 5 minutos

1. De qué país es usted?

- Ecuador
- Perú
- Bolivia

2. Selección de variables Bioclimáticas

- Seleccione el o los meses de precipitación que a su criterio inciden en la producción y/o conservación de chocho

2.1 Variables bioclimáticas: precipitación media

- Enero
- Febrero
- Marzo
- Abril
- Mayo
- Junio
- Julio
- Agosto
- Septiembre
- Octubre
- Noviembre
- Diciembre

2.2 Variables bioclimáticas: temperatura media

- Enero
- Febrero
- Marzo
- Abril
- Mayo
- Junio
- Julio
- Agosto
- Septiembre
- Octubre
- Noviembre
- Diciembre

2.3 Variables bioclimáticas: Otras

- Temperatura media anual
- Rango medio de temperaturas diurnas
- Isotermalidad (BIOCLIM2/BIOCLIM7)(*100)
- Estacionalidad en la temperatura (desviación estándar*100)
- Máxima temperatura del mes más cálido
- Mínima temperatura del mes más frío
- Rango de temperatura anual (BIOCLIM5 - BIOCLIM6)
- Temperatura media del cuarto más húmedo (3 meses más lluviosos)
- Temperatura media del cuarto más seco (3 meses más secos)
- Temperatura media del mes más cálido (3 meses más cálidos)
- Temperatura media del cuarto más frío (3 meses más fríos)
- Precipitación anual
- Precipitación del mes más húmedo
- Precipitación del mes más seco
- Estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)
- Precipitación del cuarto más húmedo (3 meses más lluviosos)
- Precipitación del cuarto más seco (3 meses más secos)
- Precipitación del cuarto más cálido (3 más cálidos)
- Precipitación del cuarto más frío (3 más fríos)

2.4 Variables edáficas

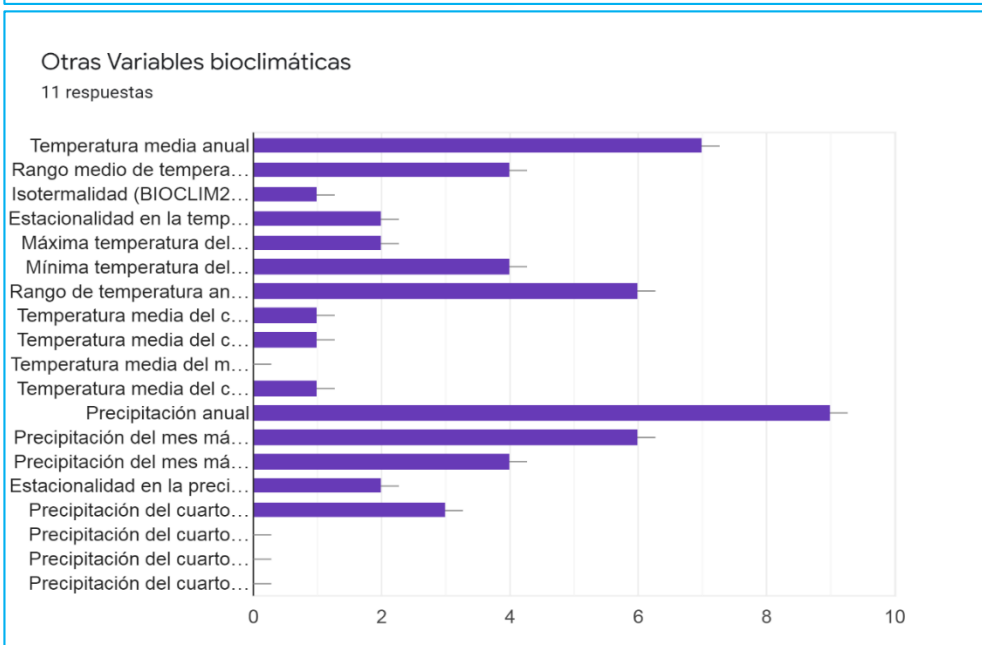
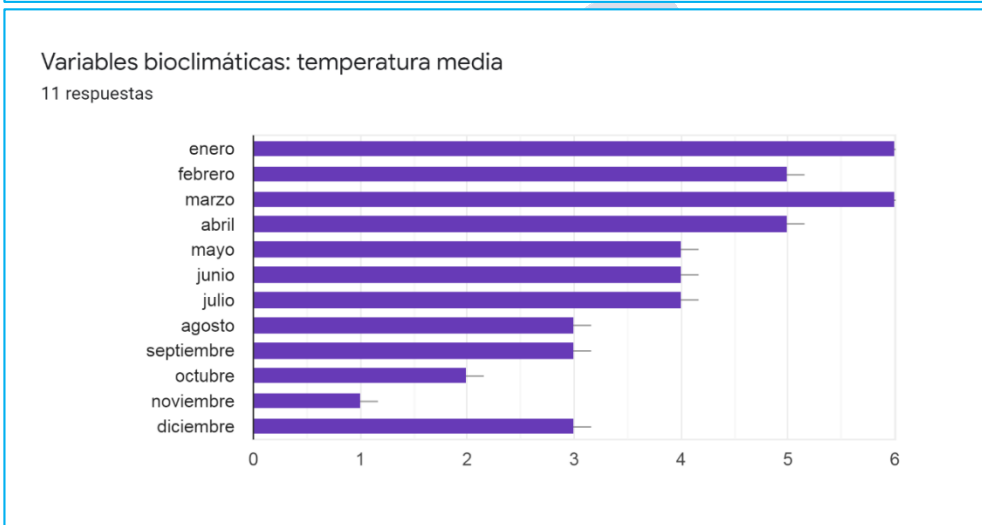
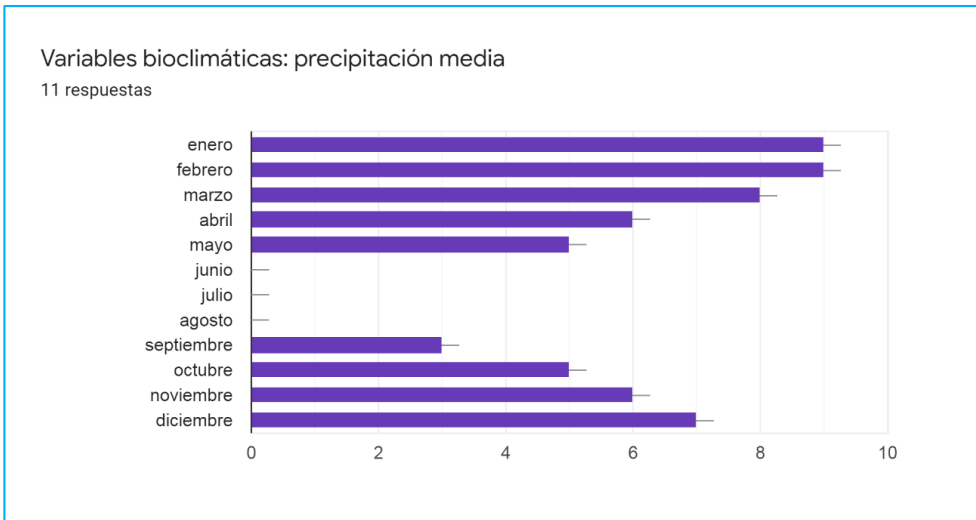
- Profundidad referencia de la unidad de suelo
- Contenido de grava en suelo superficial
- Contenido de arena en suelo superficial
- Contenido de limo en suelo superficial

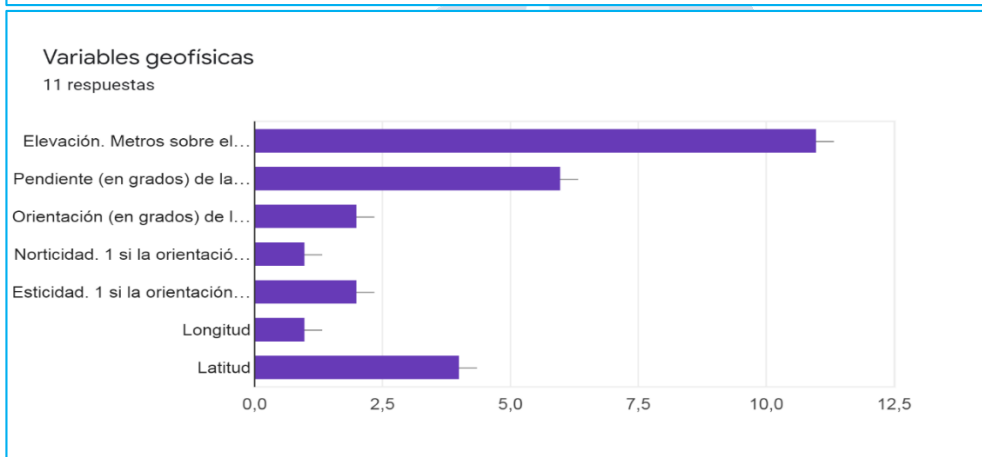
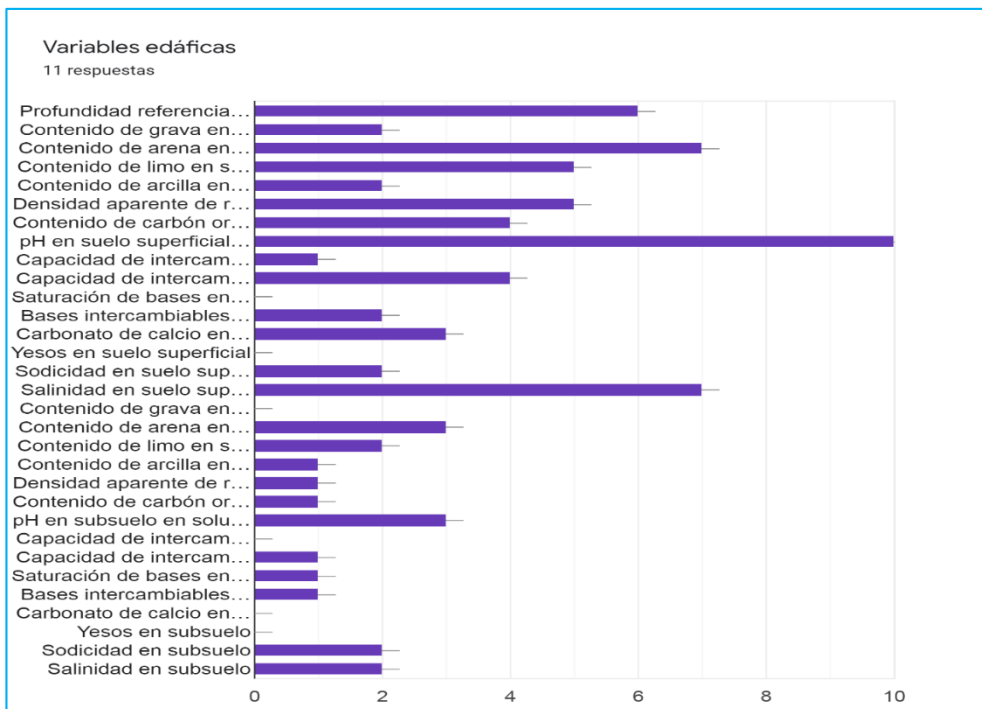
Contenido de arcilla en suelo superficial
Densidad aparente de referencia en suelo superficial
Contenido de carbón orgánico en suelo superficial
pH en suelo superficial en solución suelo-agua
Capacidad de intercambio catiónico de arcilla en suelo superficial
Capacidad de intercambio catiónico en suelo superficial (general)
Saturación de bases en suelo superficial
Bases intercambiables totales en suelo superficial
Carbonato de calcio en suelo superficial
Yesos en suelo superficial
Sodicidad en suelo superficial
Salinidad en suelo superficial
Contenido de grava en subsuelo
Contenido de arena en subsuelo
Contenido de limo en subsuelo
Contenido de arcilla en subsuelo
Densidad aparente de referencia en subsuelo
Contenido de carbón orgánico en subsuelo
pH en subsuelo en solución suelo-agua
Capacidad de intercambio catiónico de arcilla en subsuelo
Capacidad de intercambio catiónico en subsuelo (general)
Saturación de bases en subsuelo
Bases intercambiables totales en subsuelo
Carbonato de calcio en subsuelo
Yesos en subsuelo
Sodicidad en subsuelo
Salinidad en subsuelo

2.5 Variables ecogeográficas

Elevación. Metros sobre el nivel del mar
Pendiente (en grados) de la superficie del terreno
Orientación (en grados) de la superficie del terreno
Norticidad. 1 si la orientación tiende al norte, -1 al sur
Esticidad. 1 si la orientación tiende al este, -1 oeste
Longitud
Latitud

Anexo 3. Resultados de dirigida a expertos y concedores de la producción y/o conservación del chocho o tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet).





Anexo 4. Distribución geográfica de las Categorías Ecogeográficas según Mapa ELC para tarwi

Provincia	Categoría ELC	Cantón	Parroquia
Carchi	1	Montufar	San Gabriel
	2	Tulcán	Tulcán, Tufiño, El Carmelo, Julio Andrade, Santa Marta de Cuba
		Espejo	La Libertad, El Ángel
		San Pedro de Huaca	Huaca
	4	Montúfar	Cristóbal Colón, La Paz,
		Bolívar	Bolívar, García Moreno
10	Bolívar	San Vicente de Pusir, Los Andes, San Rafael	
Imbabura	2	Cotacachi	Peñaherrera, 6 de Julio de Cuellaje, Apuela, Plaza Gutiérrez, Quiroga, Imantag,
		Otavalo	San José de Quichinche
	4	Urcuquí	Cahuasquí, Urcuquí,
		Ibarra	La Esperanza, Angochahua, Ibarra,
		Pimampiro	Mariano Acosta,
	10	Ibarra	Carolina, Ibarra,
		Urcuquí	Pablo Arenas, Urcuquí
		Pimampiro	Pimampiro,
		Antonio Ante	San Roque
			Otavalo
Pichincha	2	Quito	Nanegal, Lloa, Pifo, Pintag,
		Mejía	Aloag, Machachi, Chaupi
		Cayambe	Cayambe, Cangahua,
		El Chaco	Oyacachi
		Quijos	Papallacta
	4	Pedro Moncayo	Tabacundo, Tocachi,
		Cayambe	Olmedo (Pesillo), Ascazubi, Cayambe, Cangahua,
		Quito	Checa, Yaruquí, Pifo, Pintag, Quito
		Mejía	Machachi, Aloasi, Aloag,
	10	Quito	Puéllaro,
		Pedro Moncayo	Malchingui
		Cayambe	Otón, Ascázubi,
		Quito	Guayllabamba, San Antonio, Calacalí, Calderón, Cumbayá, Yaruquí, Tumbaco, Quito, Alangasí, Conocoto, Amaguaña, Pintag, Tababela, San Antonio
		Rumiñahui	Sangolquí,
		Mejía	Machachi,
Cotopaxi	2	Latacunga	Toacaso, Mulaló, Alaquez, Latacunga
		Sigchos	Sigchos, Chugchillán,

		Pujilí	Pilaló, Angamarca,
		Salcedo	San Miguel,
	4	Sigchos	Isinlivi, Chugchillan,
		Latacunga	Toacaso,
		Saquisilí	Saquisilí,
		Latacunga	Mulaló, Latacunga,
		Pujilí	Pujilí,
		Salcedo	Cusubamba,
	10	Salcedo	San Miguel, Mulliquindil,
	Tungurahua	2	Ambato
Mocha			Mocha
Píllaro			Píllaro, Baquerizo Moreno,
Patate			Patate, Sucre
Mocha			Mocha
Quero			Quero
Baños de Agua Santa			Baños de Agua Santa
4		Ambato	Ambatillo, Pasa, Pilaguín, Constantino Fernández, Juan Benigno Vela, Quisapincha,
		Tisaleo	Tisaleo,
		Píllaro	Píllaro,
		Mocha	Mocha
		Quero	Rumipamba, Quero,
10		Ambato	Unamuncho, Atahualpa, Ambato,
		Cevallos	Cevallos
		Pelileo	Pelileo, El Rosario,
Bolívar	2	Guaranda	Simiatug, Facundo Vela, Salinas, Guaranda, San Lorenzo, San Simón
		Chimbo	Magdalena,
	4	Guaranda	Guaranda,
		Chimbo	Asunción,
	10	Guaranda	San Simón, San Lorenzo,
		San Miguel	Santiago, San Miguel,
Chimborazo	2	Penipe	El Altar, Penipe,
		Riobamba	Quimiag, Pungalá,
		Guamote	Cebadas, Guamote, Palmira,
		Alausí	Achupallas, Huigra,
		Chinchi	Chunchi, Compud,
		Pallatanga	Pallatanga,
		Colta	Juan de Velasco, Columbe, Villa La Unión,
	4	Guano	Guanando, San Andrés,

		Riobamba	San Juan, Punín, Licto
		Guamote	Guamote, Palmira,
		Alausí	Tixán, Alausí, Achupallas,
	10	Guano	Guanando,
		Riobamba	Quimiag, Riobamba, Licto,
		Alausí	Alausí, Pistishi, Huigra,
Cañar	2	Cañar	Chontamarca, Zhud, Ingapirca, General Morales, San Antonio,
	3	Azogues	Rivera, Taday, Guapán, Azogues
		Deleg	Deleg,
		Biblián	Biblián
	4	Azogues	Azogues
	9	Azogues	Azogues, Rivera
10	Azogues	Azogues	
Azuay	2	Gualaceo	Zhidmad
		Cuenca	Quingeo, Cumbe
		Sigsig	Cuchil, Gima
		Girón	Girón
		Nabón	Las Nieves
	3	Cuenca	Checa, Sayausi, Octavio
		Gualaceo	Daniel Cordova Toral
		Paute	Tomebamba, Bulán
	4	Gualaceo	Gualaceo
		Cuenca	Baños, Tarqui, Cumbe, Victoria del Portete
		Girón	Girón, Asunción
		Nabón	Cochapata, Nabón, El progreso
	10	Paute	Paute
		Cuenca	Nulti, Paccha, Chiquintad, Nulti, Tur
		Gualaceo	Gualaceo, San Juan
		Girón	Girón, Asunción
		Santa Isabel	Santa Isabel
		Oña	San Flipe de Oña
Nabón		El Progreso	
Pucará	Pucará		
Loja	2	Saraguro	Manú, Lluzhapa, El Tablón, Saraguro, San Pablo de Tenta
		Loja	San Lucas, Chuquiribamba, Gualtel, Loja, Quinara
		Espíndola	Jimbura
	4	Loja	Chantaco, Loja
	10	Loja	Loja, Chuquiribamba, Vilcambamba
Catamayo		Catamayo, San Pedro de la Bendita	

		Gonzanamá	Mambacola, Sacapalca
		Paltas	Catacocha
		Sozoranga	Sozoranga
		Calvas	Cariamanga
		Macará	Macará
		Célica	Célica, Sabanilla
		Puyango	El Limo
Sucumbíos	2	Gonzalo Pizarro	El Reventador
		Sucumbíos	La Sofía
Zamora Chinchipe	2	Yacuambi	Tutupali, 28 de Mayo
		Zamora	Imbana, Sabanilla, Zamora
		Palanda	Valladolid
		Chinchipe	San Andrés
Napó	2	Archidona	Archidona
		Tena	Pano
		El Chaco	Oyacachi
		Quijos	Cosanga



CAPÍTULO 3.

Anexo 1. Datos pasaporte de la colección nacional de jícama (*Smilax sonchifolius*)

Accesión	Provincia	Cantón	Parroquia	Latitud	Longitud	Altitud (m s.n.m.)
ECU1249	Carchi	Montúfar	Cristóbal Colón	00°38' N	77°48' O	2860
ECU1242	Imbabura	Ibarra	La Esperanza	0°16'44,3" N	78°06'34,7" O	2700
ECU1251	Pichincha	Quito	Yaruquí	00°09' S	78°20' O	2580
ECU19073	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	00°41'02,1" S	78°51'39,8" O	2550
ECU19074	Cotopaxi	Sigchos	Chugchillán	00°48'4,9" S	78°55'17,8" O	3202
ECU1244	Chimborazo	Riobamba	Quimiag	01°42' S	78°340' O	2920
ECU12768	Chimborazo	Guano	Guano	01°37'23" S	78°41'01" O	2600
ECU1237	Bolívar	Guaranda	Guaranda	01°34' S	79°00' O	2820
ECU1238	Bolívar	Chimbo	San José de Chimbo	02°21' S	78°50' O	2480
ECU1253	Bolívar	Guaranda	Guaranda	01°34' S	79°00' O	2820
ECU1261	Bolívar	Chimbo	San José de Chimbo	1°41'14" S	79°01'35" O	2500
ECU2320	Bolívar	Guaranda	Gabriel Ignacio Veintimilla	1°36'41.2"S	78°58'32.5" O	2750
ECU2321	Bolívar	Guaranda	Gabriel Ignacio Veintimilla	01°35' S	79°00' O	2750
ECU1236	Cañar	Azogues	Guapán	02°42' S	78°50' O	2750
ECU1239	Cañar	Déleg	Déleg	02°46' S	78°55' O	2700
ECU1240	Cañar	Biblián	Biblián	02°43' S	78°53' O	2650
ECU1241	Cañar	Déleg	Déleg	02°46' S	78°55' O	2700
ECU1252	Cañar	Biblián	Biblián	02°43' S	78°55' O	2765
ECU1258	Cañar	Biblián	Turupamba	02°43' S	78°55' O	2900
ECU6666	Cañar	Cañar	Juncal	02°29' S	78°58' O	2900
ECU9110	Cañar	El Tambo	El Tambo	02°30' S	78°55' O	2980
ECU19082	Cañar	Biblián	Turupamba	2°44'3.1" S	78°54'19.6" O	2902
ECU1243	Azuay	Cuenca	Tarqui	2°53'33,4" S	79°00'25,7" O	2560
ECU1246	Azuay	Cuenca	Paccha	02°54' S	78°55' O	2800
ECU1247	Azuay	Cuenca	Paccha	02°54' S	78°55' O	2520
ECU1248	Azuay	Cuenca	Llacao	02°54' S	79°00' O	2600
ECU1254	Azuay	Cuenca	Nulti	02°52' S	78°55' O	2500
ECU1255	Azuay	Sigsig	Gima	03°11' S	78°57' O	3000
ECU6664	Azuay	Oña	Susudel	03°23'47" S	79°11'03" O	2740
ECU6665	Azuay	Cuenca	San Joaquín	02°53'42" S	79°03'022 O	2900
ECU12770	Azuay	Sigsig	San José de Raranga	3°11'32,7" S	78°57'12,3" O	2400
ECU19081	Azuay	Oña	Susudel	03°24'19" S	79°11'11" O	2438
ECU1245	Loja	Loja	Loja	04°00' S	79°12' O	2135

ECU1250	Loja	Gonzanamá	Gonzanamá	04°14' S	79°26' O	2040
ECU1256	Loja	Saraguro	El Tablón	03°29' S	79°10' O	2600
ECU1257	Loja	Saraguro	NA	03°37' S	79°14' O	2500
ECU1259	Loja	Saraguro		03°38' S	79°14' O	2400
ECU1260	Loja	Saraguro	El Paraíso de Celén	03°34' S	79°20' O	2750
ECU6663	Loja	Loja	Santiago	03°47'29" S	79°17'10" O	2450
ECU9109	Loja	Saraguro	Selva Alegre	03°32' S	79°15' O	2600
ECU12769	Loja	Loja	Guael	03°56'29" S	79°26'05" O	2200
ECU19076	Loja	Celica	Celica	04°05'52" S	79°57'55" O	2110
ECU19077	Loja	Loja	San Lucas	03°42'39,9" S	79°16'0,3" O	2625
ECU19078	Loja	Saraguro	El Paraíso de Celén	03°36'15,1" S	79°20'41,3" O	2882
ECU19079	Loja	Saraguro	El Paraíso de Celén	03°36'06,1" S	79°20'10,4" O	2752
ECU19080	Loja	Saraguro	Saraguro	03°37'56,7" S	79°14'42,6" O	2773
DCH021	Loja	Paltas	Lourdes	4° 01'54,4" S	79° 34'37,7" O	1580
DCH024	Loja	Loja	Guael	3° 46'11,47" S	79° 22'38,0" O	2538
DCH025	Loja	Loja	Santiago	3° 47'28,6" S	79° 17'10,3" O	2397
DCH028	Loja	Saraguro	Celén	3° 26'15,8" S	79° 21'05,3" O	2904
DCH030	Loja	Saraguro	Saraguro	3° 33'28,9" S	79° 22'14,9" O	2766
DCH034	Loja	Saraguro	Saraguro	3° 38'5,4" S	79° 14'22,5" O	2564
DCH036	Imbabura	Ibarra	La Esperanza	0° 16'14,8" N	78° 07'19,8" O	2782
DCH037	Imbabura	Ibarra	La Esperanza	0° 16'22,0" N	78° 07'03,0" O	2726
DCH044	Pichincha	Yaruquí	Yaruquí	0° 09'55,3" S	78° 20'01,4" O	2509
DCHJV-132	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	0° 42'04,9" S	78° 54'05,6" O	2983
DCHJV-104	Chimborazo	Riobamba	Quimiag	01° 39'33" S	78° 34'06,5" O	2759
DCHJV-149	Bolívar	Guaranda	San Lorenzo	1° 39'19,0" S	79° 00'10,6" O	2470
DCHJV-150	Bolívar	Guaranda	San Lorenzo	1° 39'37,4" S	79° 00'08,5" O	2468
DCHJV-152	Bolívar	San Miguel de Guaranda	Santiago	1° 42'05,4" S	79° 00'08,3" O	2621
DCHJV-153	Bolívar	Chimbo	San José	1° 40'59,3" S	79° 01'20,7" O	2467
DCHJV-154	Bolívar	Guaranda	Veintimilla	1° 36'18,2" S	78° 58'46,7" O	2752
DCHJV-155	Bolívar	Guaranda	Veintimilla	1° 36'15,7" S	78° 58'55,9" O	2742
DCHJV-156	Bolívar	Guaranda	Veintimilla	1° 34'21,5" S	78° 59'49,7" O	2789
DCHJV-157	Bolívar	Guaranda	Ivijahua	1° 32'16,7" S	78° 59'14,1" O	2946
DCH054	Azuay	Sigsig	Sigsig	3° 02'17" S	78° 47'35" O	2527
DCH056	Azuay	Oña	Susudel	3° 23'47" S	79° 11'03" O	2763
DCH058	Azuay	Sigsig	Gima	3° 10'15" S	78° 59'12" O	2918
DCHJV-139	Azuay	Nabón	Nabón	03° 20'13,7" S	79° 04'04,3" O	2723
DCHJV-140	Azuay	Girón	Celata	03° 08'00,2" S	79° 8'13,54" O	2370
DCHJV-142	Azuay	Giñón	Giñón	03° 08'07,0" S	79° 07'58,9" O	2329
DCHJV-143	Azuay	Chordeleg	Churdeleg	2° 54'42,7" S	78° 46'32,1" O	2322
DCHJV-144	Azuay	Cuenca	Llacao	2° 51'10,5" S	78° 56'19,4" O	2475

DCHJV-145	Azuay	Cuenca	Nulti	02° 52'06,0" S	78° 55'27,5" O	2544
DCHJV-146	Azuay	Cuenca	La Dolorosa	2° 53'10,1" S	78° 55'36,8" O	2623
DCHJV-147	Azuay	Cuenca	Paccha	2° 53'39,4" S	78° 56'03,2" O	2570
DCHJV-148	Azuay	Cuenca	Baños	2° 54'26,8" S	79° 3'36,5" O	2744
DCH055	Loja	Saraguro	Celén	3° 35'23" S	79° 19'09" O	2714
DCH060	Loja	Gonzanamá	Gonzanamá	4° 14'07" S	79° 26'08" O	2087
DCH061	Loja	Loja	Loja	3° 59'50" S	79° 12'45" O	2124



Anexo 2. Encuesta dirigida a expertos y conocedores de la producción y/o conservación de jícama (*Smallanthus sonchifolius*).

La presente encuesta tiene la finalidad de definir variables edafoclimáticas y ecogeográficas que inciden o tienen efecto en la producción y/o conservación de jícama (*Smallanthus sonchifolius*)

La encuesta solo demora 5 minutos

1. De qué país es usted?

Ecuador
Perú
Bolivia

2. Selección de variables Bioclimáticas

- Seleccione el o los meses de precipitación que a su criterio inciden en la producción y/o conservación de chocho

2.1 Variables bioclimáticas: precipitación media

Enero
Febrero
Marzo
Abril
Mayo
Junio
Julio
Agosto
Septiembre
Octubre
Noviembre
Diciembre

2.2 Variables bioclimáticas: temperatura media

Enero
Febrero
Marzo
Abril
Mayo
Junio
Julio
Agosto
Septiembre
Octubre
Noviembre
Diciembre

2.3 Variables bioclimáticas: Otras

Temperatura media anual
Rango medio de temperaturas diurnas
Isotermalidad (BIOCLIM2/BIOCLIM7)(*100)
Estacionalidad en la temperatura (desviación estándar*100)
Máxima temperatura del mes más cálido
Mínima temperatura del mes más frío
Rango de temperatura anual (BIOCLIM5 - BIOCLIM6)
Temperatura media del cuarto más húmedo (3 meses más lluviosos)
Temperatura media del cuarto más seco (3 meses más secos)
Temperatura media del mes más cálido (3 meses más cálidos)
Temperatura media del cuarto más frío (3 meses más fríos)
Precipitación anual
Precipitación del mes más húmedo
Precipitación del mes más seco
Estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)
Precipitación del cuarto más húmedo (3 meses más lluviosos)
Precipitación del cuarto más seco (3 meses más secos)
Precipitación del cuarto más cálido (3 más cálidos)
Precipitación del cuarto más frío (3 más fríos)

2.4 Variables edáficas

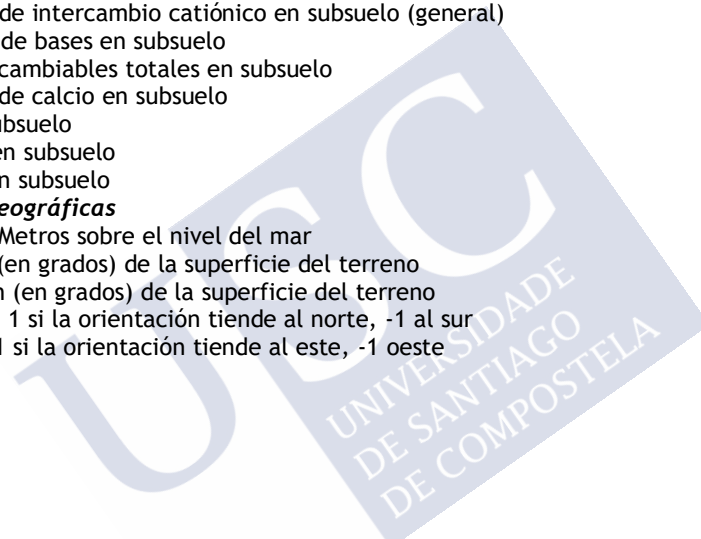
Profundidad referencia de la unidad de suelo
Contenido de grava en suelo superficial
Contenido de arena en suelo superficial
Contenido de limo en suelo superficial



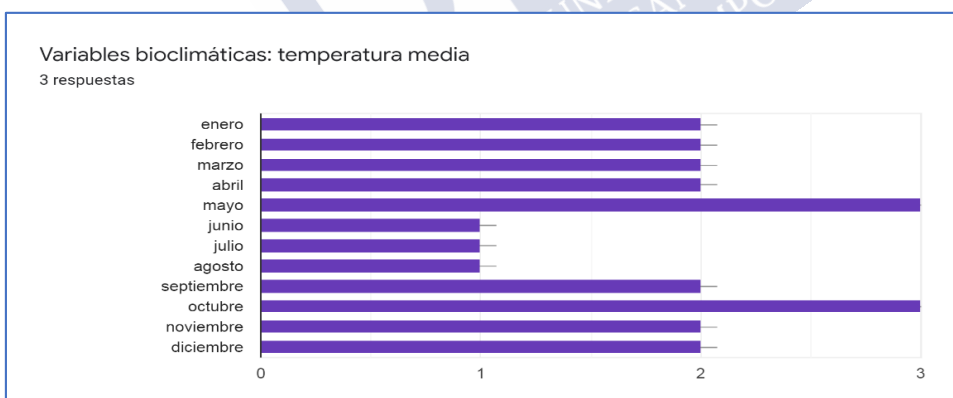
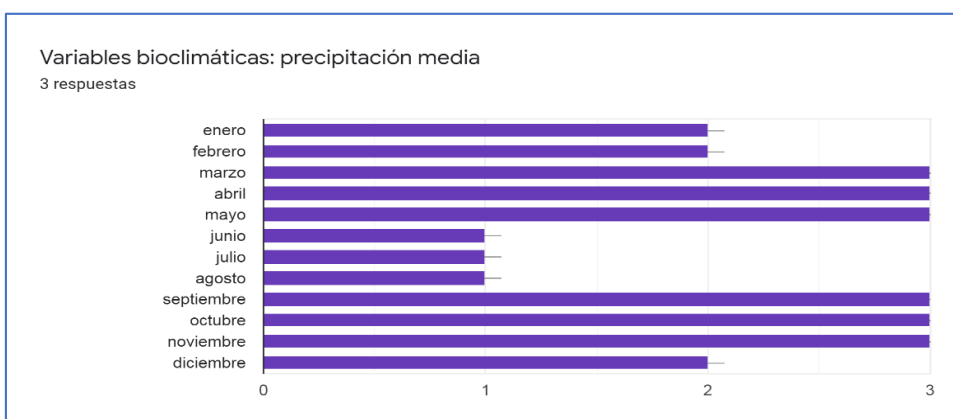
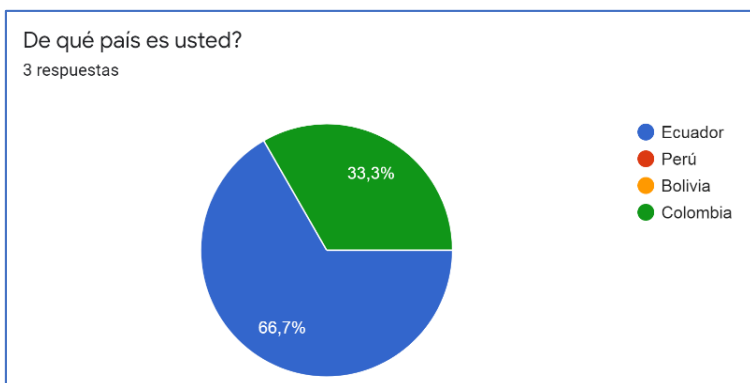
Contenido de arcilla en suelo superficial
Densidad aparente de referencia en suelo superficial
Contenido de carbón orgánico en suelo superficial
pH en suelo superficial en solución suelo-agua
Capacidad de intercambio catiónico de arcilla en suelo superficial
Capacidad de intercambio catiónico en suelo superficial (general)
Saturación de bases en suelo superficial
Bases intercambiables totales en suelo superficial
Carbonato de calcio en suelo superficial
Yesos en suelo superficial
Sodicidad en suelo superficial
Salinidad en suelo superficial
Contenido de grava en subsuelo
Contenido de arena en subsuelo
Contenido de limo en subsuelo
Contenido de arcilla en subsuelo
Densidad aparente de referencia en subsuelo
Contenido de carbón orgánico en subsuelo
pH en subsuelo en solución suelo-agua
Capacidad de intercambio catiónico de arcilla en subsuelo
Capacidad de intercambio catiónico en subsuelo (general)
Saturación de bases en subsuelo
Bases intercambiables totales en subsuelo
Carbonato de calcio en subsuelo
Yesos en subsuelo
Sodicidad en subsuelo
Salinidad en subsuelo

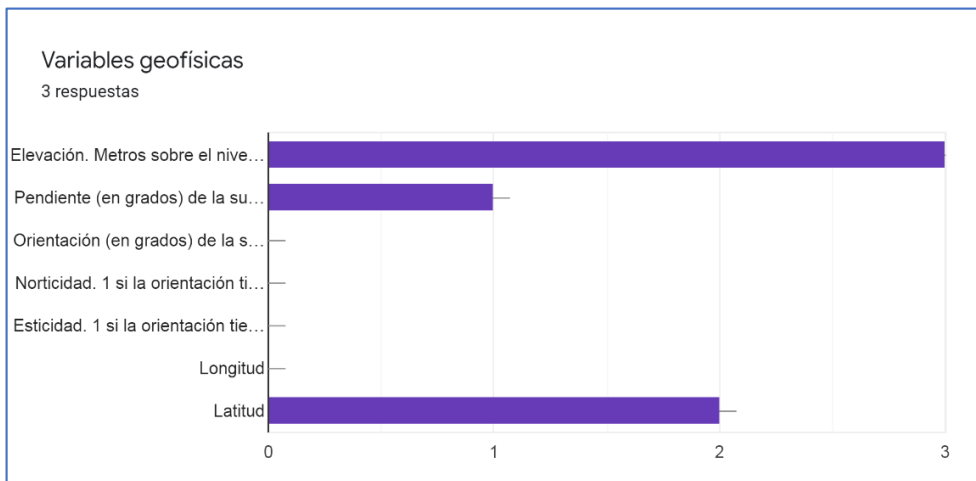
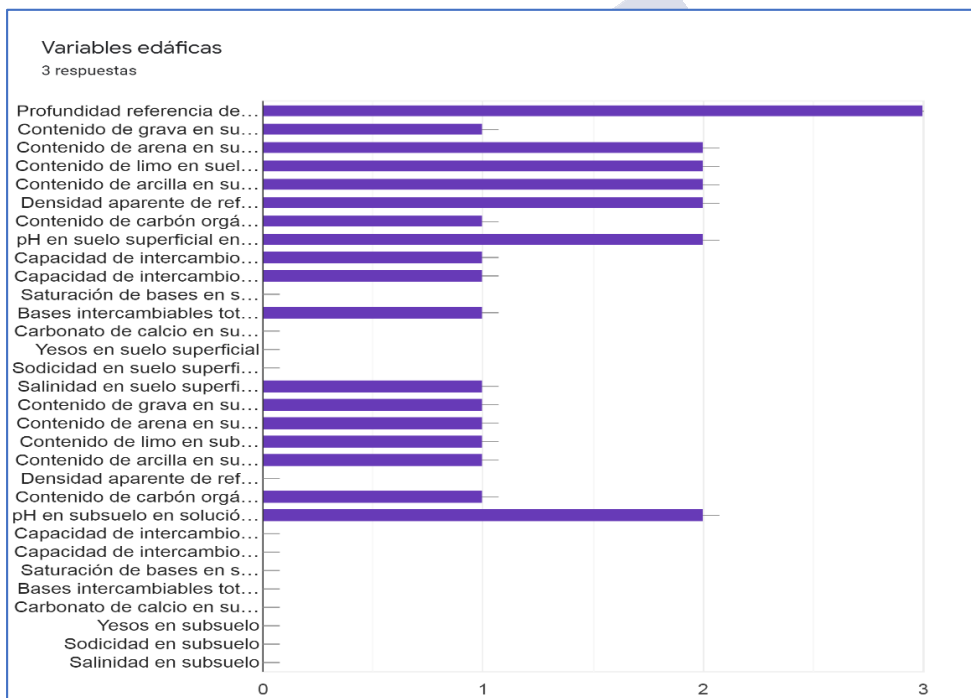
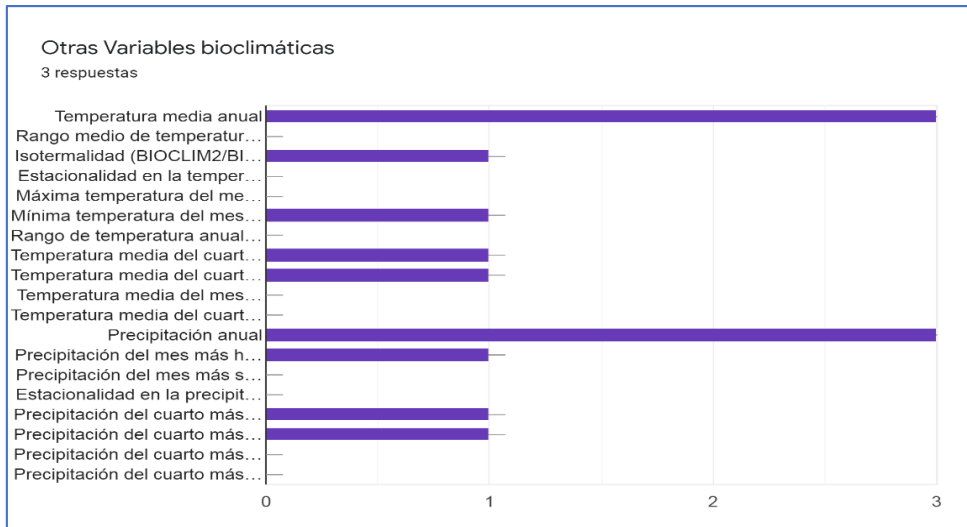
2.5 Variables ecogeográficas

Elevación. Metros sobre el nivel del mar
Pendiente (en grados) de la superficie del terreno
Orientación (en grados) de la superficie del terreno
Norticidad. 1 si la orientación tiende al norte, -1 al sur
Esticidad. 1 si la orientación tiende al este, -1 oeste
Longitud
Latitud



Anexo 3. Resultados de encuesta dirigida a expertos y conocedores de la producción y/o conservación de jicama (*Smilax tuberosa*).





Anexo 4. Distribución geográfica de las Categorías Ecogeográficas según Mapa ELC en jícama

Provincia	Categoría	Cantón	Parroquia
Carchi	7	Montúfar	Cristóbal Colón, San Gabriel
	10	Tulcán	Maldonado
		Bolívar	García Moreno, Bolívar, Monte Olivo
		Espejo	Goaltal,
		Montúfar	Cristóbal Colón, La Paz
		San Pedro de Huaca	Mariscal Sucre
Imbabura	7	Ibarra	Ibarra
		Pimapiro	San Francisco de Sigsipamba
	10	Urcuquí	San Blas,
		Cotacachi	Imantag, Cotacachi,
		Antonio Ante	San Roque,
		Otavalo	Otavalo, González Suárez, San Pablo,
		Ibarra	Ibarra, Angochagua,
		Pimapiro	Mariano Acosta, San Francisco de Sigsipamba
	11	Ibarra	Carolina, Salinas, Ambuquí,
		Urcuquí	La Merced de Buenos Aires, Cahuasquí, Urcuquí,
		Pimapiro	Pimampiro, San Francisco de Sigsipamba,
Pichincha	10	Cayambe	Olmedo, Ayora, Cayambe, Cangahua, Azcázubi , Otón
		Pedro Moncayo	Tupigachi, Tabacundo, Tocachi, La Esperanza, Malchinguí
		Quito	Puéllaro, Calacalí, San Antonio, Guayllabamba, Mono, Pomasqui, Calderón, Checa, yaruquí, Puembo, Pifo, Nayón, Conocoto, Alangasí, Pintag, Lloa,
		Mejía	Tambillo, Machachi, Aloasí,
		Rumiñahui	Sangolquí, Cotogchoa, Rumiñahui, Amahuaña,
Cotopaxi	10	Sigchos	Sigchos, Isinlivi, Chugchillán,
		Pujilí	Zumbahua, Pujilí,
		Latacunga	Toacaso, Mulaló, Tanicuchi, Guitacama, Belisario Quevedo,
		Saquisilí	Squisilí, Cangahua,
		Salcedo	San Miguel, Cusubamba,
Tungurahua	5	Baños de Agua Santa	Río Negro,
	10	Píllaro	San Andrés, Píllaro
		Ambato	Cunchibamba, Augusto Martínez, Ambatillo, Pasa, San Fernando, Pilahuín, Juan Benigno Vela Amato, Izamba, Santa Rosa, Totoras,
		Pelileo	Chiquicha,
		Cevallos	Cevallos
		Mocha	Mocha
		Quero	Rumipamba,
		Baños de Agua Santa	Río Negro, río Verde,

		Patare	El Triunfo, Sucre
Chimborazo	10	Guano	San Andrés, San Isidro de Patalú, ilapo, Guanando,
		Riobamba	San Juan, Calpi, Licán, Riobamba, Quimiag, Punín, Licto, Pungalá
		Chambo	Chambo,
		Colta	Villa la Unión, Santiago de Quito, Columbe,
		Guamote	Guamote, Cebadas, Palmira
		Alausí	Tixán, Alausí, Sibambe, Achupallas, Guasuntos, Pamallacta, Huigra
		Chunchi	Gonzol, Chunchi,
	9	Pallatanga	Pallatanga
	Alausí	Multitud, Sibambe, Huigra,	
	Cumabdá	Cumabdá	
Bolívar	10	Guaranda	Guaranda, San Simón, Santa Fé,
		Chimbo	Chimbo, Asunción,
		San Miguel	San Pablo
	9	San Miguel	Bilován,
		Chillanes	San José del Tambo, Chillanes,
Cañar	10	El Tambo	El Tambo
		Cañar	Cañar, Ingapirca, Honorato Vásquez, Cañar, Chorocopte, Gualleturo, San Antonio
		Biblián	Jerusalen, Nazón, Biblián,
		Azogues	Azogues
	9	Azogues	Azogues, Rivera, Taday, Guapán, Cojitambo, Javier Loyola,
		Biblián	Biblián, Turupamba,
		Deleg	Deleg
		Cañar	General Morales, Ducur, Gualleturo, San Antonio
	Suscal	Suscal	
Azúay	10	Cuenca	Sayausi, Molleturo, San Joaquín, Baños, Chiquitag, Quingeo, Cumbe,
		San Isabel	Zhaglli,
		Camilo Ponce Enríquez	El Carmen de Pujilí,
		Pucará	Pucará,
		El Pan	San Vicente
		Gualaceo	Luis Cordero Vega
		Sigsig	Sigsig, Cuchil, Ludo,
		Nabón	Nabón, Las Nieves, El Progreso, Cochapata,
		Oña	San Felipe de Oña,
		Santa Isabel	Santa Isabel, Zhaglli
		Pucará	Pucará
	9	Sevilla de Oro	Amaluza,
		Paute	Guarainag, Tomebamba, Dug Dug, Paute
		Gualaceo	Mariano Moreno, Gualaceo, Jadán, San Juan, Daniel Córdova Toral

		Chordeleg	Chordeleg
		Cuenca	Chiquitag, Sayausi, Llacao, Nulti, Valle, Turi, Baños, San Joaquín, Tarquí, Molleturo
		Girón	Girón, Asunción,
		Santa Isabel	San Salvador de Cañari
Loja	10	Saraguro	San Sebastián de Yulúc, Lluzhapa, Manú, El Paraíso de Celén, Selva Alegre, Tablón, San Antonio de Qumbe, Saraguro, Urdaneta
		Loja	San Lucas, Samtiago, Gualel, Chiquiribamba, El Cisne, Chantaco, Taquuil, Loja, Jimbilla, Santiago, Malacatos, San Pedro de Vilcabamba, Vilcabamba, Quinara, Yangana,
		Catamayo	San Pedro de la Bendita, Catamayo, El Tambo,
		Gonzanamá	Nambacola, Purunuma, Gonzanamá
		Calvas	Cariamanga, Sanguillín, Utuana, Colaisaca,
		Paltas	Catacocha, Guachanama
El Oro	10	Zaruma	Guanazan, Guizhaguiña,
		Chilla	Chilla,
		Atahualpa	Paccha,
	9	El Guabo	El Guabo
		Pasaje	Progreso
Zamora Chinchipe	10	Yacuambi	Yacuambi, 28 de Mayo, La Paz
		Zamora	Imbana, Zamora, Sabanilla,
		Palanda	Valladolid, Palanda, San Francisco del Vergel,
		Chinchipe	San Andrés,
	5	Yacuambi,	28 de Mayo, La Paz
		Yanitzapa	Chicaña, Los Encuentros
		Paquisha	Paquisha
		Centinela del Cóndor	Zumbi
		Zamora	Guadalupe
		Nangaritza	Guayzini, Nuevo Paraiso
Morona Santiago	10	Gualaquiza	San Miguel de cuyes,
		San Juan Bosco	San Juan Bosco
		Limón Indanza	General Leonidas Plaza, Yunganza
		Santiago	Copal
		Morona	Río Blanco, Zuña, Sanai,
		Pablo Sexto	Pablo Sexto
		Palora	Cumandá
	5	Morona	Sanai, Alshi, Río Blanco, Morona Don Bosco,
		Pablo Sexto	Pablo Sexto
		Sucua	Sucua
		Logrodo	Yaupi,
		Santiago	Patuca

		Limón Indanza	San Antonio
		San Juan Bosco	San Jacinto de Wakambeis
		Gualaquiza	Bomboiza
Napo	10	El Chaco	Oyacachi
		Quijos	Cuyuja
		Archidona	Cotundo
		Tena	Talag, Pano
	5	Gonzalo Pizarro	El Reventador
		El Chaco	Gonzalo Díaz de Pineda
		Loreto	San Vicente de Huatico
		Quijos	Sumaco
		Archidona	Hatun Sumaki, Cotundo
	7	El Chaco	Linares
Archidona		Cotundo	
Sucumbíos	10	Sucumbíos	La Bonita, La Sofía,
		Gonzalo Pizarro	Reventador
	7	Sucumbíos	La Sofía
Esmeraldas	11	San Lorenzo	Alto Tambo
		Eloy Alfaro	Luis Vargas Torres



Anexo 5. Identificación de zonas de colecta con base a vacíos según categorías ELC y vacíos por ocurrencia de la especie

Provincia	Cantón	Vacíos mapa ELC 1= Nula 2= Media baja	Vacíos por ocurrencia de la especie 1= Nula 2= Media baja
<i>Región Sierra</i>			
Carchi	Tulcán	1	1
	Espejo		1
	Mira		1
	Montúfar	1	
Imbabura	Ibarra	1-2	1
	Urququí	1-2	
	Cotacachi	1	1
	Otavalo		1
Pichincha	Cayambe		1
	Pedro Moncayo		1
	San Miguel de los Bancos		1
	Quito	1	1
	Mejía		1
Cotopaxi	Sigchos		1
	La Maná		1
	Pujilí		1
	Latacunga		1
	Pangua		1
	Salcedo		1
Tungurahua	Píllaro		1
	Ambato		1
	Pelileo		1
	Mocha		1
	Baños de Agua Santa		1
	Patate		1
Chimborazo	Guano		1
	Penipe		1
	Riobamba		1
	Chambo		1
	Colta		1
	Guamote		1
	Chunchi		1
	Pallatanga	2	1-2
	Alausí	2	1-2
Cumandá	2		

Bolívar	Guaranda		1
	Chimbo	2	1
	San Miguel	2	2
	Echendía		1
	Caluma		1
	Las Naves		1
	Chillanes	2	1-2
Cañar	Cañar	2	1-2
	Azogues	2	2
	Biblián		2
	Deleg	2	2
Cuenca	Cuenca	2	2
	Camilo Ponce Enríquez	2	
	El Pan	2	2
	Gualaceo		2
	Guachapala		2
	Sevilla de Oro		2
	Paute	2	2
	Gualaceo	2	
	Chordeleg		2
	San Fernando		2
	Girón	2	2
Santa Isabel	2	2	
<i>Región Costa</i>			
Esmeraldas	San Lorenzo	1	
	Eloy Alfaro	1	
Santo Domingo	Santo Domingo		1
Los Ríos	Valencia		1
El Oro	Chilla	2	
	Atahualpa	2	
	El Guabo	2	2
	Lajas		2
<i>Región Amazónica</i>			
Sucumbíos	Sucumbíos		1
	Gonzalo Pizarro		1
Napó	Tena		1
	Loreto	1	
	Quijos		1
	Archidona	1	1
	El Chaco	1	1
Pastaza	Pastaza		1

Morona Santiago	Limón Indanza		
	Palora		1
	Morona		1
	Sucua		1
Zamora Chinchipe	Palanda		1
	Zamora		1
	Nangaritza		1



CAPÍTULO 4.

Anexo 1. Datos pasaporte de la colección nacional de miso (*Mirabilis expansa*)

Accesión	Provincia	Cantón	Parroquia	Latitud	Longitud	Altitud (m s.n.m.)
ECU1262	Pichincha	Pedro Moncayo	Tocachi	00°02' N	78°16' O	2700
ECU1263	Pichincha	Pedro Moncayo	Tocachi	00°02' N	78°16' O	2700
ECU1264	Cotopaxi	Latacunga	San Juan de Pastocalle	00°43' S	78°39' O	2800
ECU1265	Cotopaxi	Sigchos	Isinlivi	00°43' S	78°52' O	2470
ECU1266	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	00°42' S	78°52' O	2500
ECU1267	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	00°42' S	78°52' O	2500
ECU1268	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	00°42' S	78°52' O	2730
ECU1269	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	00°42' S	78°52' O	2700
ECU1270	Cotopaxi	Sigchos	Chugchillan	00°47' S	78°54' O	2500
ECU8922	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	0°41'58" S	78°54'12" O	3000
DCHJV077	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	0° 42'59,8" S	78° 51'52,0"O	2845
DCHJV078	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	0° 42'47,9" S	78° 51'37,0"O	2864
DCHJV079	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	0° 42'59,5" S	78° 52'13,3"O	2630
DCHJV081	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	0° 40'51,5" S	78° 53'14,6"O	2805
DCHJV082	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	0° 42'07,7" S	78° 53'06,4"O	2855
DCHJV085	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	0° 41'08,9" S	78° 52'27,6"O	2646
DCHJV086	Cotopaxi	Sigchos	Chugchillan	0° 47'55,9" S	78° 55'01,2"O	3174
DCHJV088	Cotopaxi	Sigchos	Chugchilán	0° 46'48,0" S	78° 54'12,5"O	2776
DCHJV-129	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	0° 45'04,3" S	78° 54'06,2" O	2972
DCHJV-131	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	0° 42'04,9" S	78° 54'05,6" O	2983
DCHJV-134	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	0° 42'04,9" S	78° 54'05,6" O	2983
DCHJV-135	Cotopaxi	Sigchos	Sigchos	0° 41'18,9" S	78° 52'32,7" O	2670
DCHJV-138	Cotopaxi	Latacunga	Pastocalle	0° 43'29,1" S	78° 38'20,6" O	3185
NMDCH-158	Pichincha	Pedro Moncayo	La Esperanza	0°01'2" N	78°14' 31,2" O	2759
NMDCH-159	Pichincha	Pedro Moncayo	La Esperanza	0°1'07.1" N	78°14' 33" O	2742
NMDCH-160	Pichincha	Pedro Moncayo	La Esperanza	0°00'32" N	78°14'53,5" O	2671
NMDCH-161	Pichincha	Pedro Moncayo	Tocachi	0°02'31,8" N	78°16'10,2" O	2817
NMDCH-162	Imbabura	Cotacachi	Quiroga	0°17'19,6" N	78°19'34" O	2840
NMDCH-163	Imbabura	Cotacachi	Quiroga	0°15'53,2" N	78°19'1,5" O	2705
NMDCH-164	Imbabura	Cotacachi	Quiroga	0°15'52,2" N	78°19'0.7" O	2677

Anexo 2. Encuesta dirigida a expertos y conocedores de la producción y/o conservación de miso o mauka (*Mirabilis expansa*).

La presente encuesta tiene la finalidad de definir variables edafoclimáticas y ecogeográficas que inciden o tienen efecto en la producción y/o conservación del miso (*Mirabilis expansa*)

La encuesta solo demora 5 minutos

1. De qué país es usted?

Ecuador
Perú
Bolivia

2. Selección de variables Bioclimáticas

- Seleccione el o los meses de precipitación que a su criterio inciden en la producción y/o conservación de miso

2.1 Variables bioclimáticas: precipitación media

Enero
Febrero
Marzo
Abril
Mayo
Junio
Julio
Agosto
Septiembre
Octubre
Noviembre
Diciembre

2.2 Variables bioclimáticas: temperatura media

Enero
Febrero
Marzo
Abril
Mayo
Junio
Julio
Agosto
Septiembre
Octubre
Noviembre
Diciembre

2.3 Variables bioclimáticas: Otras

Temperatura media anual
Rango medio de temperaturas diurnas
Isotermalidad (BIOCLIM2/BIOCLIM7)(*100)
Estacionalidad en la temperatura (desviación estándar*100)
Máxima temperatura del mes más cálido
Mínima temperatura del mes más frío
Rango de temperatura anual (BIOCLIM5 - BIOCLIM6)
Temperatura media del cuarto más húmedo (3 meses más lluviosos)
Temperatura media del cuarto más seco (3 meses más secos)
Temperatura media del mes más cálido (3 meses más cálidos)
Temperatura media del cuarto más frío (3 meses más fríos)
Precipitación anual
Precipitación del mes más húmedo
Precipitación del mes más seco
Estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)
Precipitación del cuarto más húmedo (3 meses más lluviosos)
Precipitación del cuarto más seco (3 meses más secos)
Precipitación del cuarto más cálido (3 más cálidos)
Precipitación del cuarto más frío (3 más fríos)

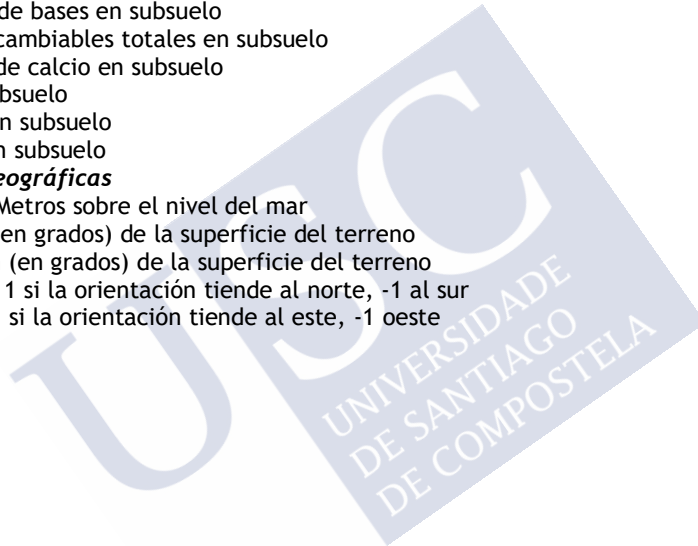
2.4 Variables edáficas

Profundidad referencia de la unidad de suelo
Contenido de grava en suelo superficial
Contenido de arena en suelo superficial
Contenido de limo en suelo superficial
Contenido de arcilla en suelo superficial

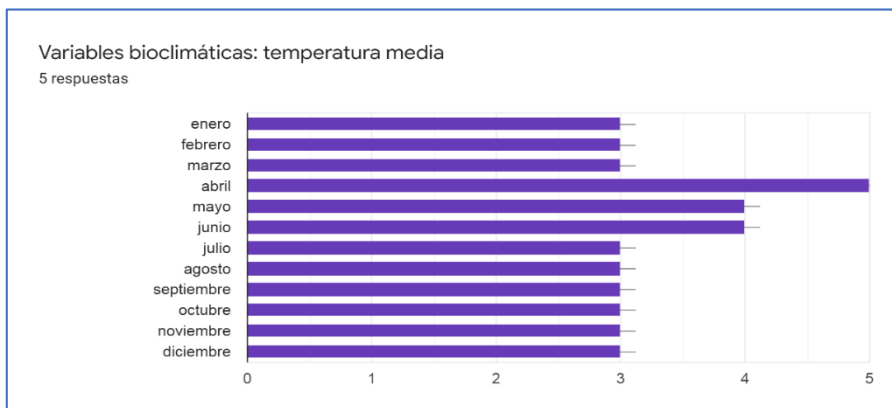
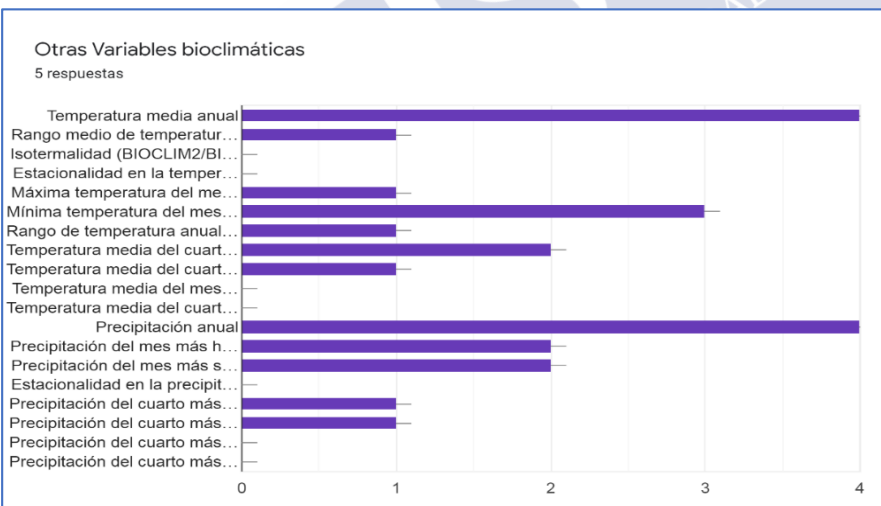
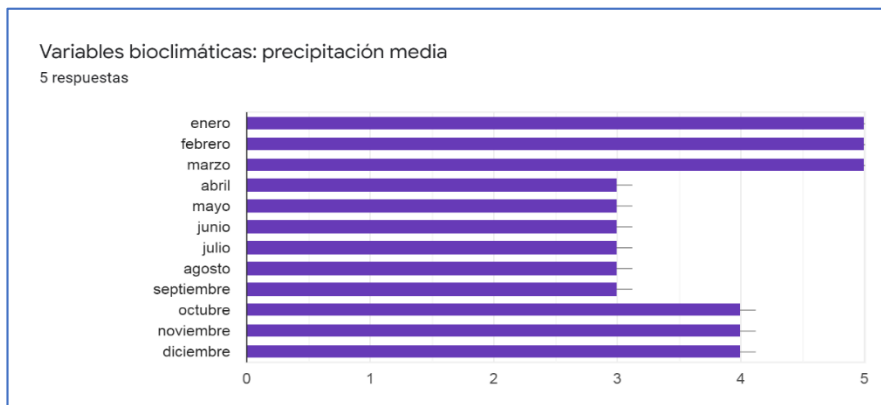
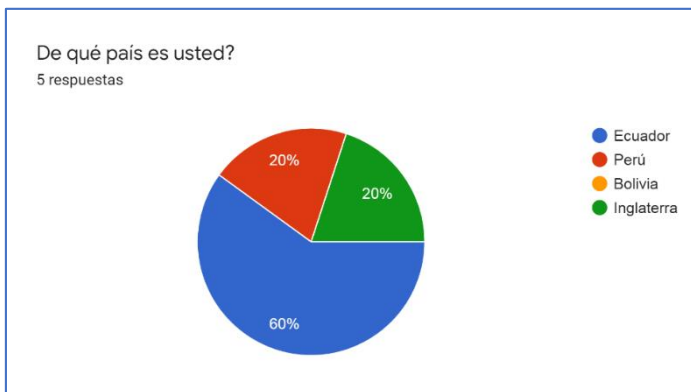
Densidad aparente de referencia en suelo superficial
Contenido de carbón orgánico en suelo superficial
pH en suelo superficial en solución suelo-agua
Capacidad de intercambio catiónico de arcilla en suelo superficial
Capacidad de intercambio catiónico en suelo superficial (general)
Saturación de bases en suelo superficial
Bases intercambiables totales en suelo superficial
Carbonato de calcio en suelo superficial
Yesos en suelo superficial
Sodicidad en suelo superficial
Salinidad en suelo superficial
Contenido de grava en subsuelo
Contenido de arena en subsuelo
Contenido de limo en subsuelo
Contenido de arcilla en subsuelo
Densidad aparente de referencia en subsuelo
Contenido de carbón orgánico en subsuelo
pH en subsuelo en solución suelo-agua
Capacidad de intercambio catiónico de arcilla en subsuelo
Capacidad de intercambio catiónico en subsuelo (general)
Saturación de bases en subsuelo
Bases intercambiables totales en subsuelo
Carbonato de calcio en subsuelo
Yesos en subsuelo
Sodicidad en subsuelo
Salinidad en subsuelo

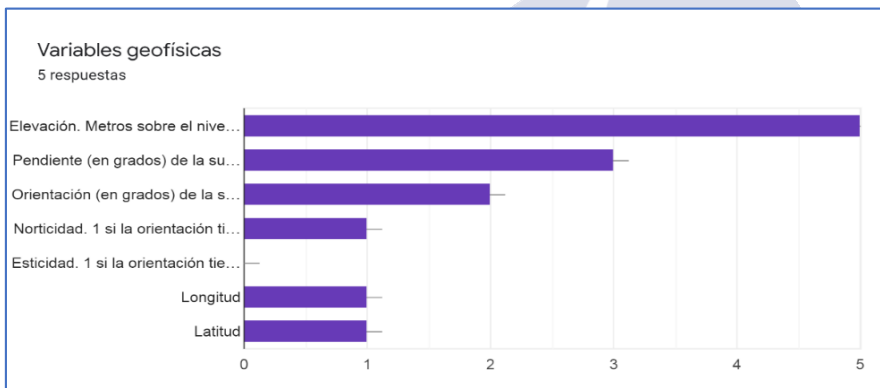
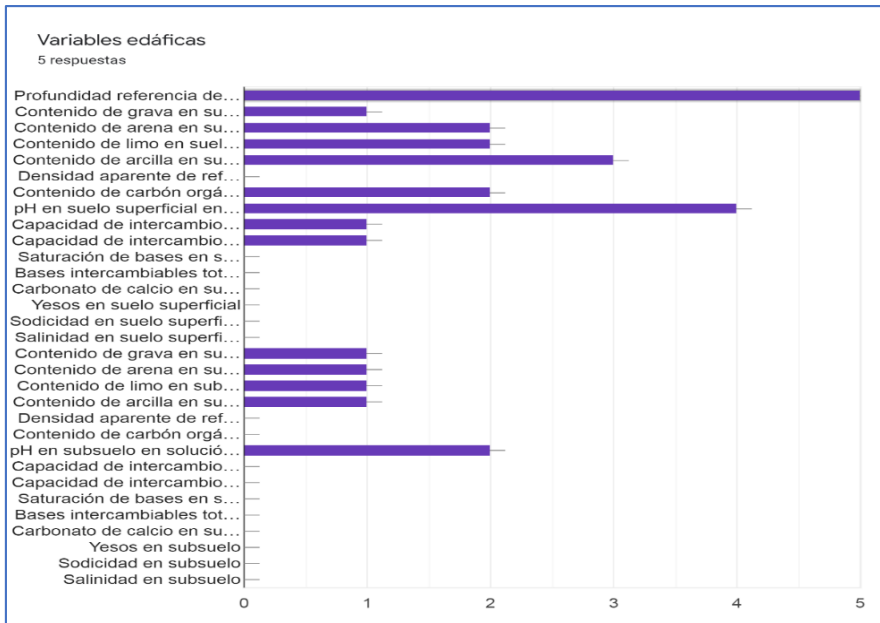
2.5 Variables ecogeográficas

Elevación. Metros sobre el nivel del mar
Pendiente (en grados) de la superficie del terreno
Orientación (en grados) de la superficie del terreno
Norticidad. 1 si la orientación tiende al norte, -1 al sur
Esticidad. 1 si la orientación tiende al este, -1 oeste
Longitud
Latitud



Anexo 3. Respuesta de expertos a la selección de variables ecogeográficas





Anexo 4. Zonas ecogeográficas identificadas según el mapa ELC para miso

Provincia	Categoría	Cantón	Parroquia	
Carchi	1	Bolívar	Bolívar, Monte Olivo	
		Bolívar	Monte Olivo	
	3	Montúfar	San Gabriel, Fernández Salvador,	
		Mira	Mira	
		Bolívar	García Moreno, Bolívar	
		Espejo	El Ángel	
Imbabura	1	Cotacachi	García Moreno,	
		Ibarra	Carolina, Ibarra,	
		Urcuquí	Cahuasquí, Urcuquí, Pablo Arenas, La Merced de Buenos Aires, Tumbabiro,	
		Pimampiro	Pimampiro, Chuga,	
	2	Pimampiro	Pimampiro, Chuga,	
	3	Pimampiro	San Francisco de Sigsipamba, Pimampiro, Mariano Acosta	
		Urcuquí	San Blas,	
		Cotacachi	Imantag, Cotacachi	
		Ibarra	San Antonio, Ibarra, Ambuquí, Angochagua,	
		Antonio Ante	Atuntaqui, Imabaya	
	Pichincha	2	Cayambe	Olmedo, San José de Ayora, Cayambe,
			Pedro Moncayo	Tabacundo, Malchinguí, Tocachi, Tupigachi
3		Cayambe	San José de Ayora, Cayambe, Cangahua	
		Quito	Puéllaro, San Antonio, Calacalí, Nono, Quito, Calderón, Quinche, Yaruquí, Pifo, Tumbaco, La Merced, Pintag, Amaguaña, Conocoto, Lloa	
		Rumiñahui	Sangolquí, Cotogchoa,	
Mejía	Aloag, Machachi, Aloasí, Tambillo			
Cotopaxi	3	Latacunga	San Juan de Pastocalle, Mulaló, Joseguango bajo, Alaqués, Latacunga, Belisario Quevedo, Poalo, Toacaso,	
		Sigchos	Sigchos, Isinlivi, Chugchillán	
		Saquisilí	Canchagua, Cochapamba, Saquisilí	
		Salcedo	Mullinguindil, San Miguel, Pansaleo, Mulalillo, Cusubamba, Pansaleo	
		Pujilí	Pujilí, La Victoria, Guangaje, Zumbahua	
Tungurahua	2	Baños de Agua Santa	Río Negro, Río Verde, Ulba,	
		Patate	Sucre, El Triunfo	
	3	Píllaro	Píllaro,	
		Ambato	Cunchibamba, Unamuncho, Augusto Martínez, Constantino Fernández, Ambatillo, Quisapincha, Pasa, San Fernando, Pilahuín, Juan Benigno Vela, Santa Rosa, Ambato, Huachi Grande, Montalvo, Pacaiga, Izamba, Atahualpa,	
		Mocha	Mocha	
		Quero	Quero, Rumipamba, Yanayacu,	

		Pelileo	Chiquicha, El Rosario, Salasaca, Pelileo, Bolívar, Cotato, García Moreno
		Cevallos	Cevallos
	5	Baños de Agua Santa	Río Negro, Río Verde
Chimborazo	2	Penipe	Matus, La Candelaria
		Guamote	Cebadas
		Alausí	Achupallas,
	3	Penipe	El Altar, Penipe
		Guano	San Andrés, San Isidro de Patulu, Guano, Valparaiso, Ilapo, Santa Fé de Galán, San José del Chazo
		Riobamba	San Juan, Calpi, Licán, Riobamba, Cacha, San Lus, Punín, Flores, Licto, Pungala
		Colta	Villa la Unión, Santiago de Quito, Columbe
		Guamote	Cebadas, Guamote, Palmira
		Pallatanga	Pallatanga
		Alausi	Sibambe, Guasuntos, Tixán, Achupallas,
	4	Pallatanga	Pallatanga
		Cumanda	Cumanda
		Alausí	Multitud, Huigra, Sibambe,
	5	Alausí	Achupallas,
	6	Alausí	Sibambe, Pumallacta, Guasuntos
Chunchi		Chunchi	
Cañar	1	Azogues	Rivera, Taday
		Deleg	Deleg
	2	El Tambo	El Tambo
		Cañar	Chorocopte, Gualleturo, San Antonio, Ingapirca, Honorato Vásquez,
		Azogues	Rivera, Pindilig, Azogues
		Biblián	Biblián, Nazón,
	4	Cañar	General Morales, Chontamarca, Gualleturo, San Antonio
		Suscal	Suscal
		Azogues	Rivera, Pindilig, Taday, Azogues, Cojitambo
		Deleg	Deleg
		Biblián	Biblián
	5	Cañar	Cañar, Gualleturo, Juncal
		Biblián	Nazón,
		Azogues	Rivera
	Azuay	1	Cuenca
2		Cuenca	Sayausi, Molleturo, Chiquintad, San Joaquín, Baños, Chaucha
4		Sevilla de Oro	Sevilla de Oro
		Paute	Guarainag, Paute,
		Gualaceo	Mariano Moreno, Gualaceo, Jadán,
		El Pan	El Pan
Guachapala		Guachapala	

		Chordaleg	Chordaleg	
		Cuenca	Checa, Octavio Cordero, Lacao, Sinincay, Cuenca, Turi, Valle, Tarqui, Baños, Victoria del Portete, Molleturi	
		Girón	Girón, Asunción	
		Santa Isabel	Santa Isabel, San Salvador de Cañaribamba	
		Nabón	Las Nieves,	
		Oña	San Felipe de Oña	
	5	Sevilla de Oro	Amaluza, Palmas, Sevilla de Oro	
		Cuenca	Molleturo, Chaucha,	
		Camilo Ponce Enríquez	El Carmen de Pijili,	
		Santa Isabel	Zhaglli, San Salvador de Cañaribamba	
		Pucará	Pucará	
		San Fernando	San Fernando	
		Girón	Girón	
		Nabón	El Progreso, Nabón	
		Sigsig	Sigsig, Cuchil,	
		Chordaleg	Principal,	
		Gualaceo	Luis Cordero Vega, Remigio, Crespo Toral,	
	6	Gualaceo	Zhidmad,	
		Cuenca	Quingeo,	
		Sigsig	San Bartolomé, Cichil, Ludo, Gima,	
Girón		Girón		
Nabón		Las Nieves,		
Oña		San Felipe de Oña		
Loja	4	Loja	Loja, Yangana, Gonanamá, La Libertad	
		Macará	Macará	
		Calvas	Colaisaca	
	5	Loja	Loja, Chuquiribamba, Malacatos, Vilcabamba,	
		Catamayo	San Pedro de la Bendita, Catamayo, El Tambo,	
		Gonzanamá	Mambacola, Changaimina	
		Paltas	Catacocha, Guachanama, Lauro Guerrero,	
		Puyango	Mercadillo,	
		Celica	Celica	
		Macará	Macará, Larama,	
		Sozoranga	Sozoranga	
	6	Calvas	Colaisaca, Cariamanga, Colaisaca	
		Saraguro	San Sebastian de Yuluc, Manú, Sumaypamba, Lluzhapa, El Paraiso de Celén, San Pablo de Tenta, Saraguro, San Antonio de Cumbe, El Tablón,	
			Loja	El Cisne, Gualel, Chuquiribamba, Santiago, San Lucas, Taquil, Jimbilla, Malacatos, San Pedro de Vilcabamba, Yangana, Quinara,
	Esmeraldas	1	Eloy Alfaro	Luis Vargas Torres, Telembi
El Oro	5	Chilla	Chilla	

		Atahualpa	Paccha
		Piñas	Piñas
		Zaruma	Arcapamba
	6	Zaruma	Guanazan, Salvias, Guizhaguña
		Portoviejo	Morales
Sucumbíos	2	Sucumbíos	La Bonita, La Sofia,
		Gonzalo Pizarro	El Reventador
	3	Gonzalo Pizarro	El Reventador
Napó	2	El Chaco	Oyacachi,
		Quijos	Cuyuja, Cosanga,
		Archidona	Cotundo, Archidona, Papallacta
		Tena	Pano
	3	El Chaco	Gonzalo Díaz de Pineda
		Quijos	Sumaco
Morona Santiago	2	Palora	Cumanda
		Pablo Sexto	Pablo Sexto
		Morona	Zuña, Río Blanco, Alshi
	5	Pablo Sexto	Pablo Sexto
		Morona	Sinai, Zuña, Río Blanco
		Sucua	Sucua
		Santiago	Copal
		Limón Indala	General Leonidas Plaza
		San Juan Bosco	San Juan Bosco
		Gualaquiza	Chiguinda, Amazonas, Bermejós
Zamora Chinchipe	6	Yacuambi	Tutupali, La Paz
		Zamora	Imbana, Zamora
		Palanda	El Porvenir del Carmen, Palanda, San Francisco del Vergel
		Chinchipe	Zumba, Chito,
		Nangaritza	Nuevo Paraiso
	5	Yacuambi	28 de mayo
		Yantzaza	Chicana