



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**“DETERMINACIÓN DEL PODER GERMINATIVO DE SEMILLAS
SILVESTRES DE PAPA (*Solanum* spp.) Y ESTADO DE DISTRIBUCIÓN
ECOGEOGRÁFICA EN ECUADOR”.**

Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniera Agropecuaria

AUTOR/A:

Cunguán Haro Karen Adriana

DIRECTOR/A:

Ing. Chalampunte Flores Doris Salomé MSc.

Ibarra, Noviembre 2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN Nro. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

**CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ibarra, 09 de noviembre del 2020

Certifico que el trabajo fue desarrollado por la señorita Cunguán Haro Karen Adriana, con cédula de ciudadanía N° 172443464-0 bajo mi supervisión.

Atentamente,

.....
MSc. Chalampunte Flores Doris Salomé
DIRECTORA TRABAJO TITULACIÓN

.....
Cunguán Haro Karen Adriana
ESTUDIANTE

Misión Institucional:
Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN Nro. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
FORMATO DE CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Ibarra, 09 de noviembre del 2020

Dr. Bolívar Batallas, PhD.
DECANO FICAYA

Ab. Clever Torres T. Mgs.
SECRETARIO JURÍDICO

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación:
“DETERMINACIÓN DEL PODER GERMINATIVO DE SEMILLAS SILVESTRES DE PAPA (*Solanum spp.*) Y ESTADO DE DISTRIBUCIÓN ECOGEOGRÁFICA EN ECUADOR” de autoría del señorita: Cunguán Haro Karen Adriana estudiante de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria, el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que el/la autor/a o autores ha procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencias realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

FIRMA

MSc. Doris Salomé Chalampunte Flores
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

MSc. María José Romero Astudillo
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

MSc. Ima Sumac Sánchez De Céspedes
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TRITULACIÓN

Misión Institucional:

Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1724434640	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Cunguán Haro Karen Adriana	
DIRECCIÓN:	Tabacundo (Calle Rumiñahui y Rocafuerte)	
EMAIL:	kacunguanh@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	-----	TELÉFONO MÓVIL: 0986539677

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“DETERMINACIÓN DEL PODER GERMINATIVO DE SEMILLAS SILVESTRES DE PAPA (<i>Solanum</i> spp.) Y ESTADO DE DISTRIBUCIÓN ECOGEOGRÁFICA EN ECUADOR”
AUTOR (ES):	Karen Adriana Cunguán Haro
FECHA: DD/MM/AAAA	05/11/2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería Agropecuaria
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Doris Salomé Chalampunte Flores MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 05 días del mes de noviembre de 2020

EL AUTOR:



(Firma)

Nombre: Karen Adriana Cunguán Haro

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios por ser mi fortaleza y guía, y por acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas, tu amor y tu bondad no tienen fin.

“Siempre tomo en cuenta primero al Señor; nada me hará tambalear, pues él está a mi lado.”

Salmos 25:1

Mi profundo agradecimiento a mi Tutora Ing. Doris Chalampunte quien con su experiencia, conocimiento y motivación me oriento en el proceso de investigación y a mis mentores Dr. César Tapia y Dr. Álvaro Monteros, por abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias “INIAP”, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo y amistad.

Agradezco a la Universidad Técnica del Norte, por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas para poder concluir mis estudios, así, también a los distintos docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo para concluir esta etapa. Y puedo decir eufóricamente que fui parte jorgullosamente de la UTN!.

Gracias a mi madre María por ser la principal promotora de mis sueños, por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas y por estar dispuesta a acompañarme en cada paso que doy. A mi hermana Mayra y abuelitos Gerardo y Fanny, quienes han creído en mi siempre brindándome su amor en todo este tiempo de estudio y por las palabras de ánimo que cada día fortalecían mi vida.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a las familias pastorales Espejo Delgado, Torres Cadena y Torres Loor, quienes fueron un pilar fundamental en mi vida espiritual al guiarme y orar por mi en todo momento.

DEDICATORIA

La presente Tesis la dedico a Dios, gracias a él he logrado concluir mi carrera, ya que, me ha dado la fortaleza, sabiduría y el valor para cumplir cada una de mis metas, y por ser mi Padre Eterno.

A mi madre María, hermana Mayra, sobrinos James y Joseph y abuelitos Gerardo y Fanny, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona, fueron un punto clave para salir adelante, estuvieron a mi lado todo el tiempo de este proceso académico y me ayudaron con los recursos económicos para estudiar.

Karen Adriana Cunguán Haro

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE TABLAS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Problema	4
1.3. Justificación	6
1.4. Objetivos	8
1.4.1. Objetivo general.	8
1.4.2. Objetivos específicos.	8
1.5. Preguntas directrices	8
1.6. Hipótesis	8
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1. Generalidades.....	9
2.2. Especies silvestres.....	9
2.2.1. Especies silvestres de papa	11
2.2.1.1. <i>Solanum albicans</i> Ochoa.....	11
2.2.1.2. <i>Solanum chomatophilum</i> Bitter.....	12
2.2.1.3. <i>Solanum olmosense</i> Ochoa.....	13
2.2.1.4. <i>Solanum albornozii</i> Correll.....	14
2.2.1.5. <i>Solanum andreanum</i> Baker.....	14
2.2.1.6. <i>Solanum chilliasense</i> Ochoa.....	15
2.2.1.7. <i>Solanum colombianum</i> Dunal	15
2.2.1.8. <i>Solanum minutifolium</i> Correll.....	16
2.3. Métodos de propagación de papa.....	16
2.4. Semilla botánica de papa	17
2.5. Caracterización morfométrica.....	18
2.6. Estimulantes de germinación	18
2.7. Caracterización ecogeográfica	19
2.8. Conservación <i>in situ</i> y <i>ex situ</i>	21
2.9. Marco legal	22

3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
3.1.	Caracterización morfométrica de la semilla botánica de las especies silvestres de papa	24
3.1.1.	Caracterización del área de estudio	24
3.1.2.	Materiales, equipos, insumos y herramientas	25
3.1.3.	Métodos	25
3.2.	Germinación de semilla botánica de papa silvestre	26
3.2.1.	Primera etapa de germinación	27
3.2.1.1.	Materiales, equipos, insumos y herramientas.....	27
3.2.1.2.	Métodos.....	27
3.2.1.3.	Factor en estudio	27
3.2.1.4.	Tratamientos.....	27
3.2.1.5.	Diseño experimental.....	28
3.2.1.6.	Características del experimento	29
3.2.1.7.	Características de la unidad experimental.....	29
3.2.1.8.	Análisis estadístico.....	29
3.2.1.9.	Variables evaluadas.....	29
3.2.1.10.	Manejo específico del experimento	30
3.2.2.	Segunda etapa de germinación	33
3.2.2.1.	Materiales, equipos, insumos y herramientas.....	33
3.2.2.2.	Métodos.....	34
3.2.2.3.	Factor en estudio	34
3.2.2.4.	Tratamientos.....	34
3.2.2.5.	Diseño experimental.....	35
3.2.2.6.	Características del experimento	36
3.2.2.7.	Características de la unidad experimental.....	36
3.2.2.8.	Análisis estadístico.....	36
3.2.2.9.	Variables evaluadas.....	36
3.2.2.10.	Manejo específico del experimento	36
3.3.	Caracterización ecogeográfica	38
3.3.1.	Materiales, equipos, insumos y herramientas.....	38
3.3.2.	Métodos	39
3.3.2.1.	Especies en estudio.....	39
3.3.2.2.	Área de Estudio	39

3.3.2.3.	Caracterización ecogeográfica	40
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1.	Caracterización morfométrica de la semilla botánica de especies silvestres de papa 42	
4.1.1.	Peso de la semilla botánica de especies silvestres	42
4.1.2.	Largo y ancho de la semilla botánica de especies silvestres de papa	43
4.1.3.	Área de la semilla botánica de especies silvestres de papa	44
4.1.4.	Color y forma de las semillas botánicas de especies silvestres de papa (<i>Solanum</i> spp.)	46
4.2.	Germinación de la semilla botánica de papa silvestre	48
4.2.1.	Primera etapa de germinación	48
4.2.1.1.	Porcentaje de germinación	48
4.2.1.2.	Relación de características morfométricas y porcentaje de germinación	50
4.2.1.3.	Tamaño de radícula e hipocótilo	51
4.2.2.	Segunda etapa de germinación	53
4.2.2.1.	Porcentaje de germinación	53
4.2.2.2.	Tamaño de radícula e hipocótilo	56
4.3.	Caracterización ecogeográfica de seis especies silvestres de papa en Ecuador	59
4.3.1.	<i>Solanum albicans</i> O.	59
4.3.1.1.	Variabilidad bioclimática y geofísica de <i>S. albicans</i> O. a nivel nacional	59
4.3.1.2.	Variabilidad edáfica para <i>S. albicans</i> O.	60
4.3.1.3.	Categoría ecogeográfica para <i>Solanum albicans</i> O.	62
4.3.2.	<i>Solanum albornozii</i> C.	64
4.3.2.1.	Variabilidad bioclimática y geofísica de <i>S. albornozii</i> C. en Ecuador	64
4.3.2.2.	Variabilidad edáfica para <i>S. albornozii</i> C.	65
4.3.2.3.	Categoría ecogeográfica para <i>Solanum albornozii</i> C.	67
4.3.3.	<i>Solanum andreanum</i> B.	69
4.3.3.1.	Variabilidad bioclimática y geofísica de <i>S. andreanum</i> B. en Ecuador	69
4.3.3.2.	Variabilidad edáfica para <i>Solanum andreanum</i> B.	70
4.3.3.3.	Categoría ecogeográfica para <i>Solanum andreanum</i> B.	72
4.3.4.	<i>Solanum chilliasense</i> O.	75
4.3.4.1.	Variabilidad bioclimática y geofísica de <i>S. chilliasense</i> O. en Ecuador	75

4.3.4.2.	Variabilidad edáfica para <i>S. chilliasense</i> O.....	76
4.3.4.3.	Categoría ecogeográfica para <i>Solanum chilliasense</i> O.	78
4.3.5.	<i>Solanum chomatophilum</i> B.....	80
4.3.5.1.	Variabilidad bioclimática y geofísica de <i>S. chomatophilum</i> B. en Ecuador	80
4.3.5.2.	Variabilidad edáfica para <i>S. chomatophilum</i> B.....	81
4.3.5.3.	Categoría ecogeográfica para <i>Solanum chomatophilum</i> B.	82
4.3.6.	<i>Solanum colombianum</i> D.....	85
4.3.6.1.	Variabilidad bioclimática y geofísica de <i>S. colombianum</i> D. en Ecuador	85
4.3.6.2.	Variabilidad edáfica para <i>S. colombianum</i> D.....	86
4.3.6.3.	Categoría ecogeográfica para <i>Solanum colombianum</i> D.	89
4.3.7.	<i>Solanum minutifolium</i> C.....	92
4.3.7.1.	Variabilidad bioclimática y geofísica de <i>S. minutifolium</i> C. en Ecuador	92
4.3.7.2.	Variabilidad edáfica para <i>S. minutifolium</i> C.	92
4.3.7.3.	Categoría ecogeográfica para <i>Solanum minutifolium</i> C.....	94
4.3.8.	<i>Solanum olmosense</i> O.....	97
4.3.8.1.	Variabilidad bioclimática y geofísica de <i>S. olmosense</i> O. en Ecuador	97
4.3.8.2.	Variabilidad edáfica para <i>S. olmosense</i> O.....	98
4.3.8.3.	Categoría ecogeográfica para <i>Solanum olmosense</i> O.	99
7.	BIBLIOGRAFÍA	106
8.	ANEXOS	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Materiales, insumos y equipos empleados en la caracterización morfométrica	25
Tabla 2.	Especies silvestres de <i>Solanum</i> emparentadas a papa	25
Tabla 3.	Materiales, insumos y equipos que se utilizó en la germinación de la semilla botánica.....	27
Tabla 4.	Tratamientos de temperaturas y semillas de especies silvestres para germinar.	28
Tabla 5.	Esquema de la ADEVA de un Diseño Completamente al azar (DCA) con arreglo factorial AxB.....	29

Tabla 6. Materiales, insumos y equipos que se utilizó en la germinación de la semilla botánica	34
Tabla 7. Tratamientos de tres especies silvestres de papa y el estimulante de germinación	35
Tabla 8. Esquema de la ADEVA de un Diseño Completamente al Azar (DCA).....	36
Tabla 9. Equipos y paquetes software empleados en la caracterización ecogeográfica...38	
Tabla 10. Especies silvestres de papa	39
Tabla 11. Análisis de varianza para la variable peso de la semilla.....	42
Tabla 12. Análisis de varianza para la variable largo y ancho de la semilla botánica de papa	43
Tabla 13. Análisis de varianza para la variable área de la semilla.....	44
Tabla 14. Análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación	48
Tabla 15. Análisis de varianza para la variable tamaño de radícula e hipocótilo	51
Tabla 16. Análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación	53
Tabla 17. Análisis de varianza para la variable tamaño de radícula e hipocótilo.....	56
Tabla 18. Variables bioclimáticas y geofísicas de <i>S. albicans</i> O. en Ecuador.....	60
Tabla 19. Variables bioclimáticas y geofísicas de <i>S. albornozii</i> C. en Ecuador.....	65
Tabla 20. Variables bioclimáticas y geofísicas de <i>S. andreanum</i> B. en Ecuador	70
Tabla 21. Variables bioclimáticas y geofísicas de <i>S. chilliasense</i> O. en Ecuador.....	76
Tabla 22. Variables bioclimáticas y geofísicas de <i>S. chomatophilum</i> B. en Ecuador.....	81
Tabla 23. Variables bioclimáticas y geofísicas de <i>S. colombianum</i> D. en Ecuador.....	86
Tabla 24. Variables bioclimáticas y geofísicas de <i>S. minutifolium</i> C. en Ecuador	92
Tabla 25. Variables bioclimáticas y geofísicas de <i>S. olmosense</i> O. en Ecuador	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Solanum albicans</i> Ochoa.....	12
Figura 2. <i>Solanum chomatophilum</i> Bitter.....	13
Figura 3. <i>Solanum olmosense</i> Ochoa.....	14
Figura 4. <i>Solanum albornozii</i> Correll.....	14
Figura 5. <i>Solanum andreanum</i> Baker.....	15
Figura 6. <i>Solanum chilliasense</i> Ochoa	15
Figura 7. <i>Solanum colombianum</i> Dunal	16
Figura 8. <i>Solanum minutifolium</i> Correll.....	16
Figura 9. Mapa de ubicación de la Estación Experimental Santa Catalina, INIAP.	24
Figura 10. Toma de datos de la caracterización morfológica de la semilla botánica de papa silvestres.....	26
Figura 11. Tratamientos que se sometieron a una temperatura de 5°C	28
Figura 12. Tratamientos que se sometieron a una temperatura de 15°C	28
Figura 13. Tratamientos que se sometieron a una temperatura de 25°C	28
Figura 14. Uso de separador neumático de semillas	30

Figura 15. Limpieza de germinadores previo a la siembra.....	31
Figura 16. Conteo de semilla botánica de especies silvestres de papa	31
Figura 17. Preparación de Agar USP.....	32
Figura 18. Cajas Petri esterilizadas antes de la siembra	32
Figura 19. Desinfección de semilla botánica de papa silvestre en cloro al 0.1%	32
Figura 20. Siembra de semilla botánica de papa silvestre	33
Figura 21. Toma de datos a los siete y catorce días	33
Figura 22. Tratamientos de los estimulantes químicos para <i>Solanum albicans</i> O.	35
Figura 23. Tratamientos de los estimulantes químicos para <i>Solanum minutifolium</i> C. 35	
Figura 24. Tratamientos de los estimulantes químicos para <i>Solanum albornozii</i> C.....	35
Figura 25. Semillas botánicas de especies silvestres de papa.....	37
Figura 26. Preparación de estimulantes químicos previo a la siembra.....	37
Figura 27. Imbibición de semillas en estimulantes de germinación.....	38
Figura 28. Mapa de ubicación del área de estudio en 13 provincias de Ecuador	40
Figura 29. Herramientas de CAPFITOGEN versión 2.0.....	41
Figura 30. Peso en g para 100 semillas botánicas de seis especies silvestres de papa ...	43
Figura 31. Características morfométricas de la semilla botánica de papa silvestre	44
Figura 32. Área de la semilla botánica de especies silvestres de papa.....	45
Figura 33. Descripción de las semillas botánicas de especies silvestres de papa.....	46
Figura 34. Análisis de conglomerados de la morfometría de la semilla botánica de papa	47
Figura 35. Porcentaje de germinación de especies silvestres de papa sometidas a 5, 15 y 25 °C	49
Figura 36. Tamaño de radícula e hipocótilo de las especies silvestres de papa	52
Figura 37. Porcentaje de germinación de tres especies silvestres de papa sometidas al ácido giberélico.....	54
Figura 38. Porcentaje de tres especies silvestres de papa sometidas al nitrato de potasio.	55
Figura 39. Tamaño de radícula e hipocótilo de tres especies silvestres de papa.....	57
Figura 40. Tamaño de radícula e hipocótilo expuesto a los estimulantes de germinación	58
Figura 41. Variabilidad edáfica de cuatro variables cualitativas de <i>S. albicans</i> O. en Ecuador.....	61
Figura 42. Agrupamiento de las accesiones de <i>Solanum albicans</i> O.	62
Figura 43. Frecuencias de categorías ecogeográficas basado en datos bioclimáticos, edáficos y geofísicos.....	62
Figura 44. Mapa ELC de caracterización ecogeográfica de <i>Solanum albicans</i> O. en Ecuador.....	63
Figura 45. Variabilidad edáfica de cinco variables cualitativas de <i>S. albornozii</i> en Ecuador	66
Figura 46. Agrupamiento de las accesiones de <i>Solanum albornozii</i> C.	67

Figura 47. Frecuencia de categorías ecogeográficas basadas en datos climáticos, edáficos y geofísicos.....	67
Figura 48. Mapa ELC de caracterización ecogeográfica de <i>S. albornozii</i> C. en Ecuador.....	68
Figura 49. Variabilidad edáfica de cuatro variables cualitativas de <i>S. andreanum</i> B. en Ecuador.....	71
Figura 50. Agrupamiento de las accesiones de <i>Solanum andreanum</i> B.....	72
Figura 51. Frecuencias de categorías ecogeográficas basadas en datos bioclimáticos, edáficos y geofísicos.....	73
Figura 52. Mapa ELC de caracterización ecogeográfica de <i>S. andreanum</i> B. en Ecuador.....	73
Figura 53. Variabilidad edáfica de tres variables cualitativas de <i>S. chilliasense</i> O. en Ecuador.....	77
Figura 54. Agrupamiento de las accesiones de <i>Solanum chilliasense</i> O.....	78
Figura 55. Frecuencia de categorías ecogeográficas basadas en datos bioclimáticos, edáficos y geofísicos.....	78
Figura 56. Mapa ELC de caracterización ecogeográfica de <i>S. chilliasense</i> O. en Ecuador.....	79
Figura 57. Variabilidad edáfica de una variable cualitativa de <i>S. chomatophilum</i> B. en Ecuador.....	81
Figura 58. Agrupamiento de las accesiones de <i>Solanum chomatophilum</i> B.....	82
Figura 59. Frecuencias de categorías ecogeográficas basadas en datos bioclimáticos, edáficos y geofísicos.....	83
Figura 60. Mapa ELC de caracterización ecogeográfica de <i>S. chomatophilum</i> B. en Ecuador.....	83
Figura 61. Variabilidad edáfica de cinco variables cualitativas de <i>S. colombianum</i> D. en Ecuador.....	87
Figura 62. Agrupamiento de las accesiones de <i>Solanum colombianum</i> D.....	89
Figura 63. Frecuencias de categorías ecogeográficas basadas en datos bioclimáticos, edáficos y geofísicos.....	89
Figura 64. Mapa ELC de caracterización ecogeográfica de <i>S. colombianum</i> D. en Ecuador.....	90
Figura 65. Variabilidad edáfica de cuatro variables cualitativas de <i>S. minutifolium</i> C. en Ecuador.....	93
Figura 66. Agrupamiento de las accesiones de <i>Solanum minutifolium</i> C.....	94
Figura 67. Frecuencias de categorías ecogeográficas basadas en datos bioclimáticos, edáficos y geofísicos.....	95
Figura 68. Mapa ELC de caracterización ecogeográfica de <i>S. minutifolium</i> C. en Ecuador.....	95
Figura 69. Variabilidad edáfica de dos variables cualitativas de <i>S. olmosense</i> O. en Ecuador.....	99
Figura 70. Agrupamiento de las accesiones de <i>Solanum olmosense</i> O.....	99

Figura 71. Frecuencias de categorías ecogeográficas basadas en datos bioclimáticos, edáficos y geofísicos.....	100
Figura 72. Mapa ELC de caracterización ecogeográfica de <i>S. olmosense</i> O. en Ecuador	100

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Descripción de especies silvestres emparentadas a papa en estudio.....	119
Anexo 2. Datos ecogeográficos de <i>S. albicans</i> O. de las categorías más frecuentes	124
Anexo 3. Datos ecogeográficos de <i>S. albornozii</i> C. de las categorías más frecuentes .	125
Anexo 4. Datos ecogeográficos de <i>S. andreanum</i> B. de las categorías más frecuentes	126
Anexo 5. Datos ecogeográficos de <i>S. chilliasense</i> O. de las categorías más frecuentes	127
Anexo 6. Datos ecogeográficos de <i>S. chomatophilum</i> B. de las categorías más frecuentes	128
Anexo 7. Datos ecogeográficos de <i>S. colombianum</i> D. de las categorías más frecuentes	129
Anexo 8. Datos ecogeográficos de <i>S. minutifolium</i> C. de las categorías más frecuentes	130
Anexo 9. Datos ecogeográficos de <i>S. olmosense</i> O. de las categorías más frecuentes	131

DETERMINACIÓN DEL PODER GERMINATIVO DE SEMILLAS SILVESTRES DE PAPA (*Solanum* spp.) Y ESTADO DE DISTRIBUCIÓN ECOGEOGRÁFICA EN ECUADOR

Autora: Karen Adriana Cunguán Haro
Universidad Técnica del Norte
Correo: kacunguanh@utn.edu.ec

RESUMEN

Las especies silvestres de papa se han ido extinguiendo de manera paulatina, esto se debe a las condiciones climáticas adversas y a la intervención del hombre por las actividades agrícolas, forestales y pecuarias, pese a la extinción, algunas especies se han encontrado en ambientes extremos, por lo que, han desarrollado notables características como resistencia a plagas, enfermedades y adaptación al cambio climático. Por ello, se pretende conocer las características morfométricas de la semilla botánica de papa y determinar su viabilidad mediante pruebas de germinación, además, realizar la caracterización ecogeográfica mediante el uso del programa CAPFITOGEN, para conocer los lugares frecuentes donde se desarrollan las especies silvestres a nivel nacional. La presente investigación se realizó en la provincia de Pichincha, en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental “Santa Catalina”, donde se encuentra conservado el germoplasma de ocho especies silvestres de papa. Los resultados de la relación entre las características morfométricas y el porcentaje de germinación demostraron que las semillas de menor tamaño y peso tuvieron mayor porcentaje de germinación que las de mayor tamaño y peso. Además, la temperatura óptima para la germinación fue de 15°C, mientras que, las temperaturas de 5 y 25°C provocaron dormancia de la semilla y con el uso del ácido giberélico de 0.6g/l presentó mayor porcentaje de germinación y mayor tamaño de radícula e hipocótilo. La caracterización ecogeográfica, permitió identificar que las especies silvestres se encuentran en zonas de vida como: bosque muy húmedo montano, bosque muy húmedo montano bajo, bosque húmedo montano bajo, bosque húmedo pre montano.

Palabras clave: morfometría, viabilidad, distribución ecogeográfica, diversidad

DETERMINATION OF GERMINATION POWER OF WILD SEEDS OF POTATO
(*Solanum* spp.) AND ECOGEOGRAPHIC DISTRIBUTION STATUS IN ECUADOR.

Author: Karen Adriana Cunguán Haro
Universidad Técnica del Norte
E-mail: kacunguanh@utn.edu.ec

ABSTRACT

Wild potato species have gradually become extinct. This is due to adverse climatic conditions and the intervention of man by agricultural, forestry and livestock activities. Despite the extinction, some species have been found in extreme environments, for which have developed remarkable characteristics such as resistance to pests, diseases and climate change adaptation. For this reason, it is intended to know the morphometric characteristics of the botanical potato seed, and to determine its viability through germination tests. Furthermore, to carry out the ecogeographic characterization, by using CAPFITOGEN tools, in order to know the frequent places where wild species develop. This research was carried out in the province of Pichincha, in the National Institute of Agricultural Research (INIAP), "Santa Catalina" Experimental Station, where the germplasm of eight wild potato species is conserved. The results of the relationship between the morphometric characteristics and the germination percentage, showed that the smaller size and weight seeds had a higher percentage of germination, compared to greater size and weight seeds. Additionally, the optimum temperature for germination was 15°C, while temperatures of 5 and 25°C caused seed dormancy. The use of 0.6g/l of gibberellic acid, showed higher percentage of germination and larger radicle and hypocotyl size. The ecogeographic characterization allowed identifying that the wild species are found in life zones such as: wet forest montane, wet forest lower montane, moist forest lower montane, and moist forest premontane.

Key words: morphometry, viability, ecogeographic distribution, diversity

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Los parientes silvestres de los cultivos (PSC) constituyen una enorme reserva de variabilidad genética que se puede utilizar en el fitomejoramiento, además, es un importante recurso para garantizar la seguridad alimentaria (Hunter y Heywood, 2011). Los PSC son una fuente vital de genes de resistencia contra enfermedades, plagas y factores de estrés como las sequías y temperaturas extremas, que a futuro pueden ser transferidos a cultivares modernos, también, se han empleado para aumentar el valor nutricional de algunos cultivos como el contenido de proteínas en trigo, contenido de calcio en papa y la provitamina A en tomate (Lane, 2006).

Además, presentan un valor cultural importante en las tradiciones de varios países por ejemplo, en Armenia el empleo de variedades silvestres para mejorar el trigo es una estrategia, ya que tradicionalmente la madre del novio coloca un *lavash* (tipo de pan) en los hombros de los novios antes de ingresar al nuevo hogar lo que representará una familia productiva, rica y fértil (Danielian, 2006). Por ende, la conservación de los parientes silvestres de los cultivos asegura la existencia de una adecuada diversidad genética en el patrimonio genético de un cultivo en particular (Raymond, 2006).

La papa posee una gran diversidad genética tanto de variedades nativas como de sus parientes silvestres (Estrada, 2000; Monteros-Altamirano, Buitrón-Bustamante, Orbe-Vergara y Cuesta-Subia, 2017), la mayor diversidad se encuentra en las tierras de los Andes de América del Sur (Pumisacho y Sherwood, 2002). Las especies silvestres de papa poseen un valor genéticamente alto, el que está ligado a su heterogeneidad presentando diferencias en sus características morfológicas, fisiológicas y agronómicas dentro de cada especie (Bonierbale, Amoros, Gómez y Bernet, 2003).

En este contexto, la morfometría en semillas describe la variabilidad de forma, tamaño, color y peso, lo que contribuye al conocimiento de la diversidad existente (Martín, 2013). Cabe recalcar que el tamaño y el peso de la semilla están determinados genéticamente y son afectados por factores ambientales durante su desarrollo (Werker, 1997). Domínguez,

(2001) comprobó que existen diferencias significativas para las variables morfométricas de las semillas de pimiento (*Capsicum annuum* Linn), como tamaño, forma y peso, según del sitio de procedencia.

A su vez, las características morfométricas de la semilla se relacionan con la capacidad germinativa (Dalzotto y Lallana, 2015), por ejemplo en un estudio de chile silvestre (*Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*) determinaron que el ambiente de crecimiento de las plantas madres influye en la capacidad de germinación, encontrándose una correlación positiva o negativa en relación al peso de la semilla (Hernández-Verdugo et al., 2010). En otro estudio, el porcentaje de germinación y emergencia de las semillas grandes de pimiento morrón fue mayor y produjeron plántulas más vigorosas, uniformes y con mayor cantidad de materia seca en comparación con las semillas pequeñas (Cochran, 1974). En otras especies, se ha determinado incluso una relación con el color, así un mayor porcentaje de germinación se obtuvo de semillas de color claro en *Atriplex inflata* F. Muell, a diferencia de las oscuras (Baskin y Baskin, 2001).

Las semillas en las primeras etapas de su formación no han alcanzado el desarrollo morfológico y fisiológico que necesitan para germinar correctamente (Bradford, 2004). La calidad de una semilla incrementa paulatinamente hasta llegar a la madurez fisiológica (Pichardo et al., 2010). Las semillas que no alcanzaron la madurez fisiológica en el fruto tienen una baja capacidad de geminación y presentan mayor número de plántulas anormales (Ohto, Stone y Harada, 2007). Por ejemplo, en un estudio realizado, las semillas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) presentaron un bajo porcentaje de germinación (82.1%), comparado con un valor mínimo de certificación, ya que las semillas no alcanzaron la máxima acumulación de materia seca, es decir, no llegaron a la madurez fisiológica (Rodríguez-Burgos, Ayala-Garay, Hernández, Leal-León y Cortez-Mondaca, 2011).

Del mismo modo por la deficiente germinación que presentan las semillas de especies silvestres, en general, se han realizado estudios que demuestran que los productos hormonales garantizan una correcta germinación (Weaver, 1976). Según Taylorson y

Hendricks (1977), la sumersión de semillas de tomate en 900 mg/l de ácido giberélico (AG₃), dio como resultado plantas vigorosas con mayor altura y diámetro de tallo.

Dentro de los procesos de descripción de germoplasma se encuentra la caracterización ecogeográfica que permite conocer las condiciones climáticas, edáficas y geofísicas de los lugares donde se desarrollan las plantas tanto cultivadas como sus parientes silvestres (Tapia, Bravo y Larrea 2015). También, revela el rango adaptativo de especies conservadas y muestra los factores o variables ambientales más importantes para la adaptación, su progreso se ha visto favorecido por el desarrollo de aplicaciones de software de sistemas de información geográfica (SIG) y datos ambientales. Como resultado, los SIG y el análisis ecogeográfico pueden ser útiles en una amplia gama de aplicaciones en la recolección, conservación, caracterización, documentación y utilización de recursos fitogenéticos (Parra-Quijano, Iriondo y Torres 2012).

Así, Tapia-Bastidas (2015) realizó el análisis ecogeográfico para caracterizar 23 razas de maíz (*Zea mays* L.) en Ecuador, lo que confirmó que en los últimos 60 años no se perdió ninguna raza, sin embargo, las razas, Canguil, Chaucho y Clavito presentaron erosión genética, porque los agricultores dejaron de cultivarlas en algunas provincias. Igualmente, se identificó para la mayoría de las razas posible germoplasma potencialmente tolerante a condiciones de frío, sequía y suelos ácidos de gran importancia para ser usadas por fitomejoradores que buscan nuevas variedades.

Por su parte, Naranjo (2017) realizó una caracterización ecogeográfica en tres tubérculos andinos como son la oca, (*Oxalis tuberosa* Molina), melloco (*Ullucus tuberosus* Caldas) y mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.), dando como resultado la identificación de 22 categorías ecogeográficas para melloco y mashua, y 19 categorías para oca. Estas categorías representan escenarios favorables para la futura colecta de los tres tubérculos andinos, ya que, en diferentes localidades se presentan las condiciones climáticas, edáficas y geofísicas que requieren los cultivos para su desarrollo.

En conjunto, se puede relacionar las características morfométricas con el sitio de recolección del germoplasma. Así, en un estudio de caracterización y variación

ecogeográfica en chile silvestre (*Capsicum annuum* L) el tamaño, peso y número de semillas por fruto se correlacionaron significativamente con la precipitación y la temperatura media anual de los sitios de origen de las poblaciones, indicando que estas características del fruto dependen de dichas condiciones ambientales durante el crecimiento de las plantas de *C. annuum* en su ambiente natural (Hernández-Verdugo et al., 2010).

1.2. Problema

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) ha incorporado en la lista roja de Especies Amenazadas un total de 4 489 especies vegetales hasta el 2018 en Ecuador, lo que da a conocer, que la biodiversidad está disminuyendo rápidamente (UICN, 2018). Por ejemplo, en la familia Solanaceae, existen 362 especies, de las cuales 67 son endémicas del país y su estado es preocupante, ya que, 37 especies endémicas fueron catalogadas como amenazadas: tres en peligro crítico, 13 en peligro, 21 vulnerables. Además, 22 especies tienen datos insuficientes y una no fue evaluada según el sistema establecido por la UICN (León-Yáñez et al., 2019).

Las poblaciones naturales de parientes silvestres están en riesgo creciente debido a la degradación de sus hábitats, invasión de especies exóticas, crecimiento demográfico y cambio climático, poniendo estas especies en riesgo. Por este motivo, se están tomando medidas urgentes para conservarlas, tanto en condiciones silvestres (*in situ*) como en bancos de germoplasma (*ex situ*) (Hunter y Heywood, 2011; Parra, 2015).

Además, la extinción de los parientes silvestres de los cultivos se genera por la degradación de ecosistemas naturales y pérdida de hábitats, esto se debe a la actividad agrícola, forestal y pecuaria realizadas por el hombre, igualmente, por la minería, sobrepastoreo, urbanización y desertificación (Gold, León y Way, 2004). También, las especies silvestres están amenazadas por el aumento de variedades mejoradas de los cultivos, lo que conlleva a la reducción de germoplasma para investigaciones relacionadas con procesos de fitomejoramiento (Heslop-Harrison, 1975) afectando de alguna manera la seguridad y soberanía alimentaria (Leopold, 2007).

Los parientes silvestres de los cultivos de gran importancia económica en muchos casos se encuentran en lugares inaccesibles o se desconoce su localización, lo que perjudica los métodos de colecta, caracterización, conservación y mejoramiento genético. Por ejemplo, en Armenia meridional los científicos buscan recursos genéticos perdidos en lo alto de las montañas; tratan desesperadamente de recoger, almacenar, documentar y administrar la mayor cantidad posible de diversidad de variedades antiguas y de parientes silvestres antes de que desaparezcan para siempre (Collis, 2006). Por ello, la limitada disponibilidad de germoplasma, la falta de conocimiento e investigaciones de los parientes silvestres de los cultivos son otra de las razones por las que las especies silvestres no se utilizan con más frecuencia (Wagner, 2007).

El cambio de temperaturas junto con la pérdida de su hábitat es la gran amenaza que afecta a las especies silvestres de papa. Además, factores como la incorporación de nuevas tierras para cultivos y la expansión de la urbanización han modificado drásticamente su entorno (Coca, 2007). Así, el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR) explica que en los próximos 50 años, el 12% de las 108 especies silvestres de papa estudiadas podrían extinguirse, y que la mayoría de las especies restantes quedaría reducida a zonas mucho más pequeñas, con lo que su capacidad de supervivencia se vería aún más limitada, así, se restringiría la disponibilidad de su germoplasma para ser utilizado en el futuro (Agencia española de noticias [EFE], 2007).

Dentro del contexto de la desaparición del germoplasma de las especies silvestres, un efecto es el desconocimiento de la ecología, fisiología y morfología de las semillas, esto podría afectar a la diversidad fenotípica de cada especie, lo que conlleva al inadecuado manejo y a la subutilización del germoplasma afectando los métodos de colección y conservación de semillas (Romero-Saritama y Pérez-Ruiz, 2016). Igualmente, el porcentaje de germinación de las semillas podría estar afectado significativamente tanto por sus características morfométricas como lo son el tamaño y el peso (Leishman, Wright, Moles y Westoby, 2000), así como también por la dureza de la cubierta seminal, baja permeabilidad del endospermo y la latencia profunda del embrión (Araiza, Araiza y Martínez, 2011), aspectos que son necesarios evaluar cuando se establece estrategias de conservación *ex situ* en Bancos de Germoplasma.

1.3. Justificación

Para evitar la erosión genética del germoplasma de un sitio en particular, una alternativa es la colecta y conservación *ex situ* a través de semillas ortodoxas en Bancos de Germoplasma. Además, los materiales conservados deben ser caracterizados con la finalidad de identificar germoplasma con posible tolerancia a factores climáticos y bióticos (Castillo, Salomón, Estévez, Pérez y Ortiz, 2007).

Dentro de la conservación *ex situ*, se encuentra la caracterización y evaluación del material genético, con el fin de asegurar la calidad, uso y disponibilidad futura del germoplasma. Así, la caracterización morfométrica de las semillas permite describir las diferencias en cuanto a tamaño, forma, color y peso de una especie (Cueva, Moya, Acurio, Chiluisa-Utreras y Vaca, 2017). Estas características se pueden relacionar con los sitios de recolección y su capacidad germinativa; existen estudios que demuestran, que el tamaño de no solo afecta el incremento del porcentaje de germinación, sino también el crecimiento de la plántula a futuro. Las semillas de mayor tamaño disminuyen el riesgo de desecación de la plántula ya que son capaces de generar raíces más profundas en un corto periodo de tiempo (Baker, 1972; Ross y Harper, 1972; Waller, 1985).

En cuanto a la capacidad germinativa las semillas de especies silvestres presentan bajo porcentaje de germinación por la dormición o incapacidad del embrión para germinar debido a causas inherentes a la propia semilla (Iriondo, 2001). A menudo para solucionar este problema se utiliza estimulantes químicos para incrementar el porcentaje y obtener plántulas más vigorosas. Por ejemplo, se observó un efecto positivo al utilizar el ácido giberélico en semillas de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*), promoviendo el 82% de la germinación en comparación con el testigo (García, Montes, Rangel, García y Mendoza, 2010). Estos procedimientos permiten el uso eficiente del material conservado en los Bancos de Germoplasma y de esa manera realizar un adecuado monitoreo de la viabilidad de la semilla en el tiempo.

Igualmente, la caracterización ecogeográfica consiste en la descripción sistemática de atributos cualitativos y cuantitativos de las entradas de las accesiones de una misma especie

o cultivo (Barreta, 2009). Además, permite evaluar las características tanto climáticas, geofísicas y edáficas de sitios de colecta donde se desarrollan las especies, proporcionando una idea de los posibles lugares donde se podrían encontrar y conocer ecosistemas primarios y secundarios, y así proponer estrategias de conservación para utilizar su germoplasma en investigaciones futuras (Tapia-Bastidas, 2015).

Así, por ejemplo, a través de la caracterización ecogeográfica, que proporcionan las herramientas del programa CAPFITOGEN, se identificaron siete accesiones de capulí (*Prunus serotina* Ehrh) con posible tolerancia a factores adversos como lo son temperaturas y precipitaciones extremas, resultados útiles para procesos de mejoramiento genético o revalorización de la especie por parte de agricultores y público en general (Borja, 2017).

De la misma manera, la caracterización ecogeográfica puede resultar una herramienta válida, sencilla y económica para la utilización del germoplasma por parte de fitomejoradores que buscan parentales con ciertos rangos adaptativos. Así, se logró establecer zonas de conservación de tres tubérculos andinos como melloco (*Ullucus tuberosus* C), oca (*Oxalis tuberosa* M) y mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav) la zona óptima para la conservación se encuentra en el cantón Sigchos, parroquia Cotopaxi, adicionalmente, se encontraron cinco zonas de conservación en las provincias de Cotopaxi, Bolívar, Chimborazo e Imbabura (Tapia, Rosales y Suárez-Duque, 2017).

Estos estudios permiten promover estrategias de conservación tanto *in situ* como *ex situ*, de muestras representativas de las especies o cultivos, lo que garantiza la variabilidad genética de las especies en el tiempo y en el espacio y su aprovechamiento sostenible al otorgar nuevas alternativas para el desarrollo, además, resguarda la diversidad genética de las poblaciones que corren alto riesgo de extinción (Pezoa, 2001).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general.

Determinar el poder germinativo de la semilla sexual de especies silvestres de papa (*Solanum* spp.) y estado de distribución ecogeográfica en Ecuador.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Describir las características morfométricas de la semilla botánica de especies silvestres de *Solanum* emparentadas a papa.
- Determinar la viabilidad de la semilla botánica de especies silvestres de *Solanum* emparentadas a papa a través de pruebas de germinación.
- Caracterizar ecogeográficamente especies silvestres de *Solanum* emparentadas a papa.

1.5. Preguntas directrices

- ¿Qué características morfométricas de la semilla botánica de papa silvestre se relaciona con el porcentaje de germinación?
- ¿Qué características morfométrías son afectadas por el sitio de recolección de las especies silvestres de papa?
- ¿Qué condiciones climáticas, edáficas y geofísicas son favorables para la conservación de papa silvestre?
- ¿En qué condiciones climáticas, edáficas y geofísicas se encuentran las diferentes especies de papas silvestres?

1.6. Hipótesis

Ho: Los métodos utilizados para aumentar el porcentaje de germinación en la semilla botánica de papas silvestres no tienen ningún efecto directo.

Ha: Los métodos utilizados para germinación de semilla botánica de papa silvestre tienen efecto directo, esto se podría deberse al efectivo rompimiento de latencia de la semilla por efecto de los estimulantes químicos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades

El género *Solanum* se encuentra distribuido en 10 000 km de longitud, desde el sureste de Norteamérica, pasando por América Central y Sur. Crecen desde los 1 500 msnm hasta los 4500 msnm incluyendo áreas como Venezuela, Brasil, Ecuador, Uruguay, Paraguay y Argentina (Contreras, 2008).

Así, la mayor diversidad genética de papa (*Solanum tuberosum* L.) se localiza en los Andes de América del Sur tanto cultivada como silvestre. En 1538 Pedro Cieza de León descubrió tubérculos, los cuales fueron denominados por los indígenas como “papas”, estos tubérculos se encontraron en la parte alta del Valle del Cuzco, Perú y posteriormente en Quito, Ecuador (Pumisacho y Sherwood, 2002). En el Ecuador se siembran 422 mil hectáreas anualmente (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2018).

En el siglo XIX la alimentación de la población de Irlanda dependía del consumo de papa, y entre 1845 a 1846 sus cultivos fueron invadidos por tizón tardío (*Phytophthora infestans* mont de Bary) que destruyó la mayor parte de la cosecha, lo que causó una gran hambruna, provocando que un millón de personas murieran y otro millón tuvo que emigrar. Por ende, para combatir plagas, enfermedades e incrementar la producción, es primordial tener accesibilidad a los genes de la papa. Si el clima se modifica drásticamente, el lugar de habitat donde crecen las papas silvestres podría reducirse hasta en un 70%, por lo que es de vital importancia conservar el material genético de los parientes silvestres de la papa (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2008). Por lo tanto, es necesario conservar la diversidad genética de la papa y sus parientes silvestres.

2.2. Especies silvestres

Las especies silvestres de plantas cultivadas son un recurso genético importante, contienen una gama de genes primarios, lo que permite resolver problemas en la agricultura tales

como tolerancia o resistencia a plagas y enfermedades y el aumento de la calidad y cantidad en su producción (Bastidas, 2008). Los caracteres de alta variabilidad de especies silvestres encierran tolerancia y resistencia a estrés biótico y abiótico, permitiendo mejorar variedades comerciales desde el punto nutricional, agronómico, industrial y farmacéutico. Por lo cual, el estudio de las especies silvestres se incrementa gradualmente para conocer las características morfológicas, bioquímicas y moleculares y, de esa manera, prevenir la erosión genética de las mismas (Estrada, Aquino, Medina y Soto, 2014).

Por ejemplo, clones provenientes del Centro de Internacional de la Papa (CIP) mostraron características favorables como: altos rendimientos, alto contenido de materia seca y resistencia de campo a *Phytophthora infestans* mont de Bary y *Alternaria solani* Cooke (Castillo et al., 1998). Por otro lado, se ha informado que se encontraron 30 especies de papa silvestre resistentes a heladas (Estrada, 2000).

Así, el género *Solanum* comprende más de 300 especies que incluyen los tubérculos entre especies cultivadas y silvestres, sin embargo, por considerarse un género altamente polimórfico y muy complejo existen alrededor de 2400 especies alrededor del mundo (Ochoa, 1999). Según Estrada (2000) existen 226 especies silvestres y ocho cultivadas, además el número cromosomal es de $x=12$ de las cuales el 74.6% son diploides, el 3.8% son triploides, el 14.8% son tetraploides, el 1.6% son pentaploides y por último el 5.5% son hexaploides.

Las papas silvestres (*Solanum* spp.) son originarias de América, presentando una amplia distribución geográfica, debido a que crecen de manera espontánea en diferentes hábitats. Por ejemplo, en el sudoeste de los Estados Unidos, México, América Central, al sur de Chile y Argentina, al este de Brasil, Uruguay y Paraguay (Hawkes y Hjerting, 1969). (Hawkes, 1990).

Además, se encuentra gran diversidad en los Andes de Perú y Bolivia, en amplios rangos de hábitats desde climas muy fríos como se presenta en la Sierra Andina, hasta climas muy secos de semi desiertos demostrando que los recursos genéticos presentes en su

germoplasma se han ido adaptando a estrés abiótico logrando resistencia a condiciones climáticas extremas, plagas y enfermedades (Hawkes, 1990).

2.2.1. Especies silvestres de papa

A continuación, se detallarán las características de las especies silvestres de papa.

2.2.1.1. *Solanum albicans* Ochoa.

Es una planta robusta, arrosetada o semiarrosetada, rizomatosa, verde claro, presenta hojas verdes membranosas, densamente pubescentes con pelos blanquecinos, las flores de color blanco a azul claro, ocasionalmente más oscuro, los frutos son redondos y carnosos (Figura 1) (Naranjo et al., 2020). Nombre local: *Pishgo Papa* (Papa de pájaro) en Cajamarca, Perú; *Aya Papa* (Papa de Muerto) en Caraguayrazo, Ecuador (Ochoa, 1999).

Solanum albicans O. es de origen híbrido, seguramente se trata de un poliploide originado por el cruzamiento natural entre *Solanum acaule* Bitter y posiblemente *S. sogarandinum* Ochoa ($2n=24$) habiendo ocurrido ambas con gametos no reducidos para formar el hexaploide. Esta especie silvestre es reconocida por su resistencia a las heladas o temperaturas bajas bruscas. Además, son resistentes a nematodos del quiste causados por *Globodera rostochiensis* Skarbilovich y *Globodera pallida* S, al nematodo del nudo de la raíz (*Meloidogyne* sp.) y a los áfidos de papa y a las marchiteces causadas por *Verticillium* sp. y *Fusarium* sp. (Ochoa, 1999).

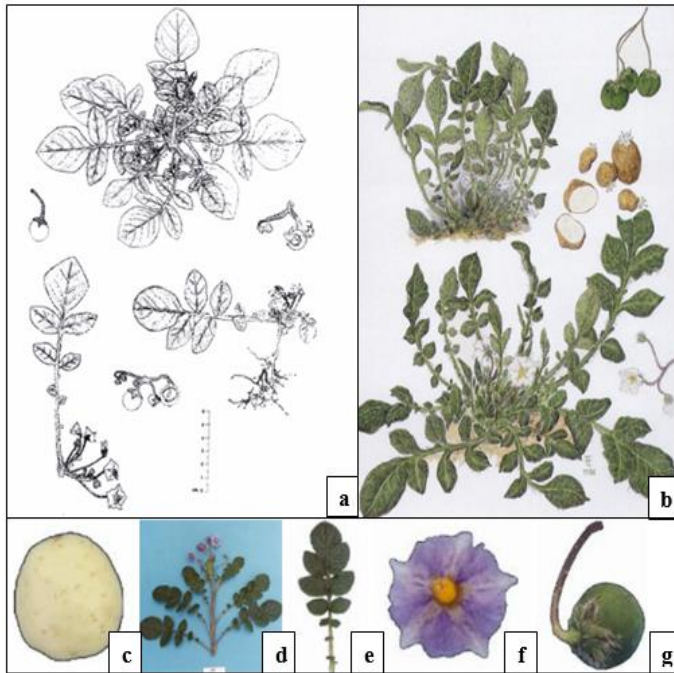


Figura 1. *Solanum albicans* Ochoa. **a, b, d.** Planta, **c.** Tubérculo, **e.** Hoja, **f.** Flor, **g.** Fruto.
Fuente: Ochoa (1999)

Se distribuye desde las altas serranías de Oyón y Cajatambo al norte de Lima y sierras de los departamentos de Ancash, La Libertad, Huánuco y Cajamarca hasta Cunuyacu en los alrededores del Chimborazo, provincia de Tungurahua, Ecuador, en donde se la recolectó por primera vez en el año de 1979. Los límites altitudinales de *S. albicans* O. se encuentra entre los 3450 y 4400 msnm (Ochoa, 1999).

2.2.1.2. *Solanum chomatophilum* Bitter

Planta usualmente matosa de 0.1 – 0.9 m de altura, tallos de crecimiento erecto, hojas impares asimétricas de color verde oscuro en el haz y verde claro en el envés. Flores de color lila a lila-azulado. Fruto largo-cónico de ápice agudo o subobtusado, verde oscuro, de 2.5 – 3 cm de largo por 1.5 – 1.8 cm de diámetro (Naranjo et al., 2020) (Figura 2). Número cromosómico $2n=24$. EBN=2, *Solanum chomatophilum* B se encuentra distribuida en el Perú, extendiéndose hasta la provincia de Azuay al sur de Ecuador (Ochoa, 1999).

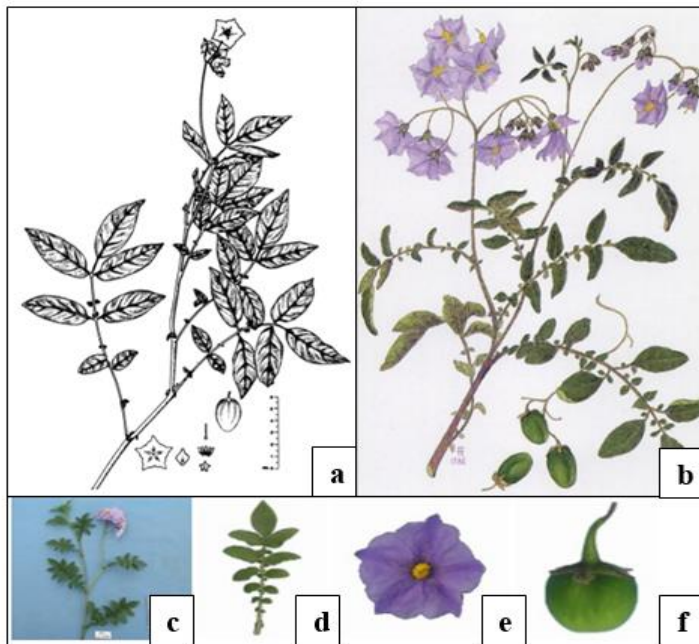


Figura 2. *Solanum chomatophilum* Bitter. **a, b, c.** Planta, **d.** Hoja, **e.** Flor, **f.** fruto.
Fuente: Ochoa (1999)

2.2.1.3. *Solanum olmosense* Ochoa.

Son plantas herbáceas, estoloníferas y tuberíferas. Hojas imparipinnadas con el raquis anchamente alado sus hojas miden de 10 a 17 cm de largo por 7 a 12.5 cm de ancho. Corola profundamente estrellada con lóbulos angostamente lanceolados, corola blanca cremosa o cremosa amarillenta. Tubérculos redondos a ovalados o fusiformes, blancos, pequeños, de 1 a 5 cm de largo. Fruto ovalado a piriforme de 1.5 a 2.0 cm de largo, verde puro o verde con puntos blanquecinos muy pequeños (Figura 3). Número cromosómico $2n=24$. EBN=1. Nombre Local: Papa de Zorro (Ochoa, 1999).

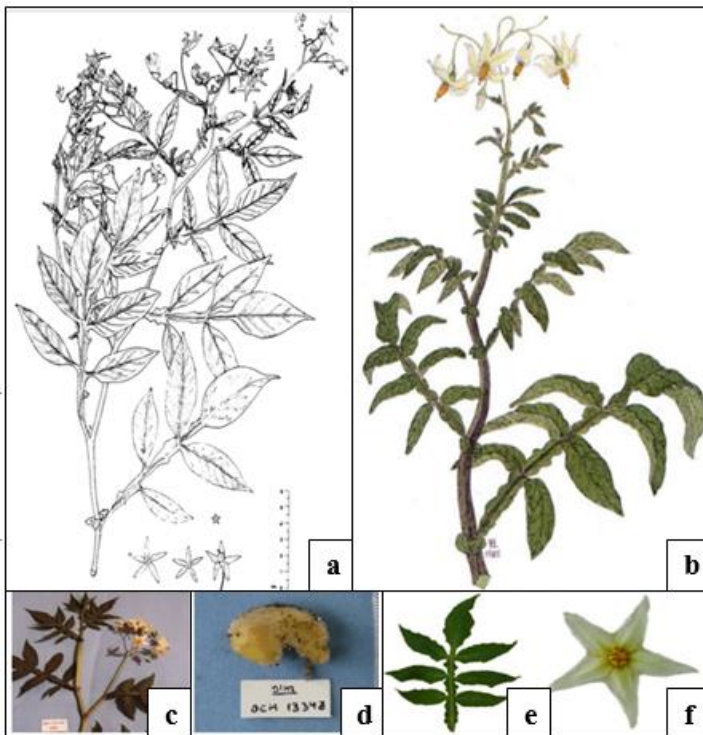


Figura 3. *Solanum olmosense* Ochoa. a, b, c. Planta, d. Tubérculo, e. Hoja, f. Flor
Fuente: Ochoa (1999)

2.2.1.4. *Solanum albornozii* Correll.

Son plantas herbáceas, estoloníferas y tuberíferas, presentan hojas disecionadas, con un foliolo terminal y de tres a cuatro laterales, un par de interhojuelas sobre peciolo, flores profusas, de color blanco, sin color secundario, forma de la corola semi estrellada. El fruto es verde con puntos blancos de forma ovoide, presentan tubérculos de color amarillo con forma ovalada (Ochoa, 1999) (Figura 4).

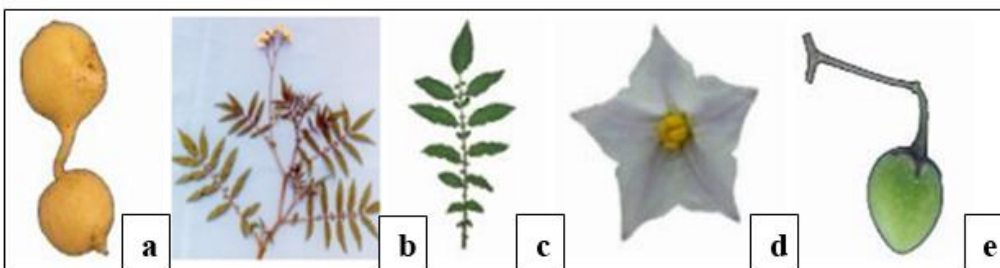


Figura 4. *Solanum albornozii* Correll. a. Tubérculo, b. Planta, c. Hoja, d. Flor, e. Fruto
Fuente: Ochoa (1999)

2.2.1.5. *Solanum andreanum* Baker.

Hábito de crecimiento erecto, presenta hojas con un foliolo terminal y de tres a cuatro pares laterales, dos pares de interhojuelas entre foliolos, flor color lila pálido sin color secundario,

forma de la corola pentagonal. Su fruto es verde de forma globosa y presenta tubérculos de color anaranjado y de forma fusiforme (Ochoa, 1999) (Figura 5).

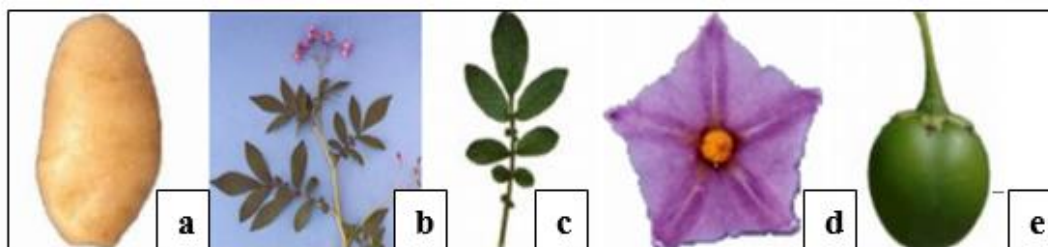


Figura 5. *Solanum andreanum* Baker. a. Tubérculo, b. Planta, c. Hoja, d. Flor, e. Fruto
Fuente: Ochoa (1999)

2.2.1.6. *Solanum chilliasense* Ochoa.

Según Ochoa (1999) presenta un hábito de crecimiento erecto, tallos color verde, presenta hojas con un foliolo terminal y uno o dos pares laterales, un par de inter-hojuelas entre los foliolos laterales, color predominante de la flor blanca, forma de la corola rotada, el fruto es una baya ovoide de color verde (Figura 6).

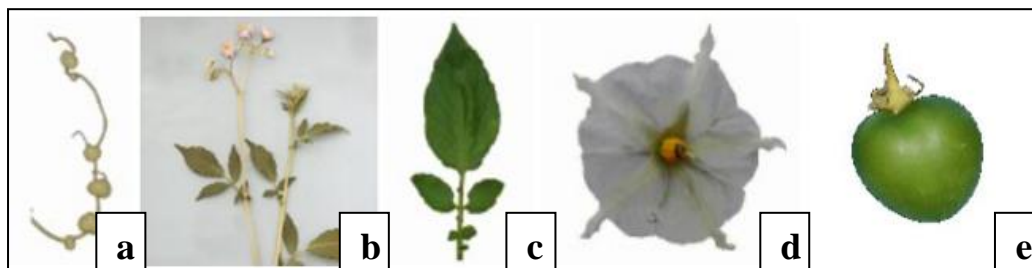


Figura 6. *Solanum chilliasense* Ochoa. a. Tubérculo, b. Planta, c. Hoja, d. Flor, e. Fruto.
Fuente: Ochoa (1999)

2.2.1.7. *Solanum colombianum* Dunal

Es una planta semi erecta o erecta de 0.3-2.2 m de altura, su flor es de color blanco, su fruto es de color verde en forma de baya ovoide, presenta tubérculos ovoides de 1- 1.5cm de diámetro (Naranjo et al., 2020) (Figura 7).

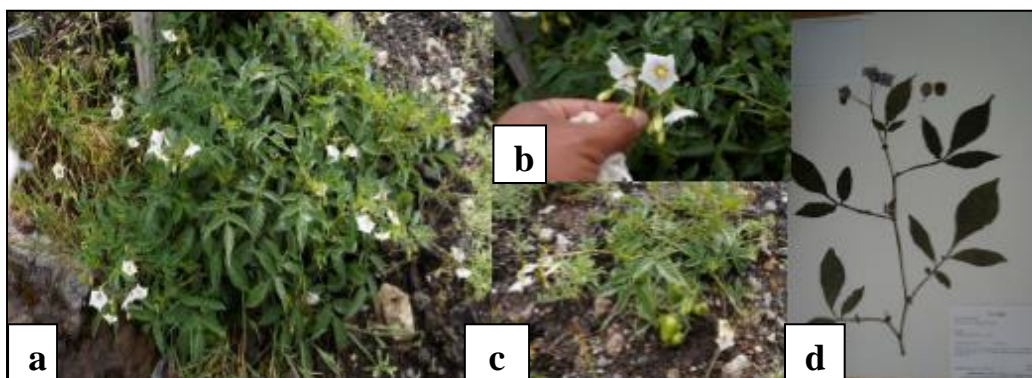


Figura 7. *Solanum colombianum* Dunal. **a.** Detalle de planta, **b.** Flor, **c.** Frutos, **d.** Muestra de herbario
Fuente: Naranjo et al. (2020)

2.2.1.8. *Solanum minutifoliolum* Correll

Es una planta semi erecta de color verde de 1m de altura, presenta pubescencias en hojas, tallos y pedúnculo, hojas de color verde pálido con micro foliolos en el raquis, tiene flor azul a púrpura, sus frutos son redondos de color púrpura oscuro a verdes (Naranjo et al., 2020) (Figura 8).

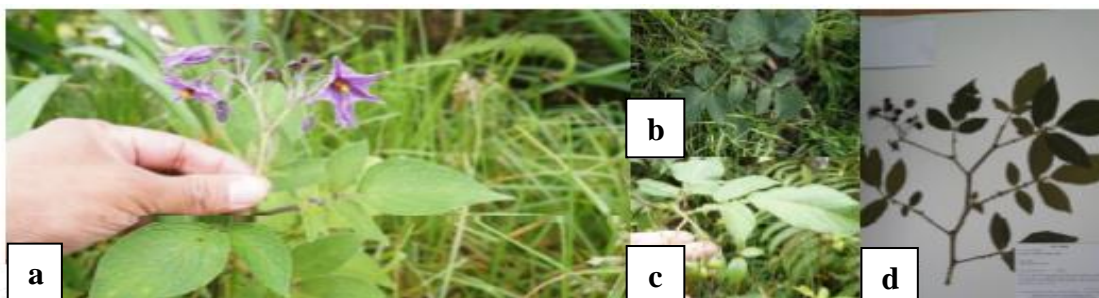


Figura 8. *Solanum minutifoliolum* Correll. **a.** Detalle de planta, **b.** Hojas, **c.** Frutos, **d.** Muestra de herbario
Fuente: Naranjo et al. (2020)

2.3. Métodos de propagación de papa

Existen dos maneras en que la papa puede propagarse, la primera es vegetativamente (tubérculos-semilla) y la segunda sexualmente (semilla botánica). Actualmente, la forma vegetativa es el método más tradicional, pero presenta problemas como: transmisión de enfermedades, el abultamiento, una tasa de multiplicación lenta y la pudrición de los tubérculos semilla (Ramírez y Sáinz, 2013).

Por ese motivo, se realizan investigaciones para poder utilizar la semilla botánica de papa como medio de propagación, ya que, pueden superar problemas de almacenamiento,

transporte y enfermedades asociados con los tubérculos-semilla; lo que la hace ser una vía más útil para producir a menor costo. Además, es uno de los cultivos con mayor diversidad genética, la utilización de la semilla botánica como medio de propagación despierta el interés por el estudio del comportamiento de su floración, fructificación y cuajado del fruto. También, los caracteres sexuales reproductivos son gobernados por varios factores que incluyen el fotoperíodo, la temperatura, la humedad, el estado nutricional de la planta y la variedad (Salomón et al., 2012).

2.4. Semilla botánica de papa

En la región andina, la semilla botánica de papa ha sido manejada desde el inicio de su cultivo, se cree que los agricultores nativos la utilizaban para renovar sus variedades. Esta era sembrada y más tarde, los cultivadores seleccionaban las plántulas de mejor tipo y de mayor rendimiento (Torres, 1993).

El fruto de la papa es una baya, presenta forma redonda, alargada, ovalada o cónica. Las bayas poseen dos lóculos, los cuales contienen de 200 a 400 semillas, estas son muy pequeñas, aplanadas de forma arriñonada y presentan colores amarillentos o diversos tonos marrones. En promedio, un gramo puede contener 1500 semillas (Graziano, 2011). Igualmente, Román y Hurtado (2002) mencionan que su forma y color son similares a la semilla de tomate, pero con la mitad de su tamaño. Es dicotiledónea, con un peso aproximado de 0.5 mg, presenta un tiempo de germinación de ocho a 11 días después de haber sido sembrada, y es utilizada para programas de fitomejoramiento logrando obtener nuevas variedades, con ventajas como bajo costo y facilidad de transporte.

La colecta de la semilla botánica de papa se realiza solo en casos especiales, por ejemplo, cuando se identifican accesiones duplicadas en una colección. El germoplasma de las especies silvestres de papa se conserva principalmente en colecciones de semilla botánica, hasta el momento se han reconocido 188 especies de papa silvestre de las cuales 141 se conservan en el banco de germoplasma del CIP, Perú (Salas et al., 2008).

2.5. Caracterización morfométrica

La caracterización morfométrica permite el estudio de las estructuras tegumentarias externas de diferentes semillas. Así, al realizar la caracterización de estas se pueden conocer aspectos de su dispersión, que puedan instaurar técnicas que ayuden su reproducción (Sánchez, Flores y Martínez-García, 2006).

Por otra parte, los rasgos vegetativos permiten la identificación de especies, una parte de la taxonomía se asocia con las variaciones del tamaño de la semilla, la correlación es tal de las variaciones que se podría separar por taxones (Rodríguez, Adam y Durán, 2008). La variación que presentan se da dentro de la planta e infrutescencias (Vaughton y Ramsey, 1998). Esto ocurre ya que las especies vegetales al producir más o menos semillas pequeñas o grandes, depende de la cantidad de recursos asignados en la reproducción (Leishman et al., 2000). Por lo anterior, la variación del tamaño de la semilla determina el tamaño de las plántulas al inicio y aumenta su resistencia bajo condiciones adversas (Galetti et al., 2013).

2.6. Estimulantes de germinación

Si una semilla viable se coloca bajo condiciones adecuadas de luz, humedad y temperatura se produce la germinación. Si este proceso no ocurre significa que se encuentra en estado de latencia, este estado podría producirse por condiciones propias de la semilla, poniendo una barrera en la germinación. Para romper el estado de latencia se podría exponer a factores químicos o manuales que estimulen la germinación (Bewley y Black, 1982).

Las semillas tras su maduración y dispersión no son capaces de germinar, ya sea porque se encuentran en estado de reposo o porque las condiciones climáticas no son adecuadas. Debido a esto comienzan a deteriorarse y a perder su capacidad de germinación (viabilidad), dando como resultado plántulas enfermas y débiles (Pérez y Pita, 2016).

Los reguladores de crecimiento como las giberelinas (AG_3), las citoquininas (kinetina y benciladenina) y el etileno promueven la eliminación del reposo en las semillas. Las giberelinas estimulan la germinación, la elongación celular y la emergencia de la radícula a través del endospermo (Taylorson y Hendricks, 1977; Weaver, 1976).

Los estimulantes de germinación son compuestos químicos que son utilizados para iniciar o incrementar la capacidad germinativa de las semillas. El ácido giberélico (AG_3) aplicado exógenamente, tiene efecto positivo debido a su habilidad de interrumpir estados de latencia y reemplazar estímulos ambientales, como luz, temperatura o ambas (Elizalde et al., 2017). Existen otros compuestos como, por ejemplo, el nitrato de potasio (KNO_3), que se usa para disminuir la latencia y promover la germinación de las semillas, los compuestos con N aumentan la germinación por ajuste de la tasa de intercambio K^+/Na^+ e incremento de la actividad de la amilasa, producción de ATP y respiración de las semillas (Zheng et al., 2009).

2.7. Caracterización ecogeográfica

La caracterización ecogeográfica permite analizar la información ambiental del sitio donde crece un individuo o una población vegetal, está directamente relacionada con el proceso de adaptación al entorno biótico y abiótico mediante el uso del software CAPFITOGEN. En particular, las herramientas CAPFITOGEN permiten analizar solo el componente abiótico, clasificado por tres aspectos principales, los cuales suelen considerarse en estudios de adaptación de cultivos (Cevallos-Silva y López-Blanco, 2003) o zonificación agrícola (Willians, Hargrove, Liebman y James, 2008), mismo que se describen a continuación.

- Climático: hace referencia a factores relacionados con temperatura y precipitación.
- Geofísico: agrupa los factores topográficos y de relieve de mayor importancia, especialmente relacionados con la radiación solar.
- Edáfico: factores relacionados con las condiciones físicas y/o químicas de la fracción del suelo del que las plantas dependen.

En conclusión, caracterizar ecogeográficamente un conjunto de entradas implica asignar a cada una de ellas, información climática, geofísica y edáfica del sitio de su recolección, la información ecogeográfica del sitio de recolección muestra rangos adaptativos del germoplasma (Parra, 2015).

La caracterización ecogeográfica trata de evaluar las características de los sitios de colecta, identificar rangos climáticos y ecosistemas favorables o marginales para los cultivos en estudio utilizando las herramientas CAPFITOGEN (Parra, 2015); algunas de estas herramientas son: Test table, GEOQUAL, SelecVar, ECOGEO y ELC mapas.

Gracias a la caracterización ecogeográfica, se han realizado diferentes investigaciones; por ejemplo, el primer estudio fue en maíz donde se tomó cinco variables bioclimáticas, dos geofísicas y cinco edáficas, reflejando que en los últimos 60 años, no se ha perdido ninguna raza. Además, según las condiciones edáficas, todas las razas a excepción de Cónico Dentado presentaron una gran heterogeneidad, lo que quiere decir que pueden crecer tanto en suelos ricos como en suelos pobres, con valores de pH entre ácido y moderadamente alcalino y finalmente se observó que en la mayoría de las razas se encontraron materiales potencialmente adaptados a condiciones de estrés (Tapia-Bastidas, 2015).

Por otra parte, en Ecuador se caracterizaron 147 accesiones de *Prunus serotina* Ehrh subsp. capulí (Cav.) McVaugh morfológicamente clasificado en 11 morfotipos, colectado en 89 sitios, entre los 2300 y 3200 msnm, en 10 provincias de la región andina. Para este estudio se utilizaron 12 variables, cinco climáticas, cinco edáficas y dos geofísicas gracias al programa CAPFITOGEN. Como resultado se obtuvo que la zona andina de Ecuador presenta una amplia variación climática, ya que se encontraron diferencias altamente significativas en todas las variables analizadas de *P. serotina* subsp. capulí. También, se identificaron siete accesiones con posible tolerancia a factores adversos como temperatura y precipitaciones extremas, un dato valioso para programas de fitomejoramiento. Finalmente, las provincias de Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo sobresalieron como las más idóneas para la producción y conservación de esta especie, y fueron los lugares donde mayor número de especies se encontró (Borja, 2017).

Otro estudio se realizó en la región alto andina del Ecuador utilizando las colecciones nacionales de oca (*Oxalis tuberosa* Mol.), mashua (*Tropaeolum tuberosum* R. y P.) y melloco (*Ullucus tuberosus* C.), pertenecientes al Banco Nacional de Germoplasma del INIAP. Para esta investigación se utilizaron 13 variables; seis bioclimáticas, dos geofísicas y cinco edáficas, como resultados se identificaron rangos de temperatura promedio para

para mashua de (7.1 °C a 0.6 °C), para melloco de (13.4 °C a 7.2 °C) y para oca de (9.5 °C a 7.7 °C). Para la precipitación anual, mashua con 786 mm, melloco con 967 mm, para oca 861 mm. De igual forma, se identificaron 22 categorías adaptativas para mashua y melloco y 19 para oca. Finalmente, se pudo identificar germoplasma con posible tolerancia a condiciones de estrés abiótico para mashua, melloco y oca (Naranjo, 2017).

2.8. Conservación *in situ* y *ex situ*

La diversidad se puede conservar *in situ* (en el lugar donde se produce) en estado silvestre o en las fincas, o bien *ex situ* (fuera del lugar de producción) en bancos de germoplasma situados en lugares distintos del hábitat natural de la planta. La conservación *in situ* se puede llevar a cabo en los campos de los agricultores, en pastizales y en parques nacionales u otros tipos de reservas naturales. La mayoría de los recursos fitogenéticos de importancia para la alimentación y la agricultura están situados fuera de las zonas protegidas, como los parques, con frecuencia no sólo se conservan, sino que también se utilizan como fuente de alimentos e ingresos (FAO, 1996). La conservación *in situ* de recursos genéticos en los contextos campesinos constituye el medio principal para atender las necesidades de innovación culinaria, artesanal, terapéutica y un amplio espectro de los usos que, por lo general, tienen los recursos vegetales (Casas, Torres-Guevara y Parra, 2016).

Mientras tanto, la conservación *ex situ* brinda un seguro a las plantas que desaparecen en su ambiente natural, y tiene la ventaja de proporcionar un suministro oportuno de materiales para el investigador y de hacer reposición de las variedades locales olvidadas (Ashmore, 1997). Al respecto, se ha considerado prioritario, durante varias décadas, el mantenimiento de especies silvestres relacionadas con los cultivados y taxones no domesticados promisorios, por el peligro de pérdida de éstos, debido al cambio climático global en marcha (Heywood y Dulloo, 2005). La conservación de colecciones *ex situ*, de poblaciones silvestres, es un componente importante de un mantenimiento más amplio y la afirmación de que los bancos de germoplasma preservan la diversidad genética requerida para procesos futuros de fitomejoramiento (Richards, Antolin, Reilley, Poole y Walters, 2007).

La importancia de los bancos de germoplasma vegetal radica en la disponibilidad de información en forma rápida y almacenada de manera precisa; lo anterior permite su empleo para las actividades rutinarias de los sistemas de conservación y la maximización del uso de recursos financieros, generalmente limitados (Painting, Perry, Denning y Ayad, 1995).

2.9. Marco legal

El DENAREF (Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos) es el organismo gubernamental responsable de la conservación y manejo integral de los recursos fitogenéticos del Ecuador. Este departamento es una sección de INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias) y tiene como principal objetivo evitar la erosión genética de los cultivos nativos y sus parientes silvestres, a través de metodologías de conservación *ex situ* e *in situ*, complementadas con investigación básica (morfológica, botánica, molecular, etc.), en pro de la preservación y uso sostenible de la amplia riqueza genética del Ecuador (Estrella, Manosalvas, Mariaca y Ribadeneira, 2005).

Por otra parte, en el artículo 57, numeral 8 de la Constitución de la República del Ecuador, establece que las comunidades, pueblos y nacionalidades deben conservar y promover sus prácticas de manejo de la biodiversidad y de su entorno natural. El Estado establecerá y ejecutará programas, con la participación de la comunidad, para asegurar la conservación y utilización sustentable de la biodiversidad (Ministerio del Ambiente [MAE], 2012).

Además, en el artículo 48, de la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre, menciona que el uso de especímenes de flora y fauna silvestres y sus productos, se realizará solamente con fines científicos, educativos y de intercambio internacional con instituciones científicas, previa autorización del Ministerio del Ambiente y cumpliendo con los requisitos reglamentarios (MAE, 2015).

De la misma manera, el Art. 86 de la Constitución Política de la República declara de interés público a la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y el patrimonio genético del país, a la recuperación de espacios naturales degradados, al establecimiento

de un Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas que garanticen la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de los servicios ecológicos. También el Art. 100, menciona que, El Estado, a través del Banco Nacional de Fomento, la Corporación Financiera Nacional, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias y demás instituciones con competencia en la materia, impulsará programas de conservación *in situ* y *ex situ* de la biodiversidad silvestre, es decir, flora y fauna, y de la agrobiodiversidad, dirigidos especialmente a pueblos indígenas, afroecuatorianos y comunidades locales (MAE, 2017).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación consta de dos fases, la fase descriptiva que detalla las características morfométricas de la semilla botánica de papa y determina la distribución ecogeográfica y la fase experimental que determina la viabilidad de la semilla mediante pruebas de germinación.

3.1. Caracterización morfométrica de la semilla botánica de las especies silvestres de papa

3.1.1. Caracterización del área de estudio

La investigación realizó en la provincia de Pichincha, cantón Mejía, sector Cutuglagua, específicamente en la Estación Experimental “Santa Catalina” perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) (Figura 9). Las actividades fueron desarrolladas en el Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos (DENAREF).

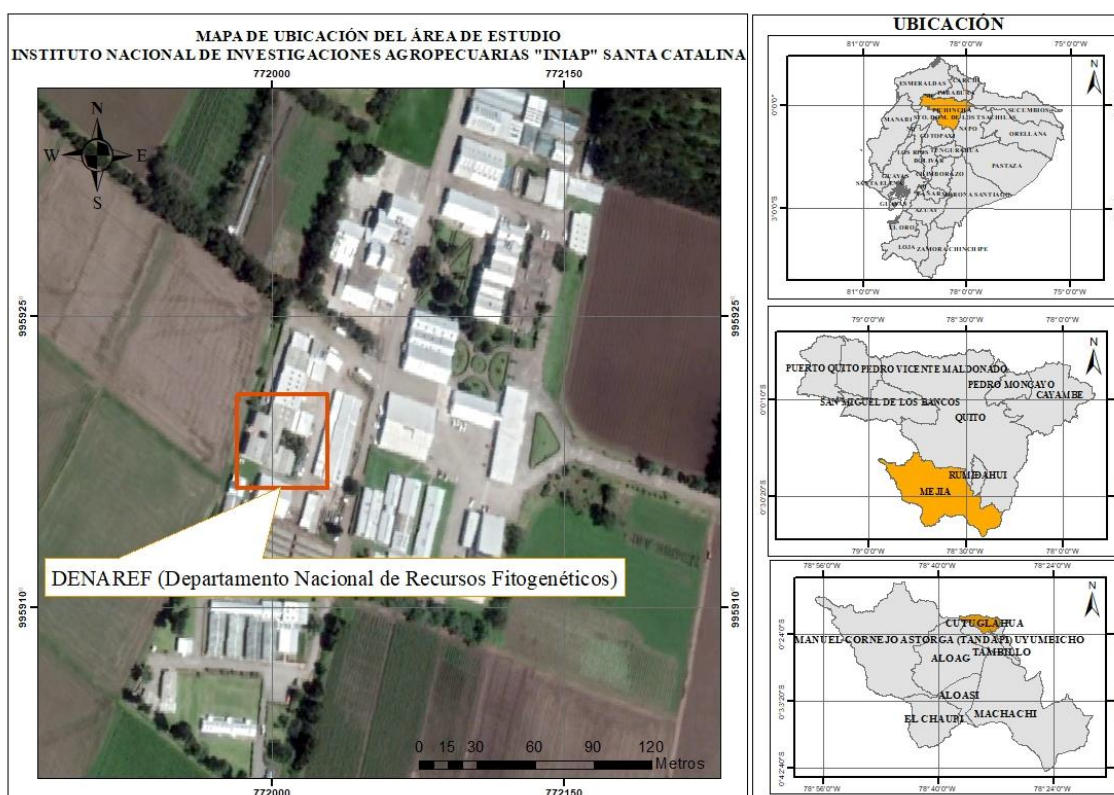


Figura 9. Mapa de ubicación de la Estación Experimental Santa Catalina, INIAP.

3.1.2. Materiales, equipos, insumos y herramientas

En la Tabla 1 se describen los materiales, insumos, equipos y paquete de software utilizados para la caracterización morfométrica de seis especies silvestres de papa.

Tabla 1

Materiales, insumos y equipos empleados en la caracterización morfométrica

Materiales	Insumos	Equipos	Paquetes Software
Tabla de colores (RHS Royal Chart)	Semillas	Balanza/laboratorio Estereomicroscopio digital	OLYMPUS cellSens Standard

3.1.3. Métodos

Dentro de la fase descriptiva se encuentra la caracterización morfométrica de la semilla botánica de papa, se utilizaron seis especies silvestres, ya que, únicamente las semillas de esas especies se encontraban almacenadas en el Banco de Germoplasma del INIAP. La caracterización morfométrica de la semilla botánica de papa se realizó en 12 accesiones procedentes de seis especies silvestres de papa (Tabla 2), tomando datos como forma, color, peso, ancho, largo y área.

Tabla 2

Especies silvestres de Solanum emparentadas a papa

Especies	Número banco INIAP	Provincia	Altitud (msnm)
<i>Solanum albornozii</i> C.	ECU 28100	Loja	2596
<i>Solanum albicans</i> O.	ECU 28099	Bolívar	3839
	ECU 28106	Cotopaxi	3675
<i>Solanum andreanum</i> B.	ECU 28108	Sucumbíos	2025
	ECU 28105	Napo	222
<i>Solanum chomatophilum</i> B.	ECU 28101	Pichincha	3420
	ECU 28115	Azuay	2696
<i>Solanum colombianum</i> D.	ECU 28110	Pichincha	3600
	ECU 28116	Chimborazo	3542
	ECU 28097	Tungurahua	2663
<i>Solanum minutifolium</i> C.	ECU 28093	Tungurahua	3840
	ECU 28098	Tungurahua	2876

Las semillas de las seis especies silvestres se obtuvieron del Banco de Germoplasma, para la caracterización morfométrica. Se seleccionaron al azar 20 semillas por cada accesión de las especies en estudio. Posteriormente, se caracterizó por su morfología mediante la toma de datos como: largo (μm), ancho (μm), área (μm^2), peso (g), forma y color. Para evaluar el largo, ancho y área de la semilla se utilizó un estereomicroscopio digital (OLYMPUS SZX16) y el software Olympus cellSens Standard que contiene herramientas avanzadas de captura de imágenes. También se registró el peso de 100 semillas utilizando una balanza analítica (OHAUS), con un valor de precisión de lectura de 0.1 μg a 0.1 mg (Figura 10).

El color de la semilla se determinó utilizando la carta de colores RHS Colour Chart (RHS, Royal Horticultural Society, 2007); y finalmente, para conocer la forma de la semilla se empleó el descriptor de forma de semilla propuesto en los descriptores de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Alercia, Sears, Tazza y Stapleton, 2012; García y Torras 2011). Además, para el análisis estadístico de cada una de las variables se hizo un análisis de varianza con el paquete estadístico InfoStat versión 2018 (Di Rienzo et al., 2008).

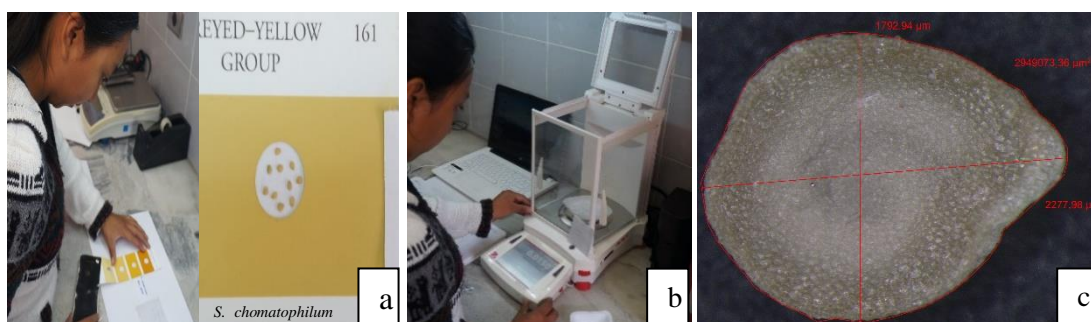


Figura 10. Toma de datos de la caracterización morfométrica de la semilla botánica de papa silvestres **a.** Color, **b.** Peso, **c.** Largo, ancho y área.

3.2. Germinación de semilla botánica de papa silvestre

La fase experimental consistió en dos etapas. En la primera se evaluó el efecto de tres temperaturas (5°, 15° y 25°C) en la germinación de la semilla botánica de las especies silvestres de papa. En la segunda etapa, estas se sometieron a estimulantes con el fin de mejorar el porcentaje de germinación, según las especies que presentaron bajo porcentaje de germinación en la primera etapa.

3.2.1. Primera etapa de germinación

3.2.1.1. Materiales, equipos, insumos y herramientas

Para evaluar el porcentaje de germinación de la semilla botánica de las seis especies silvestres de papa en estudio se emplearon los materiales, insumos y equipos que se encuentran descritos en la Tabla 3:

Tabla 3

Materiales, insumos y equipos que se utilizó en la germinación de la semilla botánica

Materiales	Insumos	Equipos
Libreta de campo	Semillas	Germinador SMIN/SAENG TEMI 2500
Cajas Petri	Agar USP	Autoclave eléctrica
Frasco autoclavable		Separador neumático de semillas
Fundas plásticas		

3.2.1.2. Métodos

Se evaluó la interacción de la temperatura en las semillas de las especies silvestres de papa, con el propósito de conocer la temperatura óptima de germinación.

3.2.1.3. Factor en estudio

Factor A: especies silvestres de papa

E1: *S. albornozii* C.

E2: *S. albicans* O.

E3: *S. andreanum* B.

E4: *S. chomatophilum* B.

E5: *S. colombianum* D.

E6: *S. minutifoliolum* C.

Factor B: Temperatura

T1: 5°C

T2: 15°C

T3: 25°C

3.2.1.4. Tratamientos

A continuación, se detallan 18 tratamientos que se utilizaron en la investigación (Tabla 4):

Tabla 4

Tratamientos de temperaturas y semillas de especies silvestres para germinar

Cod	T°	Especie
T1	5°C	<i>S. albornozii</i> C.
T2	5°C	<i>S. albicans</i> O.
T3	5°C	<i>S. andreanum</i> B.
T4	5°C	<i>S. chomatophilum</i> B.
T5	5°C	<i>S. colombianum</i> D.
T6	5°C	<i>S. minutifoliolum</i> C.
T7	15°C	<i>S. albornozii</i> C.
T8	15°C	<i>S. albicans</i> O.
T9	15°C	<i>S. andreanum</i> B.
T10	15°C	<i>S. chomatophilum</i> B.
T11	15°C	<i>S. colombianum</i> D.
T12	15°C	<i>S. minutifoliolum</i> C.
T13	25°C	<i>S. albornozii</i> C.
T14	25°C	<i>S. albicans</i> O.
T15	25°C	<i>S. andreanum</i> B.
T16	25°C	<i>S. chomatophilum</i> B.
T17	25°C	<i>S. colombianum</i> D.
T18	25°C	<i>S. minutifoliolum</i> C.

3.2.1.5. Diseño experimental

Para la presente investigación se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) en arreglo factorial A x B con tres repeticiones por cada tratamiento (Figura 11-12-13).

T3R3	T2R1	T5R2	T6R2	T4R3	T4R2
T3R2	T1R1	T1R3	T4R1	T6R3	T2R2
T3R1	T2R3	T6R1	T5R3	T5R1	T1R2

Figura 11. Tratamientos que se sometieron a una temperatura de 5°C

T10R3	T7R1	T8R2	T9R3	T10R2	T7R3
T7R2	T8R1	T11R2	T12R3	T11R3	T10R1
T12R1	T9R2	T8R3	T11R1	T12R2	T9R1

Figura 12. Tratamientos que se sometieron a una temperatura de 15°C

T14R1	T18R2	T16R2	T15R3	T13R3	T17R3
T13R1	T17R1	T18R1	T18R3	T16R1	T14R3
T14R2	T17R2	T16R3	T15R1	T13R2	T15R2

Figura 13. Tratamientos que se sometieron a una temperatura de 25°C

3.2.1.6. Características del experimento

- Número de tratamientos: 18
- Número de repeticiones: 3
- Número de unidades experimentales: 54
- Área total experimental: 18 m²

3.2.1.7. Características de la unidad experimental

- Unidad experimental: Plato Petri + agar
- Tamaño del plato Petri: 10 cm de diámetro
- Semillas por plato Petri: 5 semillas
- Total platos Petri: 54

3.2.1.8. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el software INFOSTAT v. 2018 (Tabla 5).

Tabla 5

Esquema de la ADEVA de un Diseño Completamente al azar (DCA) con arreglo factorial AxB

Fuentes de Variación		GL
Total	(TxR)-1	53
Temperatura	(T-1)	2
Especie	(E-1)	5
Temperatura x Especie	(TxE)	10
Error experimental	(T-1)(R-1)	36

NOTA: Se determinó el coeficiente de variación en porcentaje (CV %) y en caso de encontrar diferencias significativas entre tratamientos, se utilizó la prueba de Fisher al 5% para diferencia de medias.

3.2.1.9. Variables evaluadas

Las variables evaluadas en la primera etapa de germinación fueron las siguientes:

- *Porcentaje de germinación.*

El porcentaje de germinación se evaluó en dos tiempos: el primero a los 7 días y el segundo a los 14 días, contando desde el primer día de siembra, de acuerdo con las normas internacionales de la ISTA (International Seed Testing Associations [ISTA], 1976) para conocer el porcentaje de germinación se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de germinación} = \frac{\text{N}^\circ \text{ semillas germinadas}}{\text{N}^\circ \text{ semillas puestas a germinar}} \times 100$$

- *Longitud de hipocótilo.*

Se midió la longitud del hipocótilo de las plántulas de cada tratamiento, al cabo de los 14 días después de la siembra, la medida se tomó en centímetros con ayuda de una regla graduada.

- *Longitud de radícula.*

Se midió la longitud de la radícula de las plántulas de cada tratamiento, considerando desde el cuello de la raíz hasta el ápice de esta. Esta variable se tomó al finalizar los 14 días después de la siembra, con ayuda de una regla graduada.

3.2.1.10. Manejo específico del experimento (etapa uno)

A continuación, se describen las principales actividades que se realizaron para la germinación de la semilla botánica de las especies silvestres sometidas a tres temperaturas. Se seleccionaron 15 semillas por especie al azar para cada tratamiento.

- *Pre-acondicionamiento de la semilla botánica de papa.*

Previamente a la caracterización morfométrica y germinación de la semilla botánica se realizó un pre-acondicionamiento: consistió en escoger al azar una muestra de semillas y colocarlas en el separador neumático, el cual eliminó impurezas y semillas no viables con el fin de tener una muestra homogénea y no alterar los resultados en la etapa de germinación (Figura 14).



Figura 14. Uso de separador neumático de semillas

- *Desinfección del germinador.*

Se desinfectó el germinador SMIN/SAENG TEMI 2500 con alcohol, limpiando las paredes internas y los compartimentos donde se alojaron las cajas Petri (Figura 15).



Figura 15. Limpieza de germinadores previo a la siembra

- *Selección de semilla.*

Para la selección se tomó en cuenta las semillas que pasaron por el pre-acondicionamiento (Figura 16).



Figura 16. Conteo de semilla botánica de especies silvestres de papa

- *Preparación de Agar.*

Para la preparación de la solución de agar se utilizó frascos autoclavables; en 2 litros de agua destilada se colocó 10.5 g de Agar USP al 1.5% conforme al protocolo descrito por el Departamento Nacional de Recursos fitogenéticos DENAREF (2019). Luego, la disolución se agitó y se dejó reposar por 5 minutos y finalmente se llevó a la autoclave a 120°C por 20 minutos (Figura 17).



Figura 17. Preparación de Agar USP

- *Preparación de cajas Petri.*

Se apilaron cajas Petri dentro de fundas plásticas, luego se colocaron en la autoclave a 120°C por 20 min para esterilizarlas. A continuación, dentro de la cámara de flujo laminar, se dispensó el agar en las cajas Petri y se dejó reposar la solución por 20 min (Figura 18).



Figura 18. Cajas Petri esterilizadas antes de la siembra

- *Desinfección de semilla*

Para evitar que el agar se contamine de bacterias y hongos que podrían estar presentes en las semillas, se preparó una solución de cloro al 0.1% para lavar las semillas por 5 min para su desinfección, luego se enjuagaron por 15 min en agua destilada (Figura 19).



Figura 19. Desinfección de semilla botánica de papa silvestre en cloro al 0.1%

- *Siembra*

Se colocaron cinco semillas por caja Petri previamente preparadas con agar y se llevó al germinador a una temperatura de 5°C, 15°C y 25°C (Monteros, Mosley y Nonogaki, 2003; Pallais 1991). Se esperó el tiempo establecido según el protocolo del ITSA para la toma de datos (Figura 20).



Figura 20. Siembra de semilla botánica de papa silvestre

- *Toma de datos*

La toma de datos se realizó desde el primer día después de la siembra y en un intervalo de 7 y 14 días según lo mencionado por las normas (ISTA), se llevó un libro de campo en donde se registraron las variables mencionadas anteriormente, además, se corroboró la información por medio de fotografías (Figura 21).

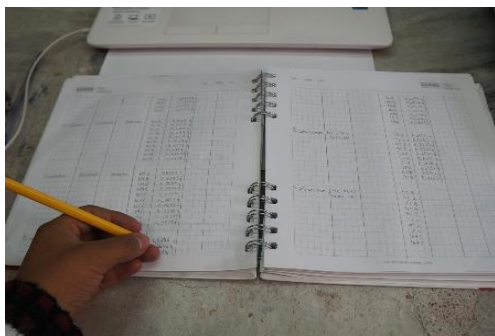


Figura 21. Toma de datos a los siete y catorce días

3.2.2. Segunda etapa de germinación

3.2.2.1. Materiales, equipos, insumos y herramientas

Para evaluar el porcentaje de germinación de la semilla botánica de las tres especies silvestres de papa en estudio (con bajo porcentaje de germinación en la fase 1 del

experimento), se emplearon los materiales, insumos y equipos que se encuentran descritos en la Tabla 6:

Tabla 6

Materiales, insumos y equipos que se utilizó en la germinación de la semilla botánica

Materiales	Insumos	Equipos
Libreta de campo	Semillas	Germinador SMIN/SAENG TEMI 2500
Cajas Petri	Agar USP	Autoclave eléctrica
Frasco autoclavable		
Fundas plásticas		

3.2.2.2. Métodos

Las semillas botánicas de las especies silvestres de papa que presentaron bajo porcentaje de germinación en la primera etapa se sometieron a estimulantes químicos con el propósito de incrementar el porcentaje de germinación de la semilla.

3.2.2.3. Factor en estudio

Factor A: especies silvestres de papa

E1: *S. albicans* O.

E2: *S. minutifolium* C.

E3: *S. albornozii* C.

Factor B: Estimulantes químicos

G1: Ácido giberélico (0.2g/l)

G2: Ácido giberélico (0.4g/l)

G3: Ácido giberélico (0.6g/l)

N1: Nitrato de potasio (0.2g/100ml)

N2: Nitrato de potasio (0.4g/100ml)

N3: Nitrato de potasio (0.6g/100ml)

3.2.2.4. Tratamientos

En la Tabla 7 se detallan los 18 tratamientos que se utilizaron en la investigación:

Tabla 7

Tratamientos de tres especies silvestres de papa y el estimulante de germinación

Cod	T°	Especie
T1	G1	<i>S. albicans</i> O.
T2	G2	<i>S. albicans</i> O.
T3	G3	<i>S. albicans</i> O.
T4	N1	<i>S. albicans</i> O.
T5	N2	<i>S. albicans</i> O.
T6	N3	<i>S. albicans</i> O.
T7	G1	<i>S. minutifoliolum</i> C.
T8	G2	<i>S. minutifoliolum</i> C.
T9	G3	<i>S. minutifoliolum</i> C.
T10	N1	<i>S. minutifoliolum</i> C.
T11	N2	<i>S. minutifoliolum</i> C.
T12	N3	<i>S. minutifoliolum</i> C.
T13	G1	<i>S. albornozii</i> C.
T14	G2	<i>S. albornozii</i> C.
T15	G3	<i>S. albornozii</i> C.
T16	N1	<i>S. albornozii</i> C.
T17	N2	<i>S. albornozii</i> C.
T18	N3	<i>S. albornozii</i> C.

3.2.2.5. Diseño experimental

Para la segunda etapa de germinación se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) en arreglo factorial A x B con tres repeticiones por cada tratamiento (Figura 22-23-24).

T3R3	T2R1	T5R2	T6R2	T4R3	T4R2
T3R2	T1R1	T1R3	T4R1	T6R3	T2R2
T3R1	T2R3	T6R1	T5R3	T5R1	T1R2

Figura 22. Tratamientos de los estimulantes químicos para *Solanum albicans* O.

T10R3	T7R1	T8R2	T9R3	T10R2	T7R3
T7R2	T8R1	T11R2	T12R3	T11R3	T10R1
T12R1	T9R2	T8R3	T11R1	T12R2	T9R1

Figura 23. Tratamientos de los estimulantes químicos para *Solanum minutifoliolum* C.

T14R1	T18R2	T16R2	T15R3	T13R3	T17R3
T13R1	T17R1	T18R1	T18R3	T16R1	T14R3
T14R2	T17R2	T16R3	T15R1	T13R2	T15R2

Figura 24. Tratamientos de los estimulantes químicos para *Solanum albornozii* C.

3.2.2.6. Características del experimento

- Número de tratamientos: 18
- Número de repeticiones: 3
- Número de unidades experimentales: 54
- Área total experimental: 18 m²

3.2.2.7. Características de la unidad experimental

- Unidad experimental: Plato Petri + agar
- Tamaño del plato Petri: 10 cm de diámetro
- Semillas por plato Petri: 5 semillas
- Total platos Petri: 54

3.2.2.8. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el software INFOSTAT v. 2018 (Tabla 8).

Tabla 8

Esquema de la ADEVA de un Diseño Completamente al Azar (DCA)

Fuentes de Variación		GL
Total	(TxR)-1	53
Estimulante	(T-1)	5
Especie	(E-1)	2
Estimulante x Especie	(TxE)	10
Error experimental	(T-1)(R-1)	36

Nota: Se determinó el coeficiente de variación en porcentaje (CV %) y en caso de encontrar diferencias significativas entre tratamientos, se utilizó la prueba de Fisher al 5% para diferencia de medias.

3.2.2.9. Variables evaluadas

Las variables evaluadas en la segunda etapa de germinación fueron el porcentaje de germinación, longitud de hipocótilo y longitud de radícula, descritos en el numeral 3.2.1.9.

3.2.2.10. Manejo específico del experimento (etapa dos)

A continuación, se describen las principales actividades que se realizaron para la germinación de la semilla botánica de las especies silvestres sometidas a tres estimulantes de germinación con tres dosis cada uno. Se seleccionaron 15 semillas por especie al azar para cada tratamiento.

- *Selección de semilla.*

Se seleccionaron las semillas que recibieron el pre-acondicionamiento utilizadas para la toma de datos de la caracterización morfométrica (Figura 25).

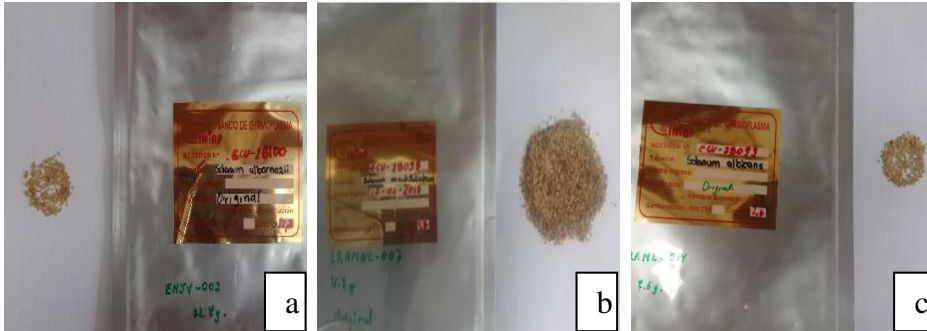


Figura 25. Semillas botánicas de especies silvestres de papa **a.** *S. albornozii* C., **b.** *S. minutifoliolum* C. **c.** *S. albicans* O.

- *Preparación de estimulantes químicos.*

Para la preparación de los estimulantes químicos, se colocaron las dosis de ácido giberélico de 0.2, 0.4 y 0.6 gramos en un litro de agua destilada, se colocó cada dosis en diferentes recipientes cada dosis. Para el nitrato de potasio, se prepararon dosis de 0.2, 0.4 y 0.6 gramos en 100 ml de agua destilada, en distintos recipientes (Figura 26).

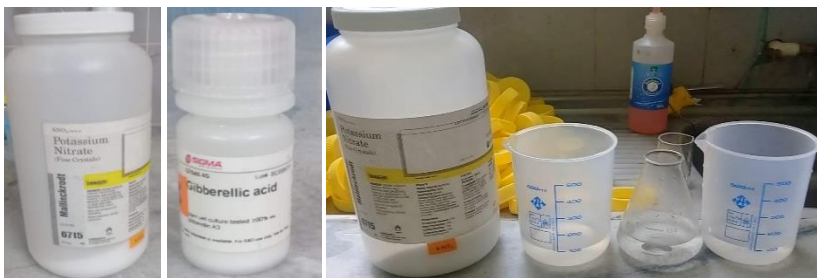


Figura 26. Preparación de estimulantes químicos previo a la siembra

- *Imbibición de semillas en estimuladores de germinación.*

La semilla botánica de las tres especies silvestres (*S. albicans* O., *S. minutifoliolum* C. y *S. albornozii* C.) fueron embebidas por 24h en la solución de Ácido giberélico (AG₃) (Fraile-Robayo, Álvarez-Herrera y Deaquiz-Oyola, 2012) y por diez minutos en Nitrato de potasio (KNO₃) (Cano-Vásquez et al., 2015), para posteriormente ser secadas al ambiente por diez minutos para la futura siembra (Figura 27).

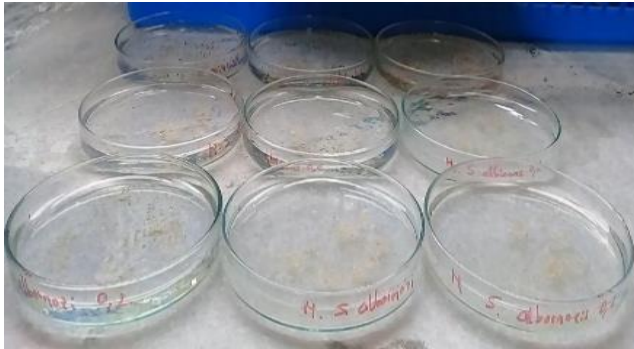


Figura 27. Imbibición de semillas en estimulantes de germinación

Después de la imbibición de las semillas en los estimuladores de germinación como el ácido giberélico y nitrato de potasio, los pasos consecutivos fueron los que se realizaron en la primera etapa de germinación como: desinfección del germinador, preparación de agar, preparación de cajas petri, siembra y toma de datos.

3.3. Caracterización ecogeográfica

La caracterización ecogeográfica se realizó con ocho especies silvestres emparentadas a papa. Los materiales silvestres de papa fueron colectados por el INIAP a través del proyecto: “Colecta en Ecuador de especies silvestres relacionadas al camote, arroz, fréjol lima, papa y berenjena”, financiado por el Global Crop Diversity Trust y que tenía todos los permisos ante el Ministerio del Ambiente de Ecuador (Naranjo et al., 2020).

3.3.1. Materiales, equipos, insumos y herramientas

En la Tabla 9 se describen los materiales, insumos, equipos y el paquete software utilizados en la caracterización ecogeográfica de ocho especies silvestres de papa.

Tabla 9

Equipos y paquetes software empleados en la caracterización ecogeográfica

Equipos	Paquetes Software
Computadora	Base de datos Excel ECU-COL CAPFITOGEN ArcGIS versión 10.4.1

3.3.2. Métodos

3.3.2.1. Especies en estudio

Las especies en estudio están constituidas por ocho especies silvestres del género *Solanum* del cultivo de papa, las cuales se encuentran conservadas en el Banco Nacional de Germoplasma del INIAP y se detallan a continuación (Tabla 10):

Tabla 10

Especies silvestres de papa

Acervo	Familia	Nombre científico
Papa	Solanaceae	<i>S. albornozii</i> C.
Papa	Solanaceae	<i>S. albicans</i> O.
Papa	Solanaceae	<i>S. andreanum</i> B.
Papa	Solanaceae	<i>S. chilliasense</i> O.
Papa	Solanaceae	<i>S. chomatophilum</i> B.
Papa	Solanaceae	<i>S. colombianum</i> D.
Papa	Solanaceae	<i>S. minutifoliolum</i> C.
Papa	Solanaceae	<i>S. olmosense</i> O.

3.3.2.2. Área de Estudio

El área de estudio donde se encuentran las especies silvestres de papa comprende 13 provincias como son: Azuay, Bolívar, Cañar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, El Oro, Loja, Morona Santiago, Napo, Pichincha, Sucumbíos y Tungurahua (Figura 28).

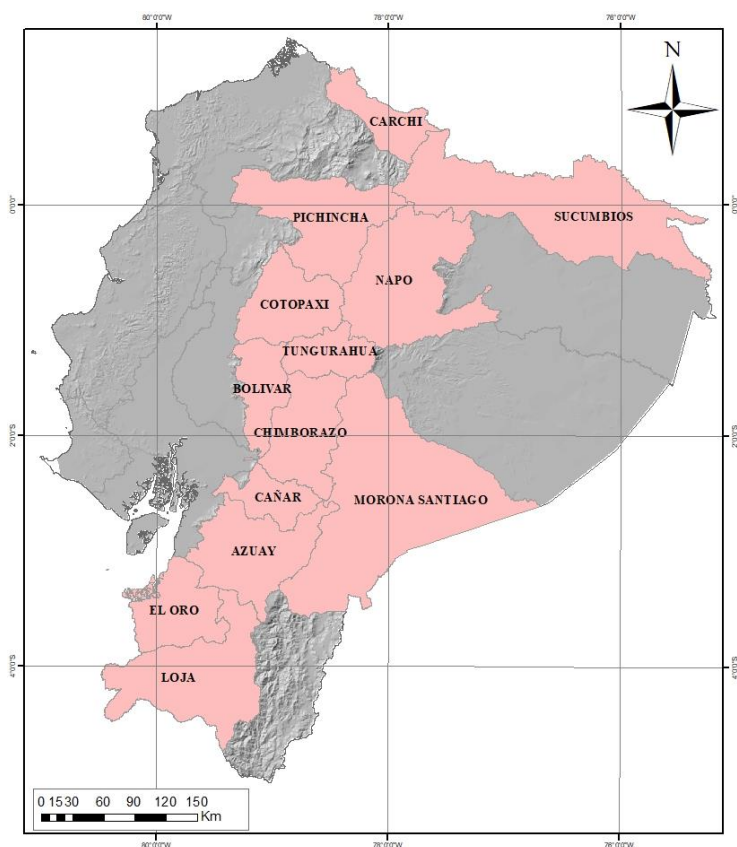


Figura 28. Mapa de ubicación del área de estudio en 13 provincias de Ecuador

3.3.2.3. Caracterización ecogeográfica

Para la caracterización ecogeográfica se utilizó la base ECUCOL debidamente depurada y bajo el formato compatible con la herramienta CAPFITOGEN (Parra-Quijano, Torres, Iriondo y López, 2015). A continuación, se realizó la recopilación y definición de criterios climáticos, geofísicos y edáficos de especies silvestres de papa.

El programa CAPFITOGEN contiene varias herramientas (Figura 29). La primera que se utilizó es TESTABLE, que permitió observar los posibles errores que se presentaron en la tabla de datos como: dimensión, nombres columnas, filas fantasmas, celdas en blanco y requerimientos en cada campo) (Parra-Quijano et al., 2015).

La segunda herramienta que se utilizó fue GEOQUAL. Se evaluó la calidad de los datos en cada sitio de recolección, asignando un valor a cada punto según la exactitud de sus coordenadas, de manera que, cuanto más alto sea su valor (TOTALQUAL 100), mayor será su grado de certeza.

A continuación, se procedió a la captura de las variables ecogeográficas por medio de la herramienta SELECVAR, que contiene 105 variables entre bioclimáticas (temperatura, precipitación, entre otras), edáficas (pH del suelo, salinidad, profundidad, sodicidad, entre otras.) y geofísicas (elevación, pendiente, esticidad y demás). Las variables fueron seleccionadas por los expertos del INIAP, según lo indicado por el manual de CAPFITOGEN; a) los valores estimados de correlación entre -0.5 y 0.5 (baja o nula correlación) y aceptación de la hipótesis nula (p-valores mayores o iguales a 0.05) y b) valores estimados de correlación menores a -0.5 o mayores a 0.5 (alta correlación) y rechazo de la hipótesis nula (p-valores menores o iguales a 0.05).

El total de variables ecogeográficas seleccionadas fue de 32: las variables bioclimáticas (16), geofísicas (2) y edáficas (14) una vez seleccionadas las variables, se utilizó la herramienta ELC MAPAS (Ecogeographical Land Characterization por sus siglas en inglés), donde se obtuvieron mapas que reflejaron los diferentes escenarios adaptativos que ocurren para una especie o grupo de especies en un territorio determinado. Finalmente, se utilizó la herramienta ECOGEO, que permitió hacer una caracterización ecogeográfica de los sitios de recolección del germoplasma y obtener datos ecogeográficos de cada sitio de recolección.

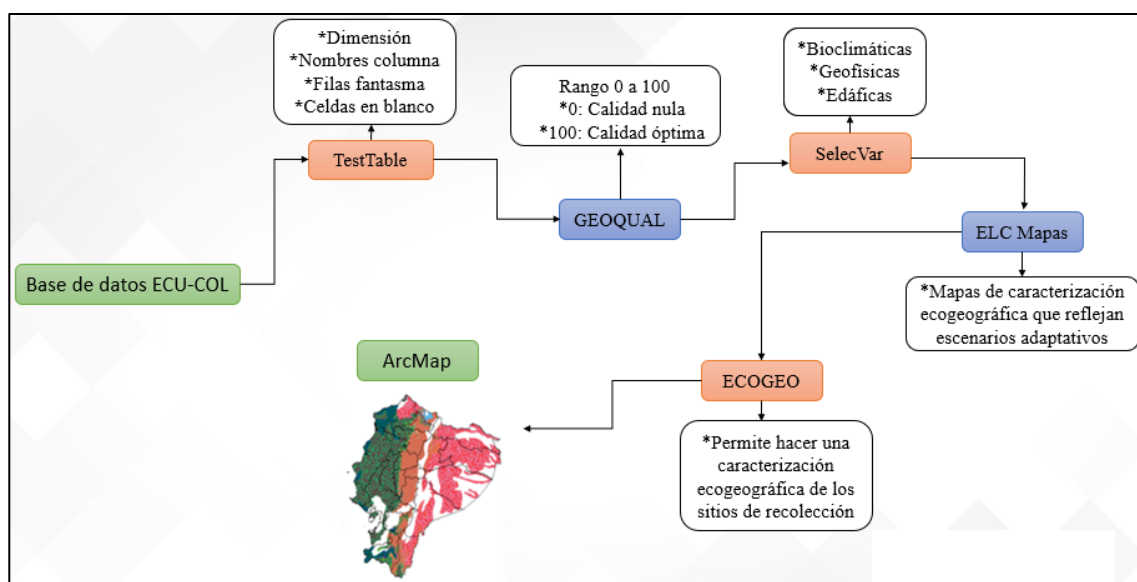


Figura 29. Herramientas de CAPFITOGEN versión 2.0

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados de las dos fases de la investigación: en la fase descriptiva se realizó la caracterización morfométrica de la semilla botánica y la caracterización ecogeográfica de cada sitio de colecta de las especies silvestres de papa y en la fase experimental se determinó la viabilidad de la semilla botánica de papa silvestre.

4.1. Caracterización morfométrica de la semilla botánica de especies silvestres de papa

A continuación, se detallan los resultados de peso (g), largo (μm), ancho (μm), área (μm^2), color RHS (Royal Horticultural Society, 2007) y forma de semillas pertenecientes a las 12 accesiones de las seis especies silvestres de papa.

4.1.1. Peso de la semilla botánica de especies silvestres

El análisis estadístico para la variable peso, indica que existen diferencias significativas entre especies ($f=38.41$; $gl=5,234$; $p<0.0001$) (Tabla 11).

Tabla 11

Análisis de varianza para la variable peso de la semilla

Fuentes de variación	gl.FV	gl.E.E	F	P
Especie	5	234	38.41	<0.0001

En la figura 30 que corresponde al peso de la semilla botánica de papa silvestre, se observa que la especie que presentó mayor peso promedio fue *S. minutifolium* C. con 0.042 g, seguida de *S. colombianum* D., *S. chomatophilum* B. y *S. albicans* C. las cuales presentaron un peso similar de 0.039 g, y *S. albornozii* C. presentó el menor peso con 0.031 g.

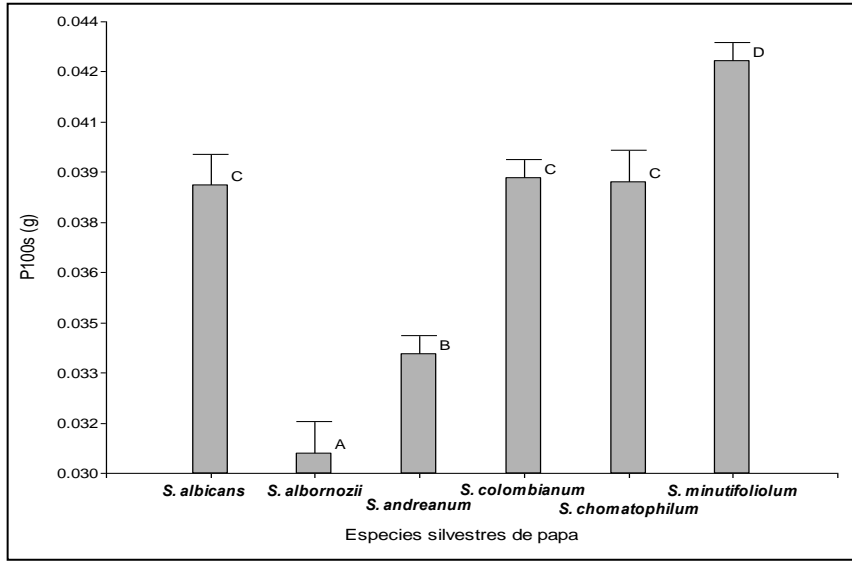


Figura 30. Peso en g para 100 semillas botánicas de seis especies silvestres de papa

4.1.2. Largo y ancho de la semilla botánica de especies silvestres de papa

El análisis estadístico para la variable largo de semilla botánica de papa silvestre, indica que existe diferencia significativa entre especies largo ($f=88.99$; $gl=5,234$; $p<0.0001$), ancho ($F=3.23$; $gl=5,234$; $p=0.0078$) (Tabla 12).

Tabla 12

Análisis de varianza para la variable largo y ancho de la semilla botánica de papa

Fuentes de variación	gl.FV	gl.E.E	F	P
Especie (largo) μm	5	234	88.99	<0.0001
Especie (ancho) μm	5	234	3.23	0.0078

Se observa que las semillas de *S. albicans* O. fueron más largas con 2148.16 μm y las semillas con menor largo fue de *S. andreanum* B. con 1571.82 μm . Con respecto al ancho, las semillas de *S. albicans* O. fueron más anchas con 1611.63 μm y las semillas de *S. chomatophilum* B. presentaron el menor ancho de 1161.57 μm (Figura 31).

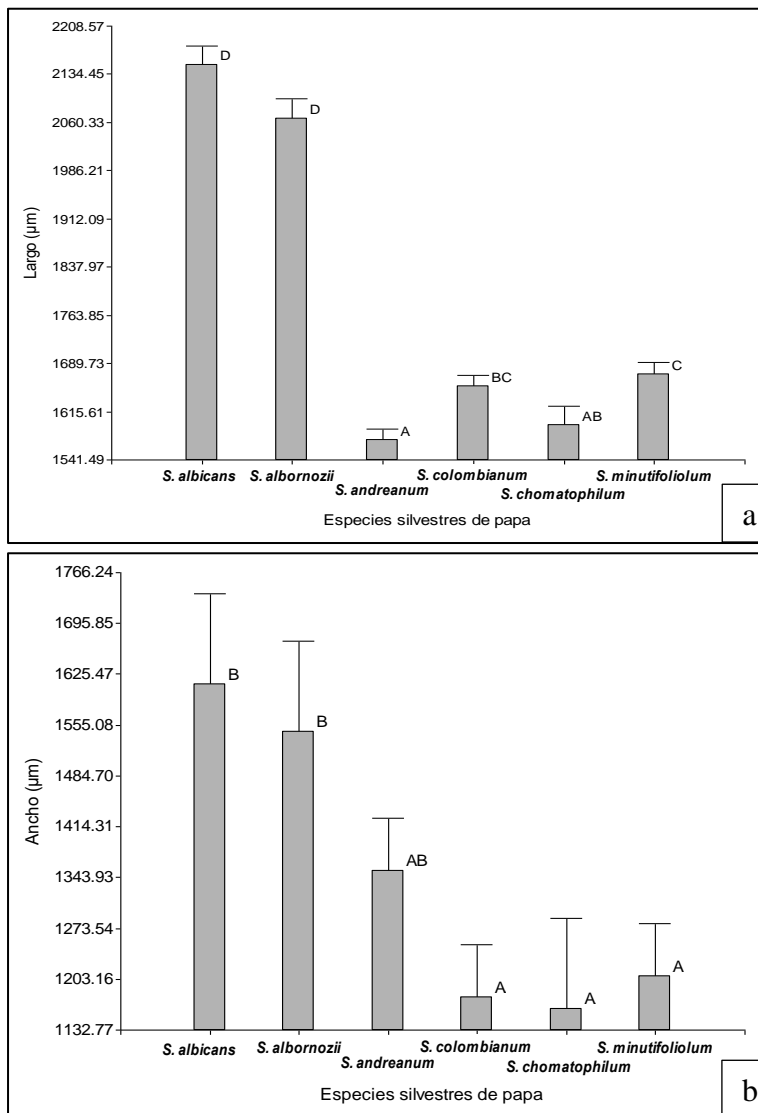


Figura 31. Características morfométricas de la semilla botánica de papa silvestre. **a.** Largo de semilla en µm **b.** Ancho de semilla en µm.

4.1.3. Área de la semilla botánica de especies silvestres de papa

El análisis estadístico para la variable área de la semilla botánica de papa silvestre indica que, existe diferencia significativa entre especies ($F=3.45$; $gl=5,234$; $p=0.0050$) (Tabla 13).

Tabla 13

Análisis de varianza para la variable área de la semilla

Fuentes de variación	gl.FV	gl.E.E	F	P
Especie	5	234	3.45	0.0050

Los datos representados en la figura 32 muestra que, las semillas de *S. albicans* O. presentaron mayor área con 2563598.46 μm^2 y las semillas de *S. chomatophilum* B. presentaron la menor área de 1383263.99 μm^2 , las otras especies presentan datos intermedios.

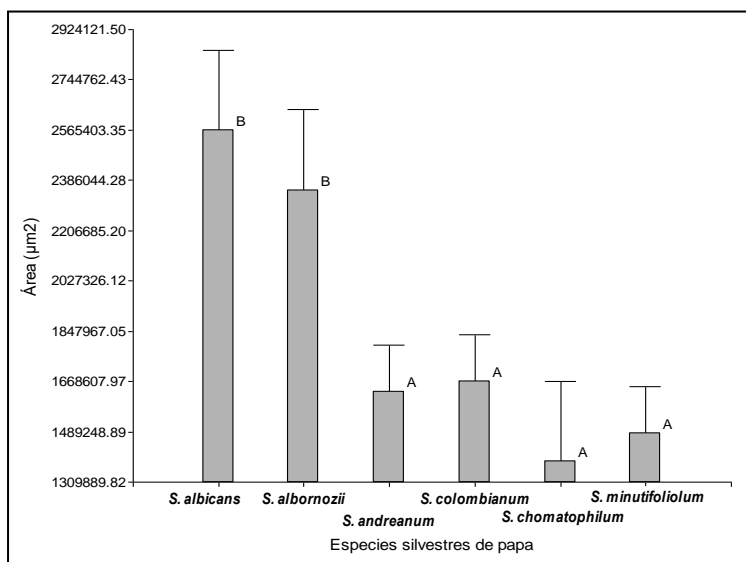


Figura 32. Área de la semilla botánica de especies silvestres de papa

Con respecto al área de la semilla botánica de especies silvestres de papa, *Solanum albicans* O., *S. albornozii* C. y *S. colombianum* D. presentaron semillas grandes con promedio de 1394.82 μm de ancho y 1901.13 μm de largo y *S. andreaanum* B., *S. minutifolium* C. y *S. chomatophilum* B. semillas pequeñas con promedio de 1257.57 μm de ancho y 1583.2 μm de largo. Estos datos coinciden con semillas botánicas de papa (*Solanum tuberosum* L.) que a decir de Hinostroza (2015), el tamaño promedio es de 1300 a 1800 μm .

De la misma manera, el peso promedio de 100 semillas osciló entre 0.0389 y 0.0441 g siendo las de mayor peso las semillas de *S. minutifolium* C. y *S. albicans* O. y con menor peso las semillas de *S. andreaanum* B. y *S. albornozii* C. El resto de las especies presentó un peso intermedio. Esto concuerda con Salomón et al. (2012) quienes también en un estudio de semilla botánica de papa (*S. tuberosum* L.), determinaron que el peso promedio de 100 semillas está entre 0.040 a 0.061 g.

4.1.4. Color y forma de las semillas botánicas de especies silvestres de papa (*Solanum* spp.)

Respecto a la determinación de la forma y color de las semillas botánicas de papa silvestre, podemos indicar que el 100% presentaron forma reniforme-ovada (Figura 33), el 17% de las semillas presentaron color marrón-grisáceo (*S. albicans* O. y *S. albornozii* C.), el otro 17% de color marrón claro (*S. minutifoliolum* C.) y el 66% de marrón-amarillento (*S. andreanum* B., *S. chomatophilum* B. y *S. colombianum* D.).

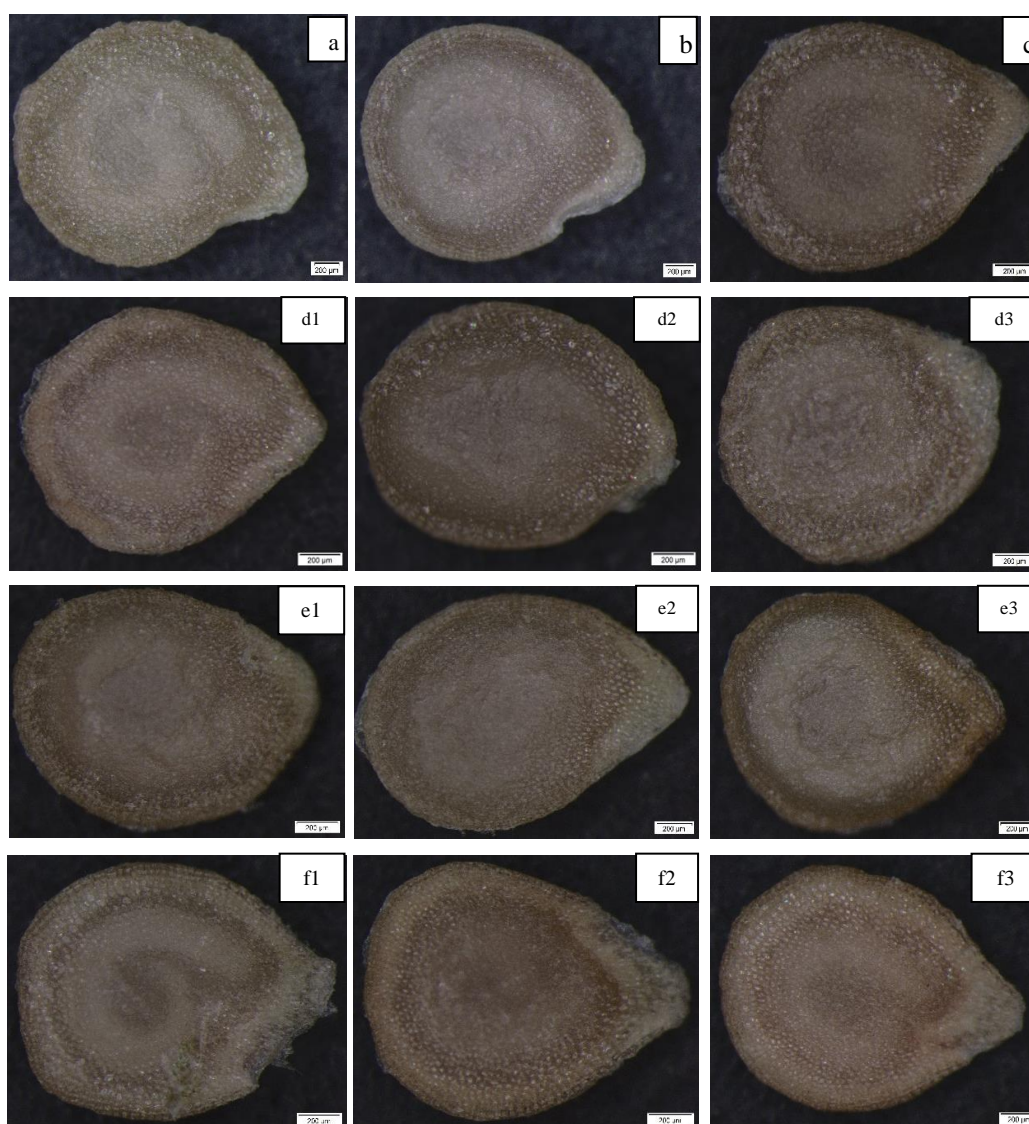


Figura 33. Descripción de las semillas botánicas de especies silvestres de papa. **a.** *Solanum albicans* O., ECU 28099 **b.** *S. albornozii* C., ECU 28100 **c.** *S. chomatophilum* B., ECU 28101 **d)** *S. andreanum* B. **d1.** ECU 28105, **d2.** ECU 28106 **d3.** ECU 28108, **e)** *S. colombianum* D., **e1.** ECU 28110 **e2.** ECU 28115, **e3.** ECU 28116, **f)** *S. minutifoliolum* C., **f1.** ECU 28093, **f2.** ECU 28097, **f3.** ECU 28098, Escalas = 200 μ m.

Los datos anteriormente mencionados coinciden con Gallego, Quintanar y Talavera (2012) quienes mencionan que *Solanum tuberosum* L. presentan frutos globosos con semillas reniformes, y la familia Solanaceae presentan semillas de colores como: blanco, marrón y amarillas. De la misma manera, Rodríguez (2017) argumenta que las especies de la familia Solanaceae en general presentan semillas comprimidas, reniformes a ovadas con superficie tuberculata brillante por ejemplo la especie *Nicandra physalodes* A.

A través del análisis de conglomerados se determinó la conformación de tres grupos de papa silvestres. El primer grupo está integrado por las especies *S. minutifolium* C., *S. colombianum* D. y *S. chomatophilum* B., el segundo grupo está formado por *S. andreamum* B. y en el tercer grupo se encuentran las especies *S. albicans* O. y *S. albornozii* C. (Figura 34). Esta estructuración está relacionada con las características morfológicas evaluadas anteriormente, sin embargo, las especies *S. albicans* O. y *S. albornozii* C. son las que menos características comparten con las otras cuatro especies y esto posiblemente está relacionado con el tamaño, ya que, las semillas de *S. albicans* O. y *S. albornozii* C. fueron más largas (2148.16 y 2066.26 μm) y más anchas (1611.63 y 1545.37 μm) respectivamente, además, las semillas de las dos especies presentaron color marrón grisáceo.

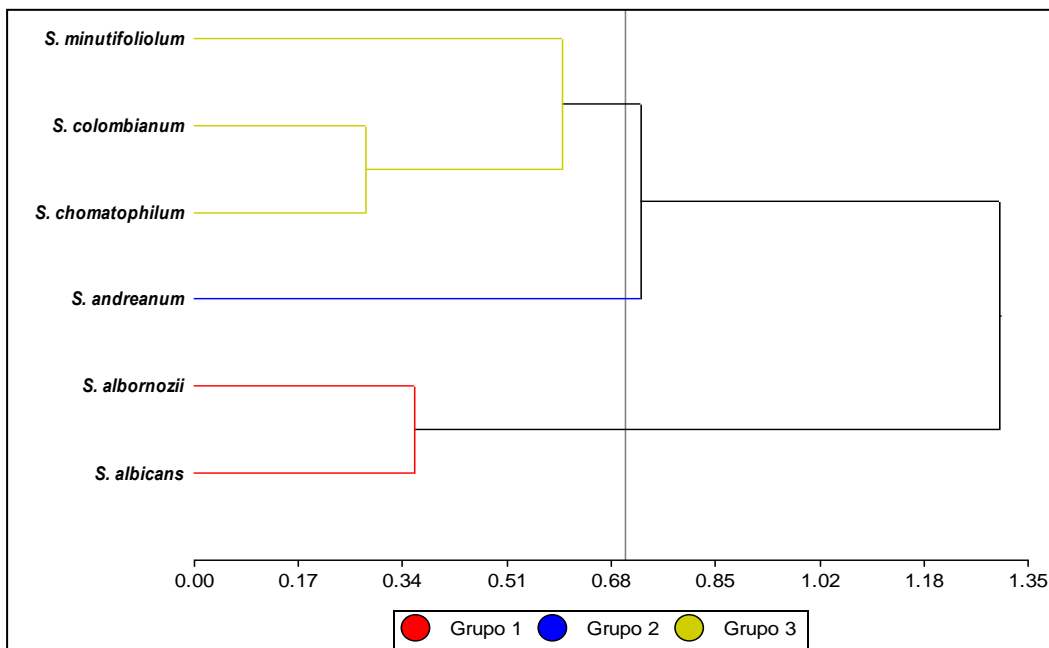


Figura 34. Análisis de conglomerados de la morfometría de la semilla botánica de papa

4.2. Germinación de la semilla botánica de papa silvestre

Los resultados de la fase experimental permitieron determinar la viabilidad de la semilla botánica de las seis especies silvestres de papa mediante pruebas de germinación.

4.2.1. Primera etapa de germinación

En esta etapa se utilizó únicamente el agar como sustrato y seis especies silvestres disponibles en el Banco Nacional de Germoplasma sometidas a tres temperaturas (5, 15 y 25 °C).

4.2.1.1. Porcentaje de germinación

Los resultados de la variable porcentaje de germinación indican que existe interacción entre especie, temperatura y número de días a la germinación ($F=5.81$; $gl=10,70$; $p<0.0001$), también, presentó efecto entre temperatura y días a la germinación ($F=82.53$; $gl=2,70$; $p<0.0001$). Además, para los factores especie y temperatura existe interacción ($F=4.23$; $gl=10,70$; $p=0.0001$) por el contrario, para la especie y días a la germinación no hubo efecto ($f=1.23$; $gl=5,70$; $p=0.3038$) (Tabla 14).

Tabla 14

Análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación

Fuentes de variación	gl.FV	gl.E.E	F	P
Especie	5	70	11.43	<0.0001
Temperatura	2	70	254.28	<0.0001
Días a la germinación	1	70	140.28	<0.0001
Especie: Temperatura	10	70	4.23	0.0001
Especie: días a la germinación	5	70	1.23	0.3038
Temperatura: días a la germinación	2	70	82.53	<0.0001
Especie: Temperatura: días a la germinación	10	70	5.81	<0.0001

La figura 35 representa la interacción entre el porcentaje de germinación y la temperatura a la cual fueron sometidas las diferentes semillas botánicas de papa silvestres. Así, a una temperatura de 5°C, ninguna de las especies germinó (0% germinación), por el contrario, a 15°C presentaron los siguientes porcentajes de germinación: *S. albicans* O. y *S. minutifoliolum* C. (67%), *S. albornozii* C. (80%), *S. andreanum* B. (93%), *S.*

chomatophilum B. y *S. colombianum* D. (100%). En cambio, a 25°C, las semillas de tres especies como *S. albornozii* C., *S. colombianum* D. y *S. minutifolium* C. germinaron en un porcentaje de 7%, 53% y 20% respectivamente y el resto de las especies: *S. albicans* O., *S. andreanum* B. y *S. chomatophilum* B. no germinaron.

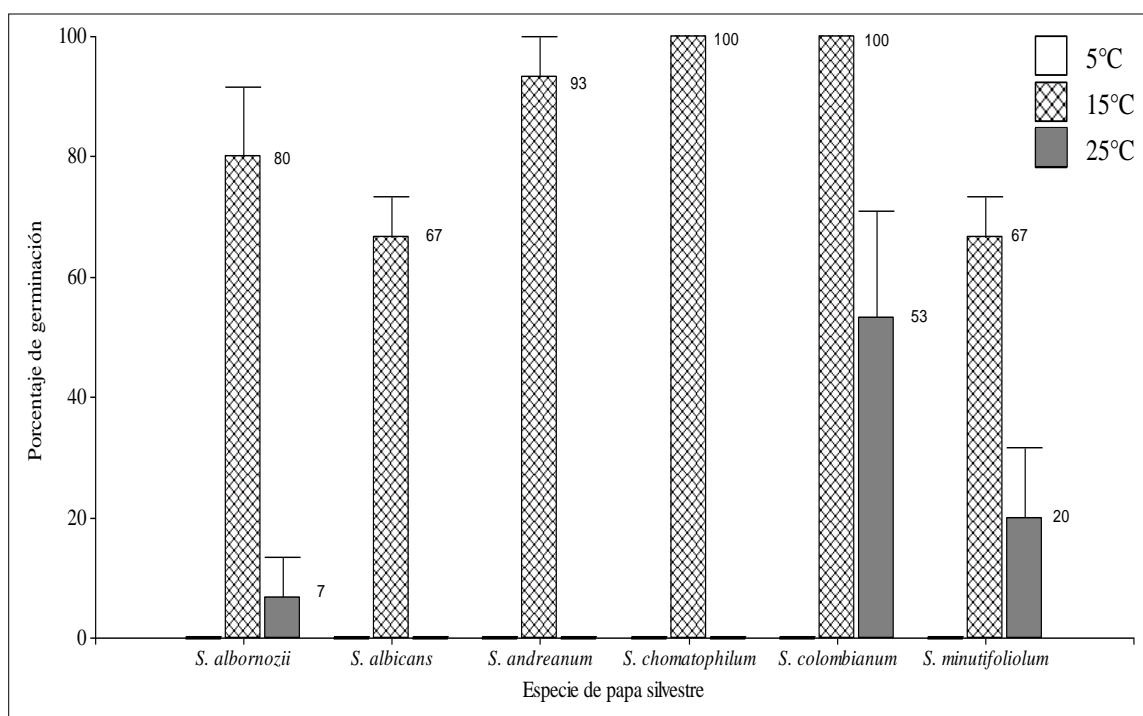


Figura 35. Porcentaje de germinación de especies silvestres de papa sometidas a 5, 15 y 25 °C

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Monteros et al. (2003), quienes muestran que las temperaturas de 15°C y 20°C fueron las temperaturas óptimas para la germinación de las semillas sexuales de *Solanum phureja* Juz. & Buk. presentando un porcentaje de 80%; mientras que las semillas expuestas a una temperatura mayor de 25 °C presentaron germinación del 10 % al cabo de 14 días. Es importante mencionar que *Solanum phureja* Juz. & Buk. corresponde a una especie cultivada de papa, comúnmente conocida en nuestro medio como papa *chaucha* y que actualmente está clasificada como *S. tuberosum* diploide. Steinbauer (1957) afirma que, a una temperatura constante de 25°C existen porcentajes significativamente más bajos de germinación y desarrollo de las plántulas de papa.

Por su parte, Prieto et al. (2001) sugieren que, en semillas de especies silvestres expuestas a una temperatura baja (<10°C), se reduce significativamente el porcentaje de germinación o se inhibe la emergencia de las plántulas. Es así que la temperatura es un factor crucial,

las bajas temperaturas afectan las tasas metabólicas y disminuyen los procesos básicos en el desarrollo del embrión haciendo que sean más lentos o dejen de ocurrir (Hendricks y Taylorson, 1976). Por el contrario, las temperaturas altas provocan que la semilla sea incapaz de germinar sufriendo termoinhibición (De la Cuadra, 1993), inducen a la dormancia del embrión, restricción del intercambio gaseoso, afectando así los procesos metabólicos de la semilla e incluso daños irreparables en las semillas (Butler, Celen, Webb, Krstic y Interrante, 2014).

4.2.1.2. Relación de características morfométricas y porcentaje de germinación

Con respecto a la interacción de las características morfométricas y el porcentaje de germinación, Cordazzo (2002) menciona que un factor importante que afecta la germinación, alargamiento y el crecimiento de plántulas, es el peso y tamaño de la semilla. La presente investigación reflejó que las semillas con menor tamaño como *S. chomatophilum* B. presentaron un 100% de germinación, a diferencia de las semillas grandes como *S. albicans* O. que presentaron un 66% de germinación.

Lo antes expuesto, se contrapone a lo mencionado por Cochran (1974), Zúñiga (1988) y Carrillo et al. (2009) quienes observaron que semillas grandes de pimiento morrón, chile serrano o chile de agua (*Capsicum annuum* L.) presentaron mayor porcentaje de germinación y, por ende, produjeron plántulas más vigorosas en contraste con las semillas pequeñas.

Con respecto al peso, las semillas que presentaron menor peso como *S. albornozii* C. y *S. andreanum* B. tuvieron un porcentaje de germinación mayor entre 80 a 93% en comparación con las semillas de mayor peso como *S. minutifolium* C. y *S. albicans* C. que tuvieron un 66% de germinación. De la misma manera que con el tamaño, los resultados son contradictorios con Willenborg, Wildeman, Miller, Rossnagel y Shirliffe (2005) y Prado-Urbina et al. (2015), quienes indican que existe una relación positiva entre el peso de las semillas y la germinación, es decir que, a mayor peso de las semillas, su velocidad de germinación y vigor es mayor.

Por otro lado, Delgado, Serrano, López y Acosta (2008) y Kosinski (2008), señalan una relación negativa entre el peso de la semilla y la germinación, pero indican que los resultados pueden variar según la especie, ya que, el peso de la semilla varía ampliamente entre poblaciones y entre o dentro de una planta individual, afectando el porcentaje y velocidad de germinación. De acuerdo con Hernández-Verdugo et al. (2010), la relación positiva o negativa del peso en la germinación puede deberse en gran parte a las condiciones del ambiente de crecimiento de las plantas madre durante el desarrollo de las semillas, aspectos que deben ser evaluados en semillas silvestres, semi domesticadas, ya que, son fuentes importantes de genes para garantizar la seguridad alimentaria.

4.2.1.3. Tamaño de radícula e hipocótilo

El análisis estadístico correspondiente a la variable del tamaño de la radícula e hipocótilo indican, que existe interacción entre especie, temperatura y parte de la plántula ($f=1.91$; $gl=10,502$; $p=0.0412$) como para los factores especie y temperatura ($f=1.66$; $gl=5,334$; $p<0.0001$). Por el contrario, no se encuentra efecto entre la temperatura y parte de la plántula ($f=1.91$; $gl=2,502$; $p=0.1615$) de la misma manera entre la especie y la parte de la plántula ($f=0.81$; $gl=5,502$; $p=0.5426$). Sin embargo, no existe diferencia significativa de la parte de la plántula ($f=0.23$; $gl=1,502$; $p=0.6311$), al contrario, de forma independiente tanto la temperatura como la especie presentan diferencias estadísticas significativas (Tabla 15).

Tabla 15

Análisis de varianza para la variable tamaño de radícula e hipocótilo

Fuentes de variación	gl.FV	gl.E.E	F	P
Especie	5	502	38.50	<0.0001
Temperatura	2	502	586.90	<0.0001
Parte de la plántula	1	502	0.23	0.6311
Especie: Temperatura	10	502	21.78	<0.0001
Especie: Parte de la plántula	5	502	0.81	0.5426
Temperatura: Parte de la plántula	2	502	1.83	0.1615
Especie: Temperatura: Parte de la plántula	10	502	1.91	0.0412

En la figura 36 se observa que el crecimiento de la radícula y el hipocótilo expuestos a una temperatura de 15°C, tuvieron mejores resultados, ya que, fue la temperatura óptima para

la germinación. Por ejemplo, las semillas de *S. colombianum* D. presentaron mayor longitud de hipocótilo de 3.17 cm y radícula de 2.56 cm a diferencia de *S. albornozii* O. que presentó menor tamaño de hipocótilo de 0.80 cm y radícula de 0.95 cm. Además, se observa que dos de las seis especies muestran cierta respuesta al aumento de temperatura (25°C) como: *S. colombianum* D. que presentó hipocótilo de 0.37 cm y radícula de 0.73 cm y *S. minutifolium* C. con hipocótilo de 0.02 cm y radícula de 0.05 cm.

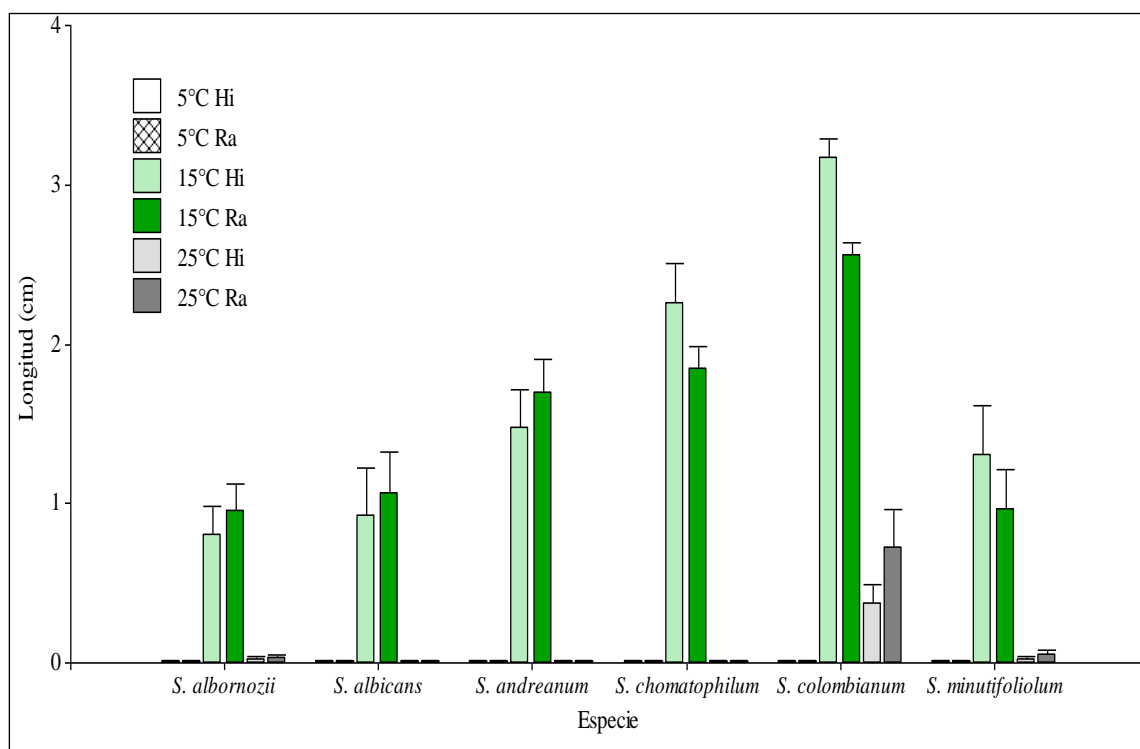


Figura 36. Tamaño de radícula e hipocótilo de las especies silvestres de papa
Nota: Ra = radícula, Hi = hipocótilo

Los resultados para la variable tamaño de radícula e hipocótilo, coinciden con los datos expresados por Morales, Rodríguez, Dell'Amico, Torrecillas y Sánchez-Blanco (2006) quienes indican que el crecimiento de los órganos de la planta de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) como radícula, tallo, hojas, entre otros, se ve afectado por el incremento de la temperatura (>25°C). Igualmente, Florido y Álvarez (2015) mencionan que, las plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) se desarrollan a temperaturas óptimas entre 15°C y 24°C, por el contrario, a temperaturas altas se disminuye el crecimiento radicular. Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto (2017) señalan que, las altas temperaturas inhiben el crecimiento del tallo y la raíz.

4.2.2. Segunda etapa de germinación

Las especies que presentaron menor porcentaje de germinación en la primera etapa como *S. minutifoliolum* C. y *S. albicans* O. con 66.67% y *S. albornozii* C. con 80%, en la segunda etapa, se sometieron a estimulantes químicos como el ácido giberélico y el nitrato de potasio con el objetivo de incrementar el porcentaje de germinación.

4.2.2.1. Porcentaje de germinación

El análisis de varianza de la variable porcentaje de germinación muestra que no existe interacción entre la especie y el estimulante de germinación ($f=1.23$; $gl=10,34$; $p=0.3059$). Pero, para los factores estimulante de germinación y especie existe diferencias significativas con los siguientes valores respectivamente ($f=3.07$; $gl=5,34$; $p=0.0217$), ($f=6.17$; $gl=2,34$; $p=0.0052$) (Tabla 16).

Tabla 16

Análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación

Fuentes de variación	gl.FV	gl.E.E	F	P
Especie	2	34	6.17	0.0052
Estimulante de germinación	5	34	3.07	0.0217
Especie: Estimulante de germinación	10	34	1.23	0.3059

Con respecto al estimulante químico utilizado en la segunda etapa (Figura 37), el ácido giberélico con dosis de 0.6 g/l promovió hasta el 93% del porcentaje de germinación en *S. albicans* O. reflejando un incremento de 26% en relación a la primera etapa. Además, *S. albornozii* C. presentó el 100% de germinación al utilizar el ácido giberélico con dosis de 0.2 y 0.4 gr/l demostrando un aumento de 20% en referencia a la primera etapa. Finalmente *S. minutifoliolum* C. mostró el 93% de germinación sometidas al ácido giberélico con dosis de 0.6 g/l, lo que indica un incremento de 26% de germinación referente a la primera etapa representado anteriormente en la Figura 35.

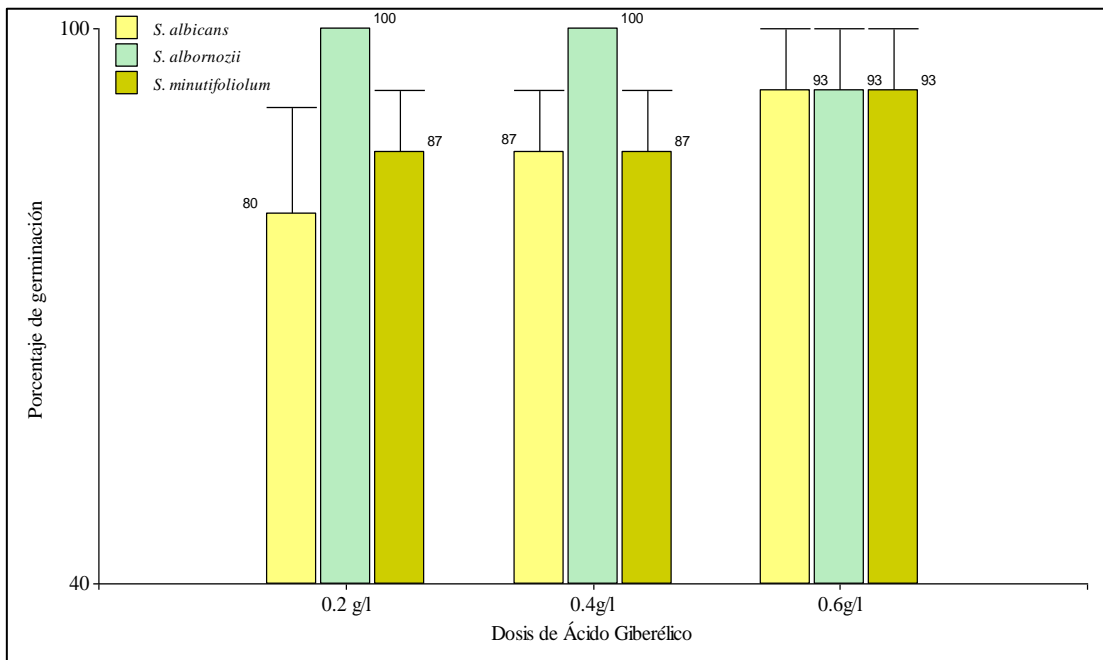


Figura 37. Porcentaje de germinación de tres especies silvestres de papa sometidas al ácido giberélico.

De la misma manera, el nitrato de potasio con dosis de 0.4 g/100ml promovió el 100% del porcentaje de germinación en *S. albicans* O., reflejando un incremento de 33% en relación a la primera etapa. Además, *S. albornozii* C. presentó el 100% de germinación al utilizar el nitrato de potasio de 0.2 g/100ml demostrando un aumento de 20% en referencia a la primera etapa. Finalmente *S. minutifolium* C. mostró el 87% de germinación con nitrato de potasio con dosis de 0.2 y 0.4 g/100ml, lo que indica un incremento de 20% de germinación referente a la primera etapa (Figura 38). Sin embargo, la dosis menos eficiente fue de 0.6g/100ml con 60% de germinación.

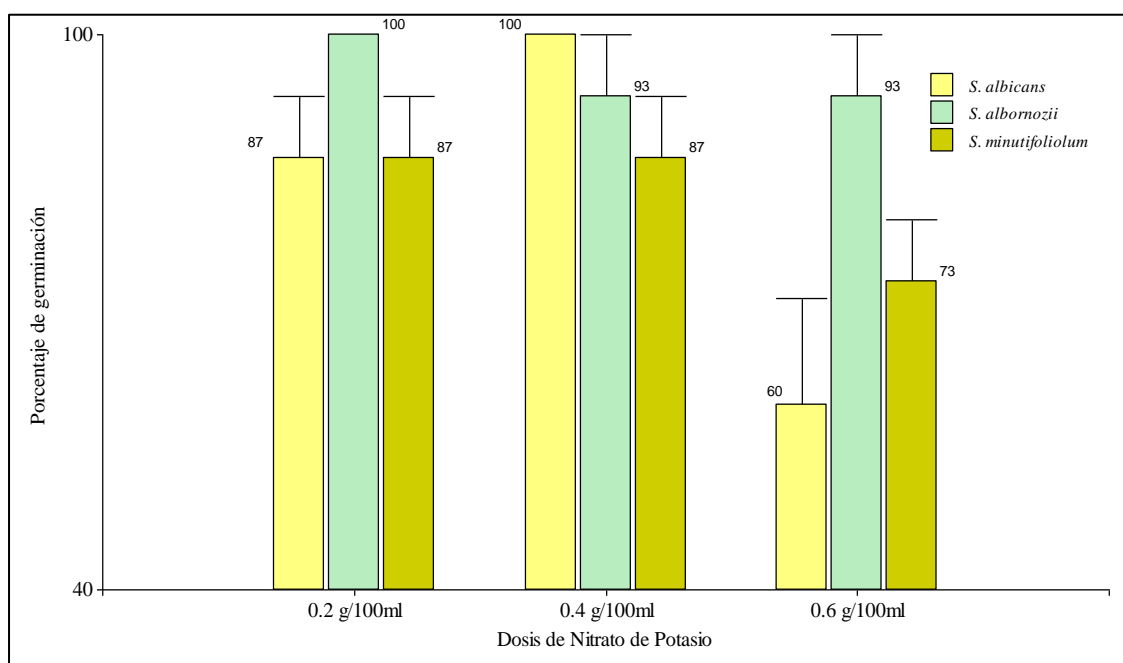


Figura 38. Porcentaje de tres especies silvestres de papa sometidas al nitrato de potasio.

Con lo antes expuesto, se observa que estadísticamente el ácido giberélico no presentó diferencias significativas entre sus dosis con respecto al incremento del porcentaje de germinación. Esto concuerda, con los resultados obtenidos en un estudio en semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). El análisis estadístico demostró que el ácido giberélico con dosis de 0.2, 0.4, 0.6 g/l tuvo uniformidad en el porcentaje de germinación presentando un 100% en comparación con el testigo con 91.6% (Fraile-Robayo et al., 2012).

Con la aplicación de nitrato de potasio, se registraron que hubo diferencias significativas entre tratamientos, con aumento de 67% a 100% del porcentaje de germinación con dosis de 0.2 y 0.4 g/100ml. Lo que coincide con el estudio de Andrade y Laurentin (2015) en la evaluación de semillas de ají dulce (*Capsicum chinense* J.) con dosis de 0.2 y 0.4 g/100 ml que presentaron resultados positivos para el porcentaje de germinación, con un incremento de 14% a 58%.

Por su parte, Cano-Vázquez et al. (2015) mencionan que los tratamientos pregerminativos presentan un efecto positivo en el incremento del porcentaje de germinación, por ello, el estudio realizado en Chile piquín (*Capsicum annuum* L.) demostró que el pre-acondicionamiento con ácido giberélico (5 g/l) aumentó el porcentaje de germinación de

33% a 82%. Así, el ácido giberélico a concentraciones altas no resulta tóxico para la semilla, además, el nitrato de potasio tuvo un escaso efecto promotor en la germinación de semillas con una dosis de 0.2 g/100 ml.

4.2.2.2. Tamaño de radícula e hipocótilo

El análisis estadístico correspondiente a la variable tamaño de radícula e hipocótilo indican, que no existe interacción entre especie, estimulante y parte de la plántula ($f=0.56$; $gl=10,502$; $p=0.8440$) como, para el estimulante y parte de la plántula ($f=1.20$; $gl=5,502$; $p=0.3065$). Sin embargo, existe interacción entre la especie y la parte de la plántula ($f=7.88$; $gl=2,502$; $p=0.0004$) así también, entre la especie y el estimulante ($f=2.07$; $gl=10,502$; $p=0.0252$). Además, de forma independiente tanto la parte de la plántula, el estimulante y la especie presentan diferencias significativas (Tabla 17).

Tabla 17

Análisis de varianza para la variable tamaño de radícula e hipocótilo

Fuentes de variación	gl.FV	gl.E.E	F	P
Especie	2	502	24.15	<0.0001
Estimulante químico	5	502	9.27	<0.0001
Parte de la plántula	1	502	52.18	<0.0001
Especie: Estimulante químico	10	502	2.07	0.0256
Especie: Parte de la plántula	2	502	7.88	0.0004
Estimulante químico: Parte de la plántula	5	502	1.20	0.3065
Especie: Estimulante químico: Parte de la plántula	10	502	0.56	0.8440

En la figura 39 se observa, que *S. albicans* O. presenta el mayor tamaño de hipocótilo con 2.32 cm, en segundo lugar *S. minutifolium* C. con 1.88 cm y el menor tamaño es de *S. albornozii* C. con 1.85 cm. Además, el mayor tamaño de radícula presentó *S. albicans* O. con 1.82 cm en segundo lugar *S. albornozii* C. con 1.58 cm y el menor tamaño de radícula lo presentó *S. minutifolium* C. con 0.81 cm.

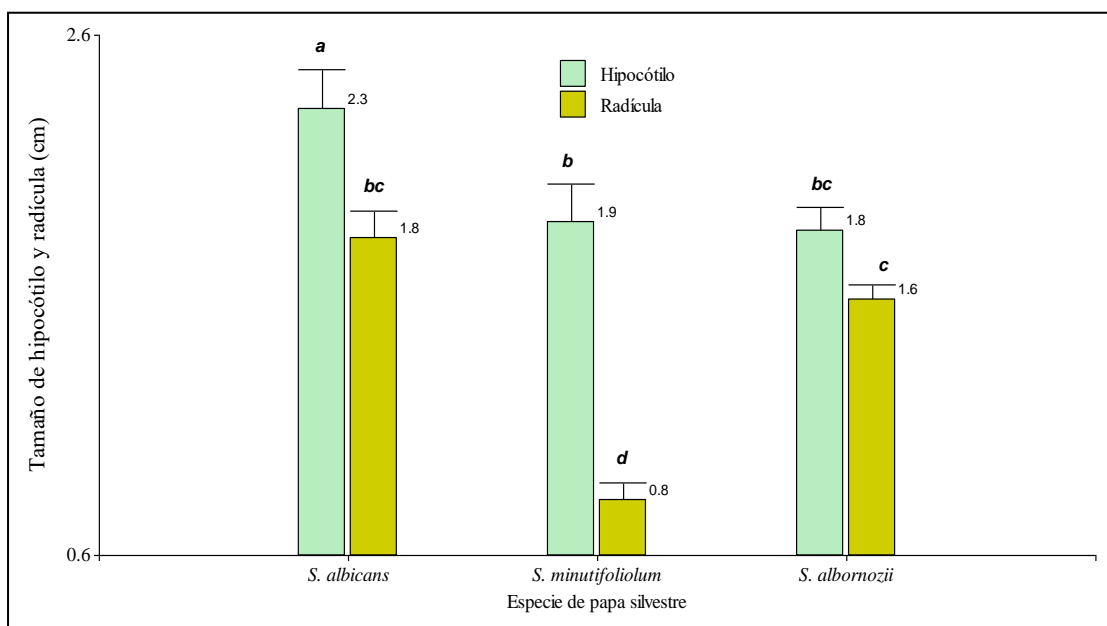


Figura 39. Tamaño de radícula e hipocótilo de tres especies silvestres de papa

Respecto al efecto del estimulante químico en el tamaño de hipocótilo y radícula, se observa que *S. albicans* O. presentó mayor longitud promedio con 2.70 cm, lo que implica que con la incorporación de ácido giberélico de 0.6 g/l la longitud se incrementó 1.56 cm respecto a la primera etapa. Por su parte, *S. albornozi* C. presentó longitud promedio de radícula e hipocótilo de 2.20 cm, con el ácido giberélico de 0.4g/l, así, la longitud incrementó 0.42 cm respecto a la primera etapa. Finalmente, *S. minutifolium* C. presentó longitud promedio de 1.70 cm al utilizar nitrato de potasio de 0.4 g/100 ml con un incremento de 0.45 cm con respecto a la primera etapa de germinación (Figura 40).

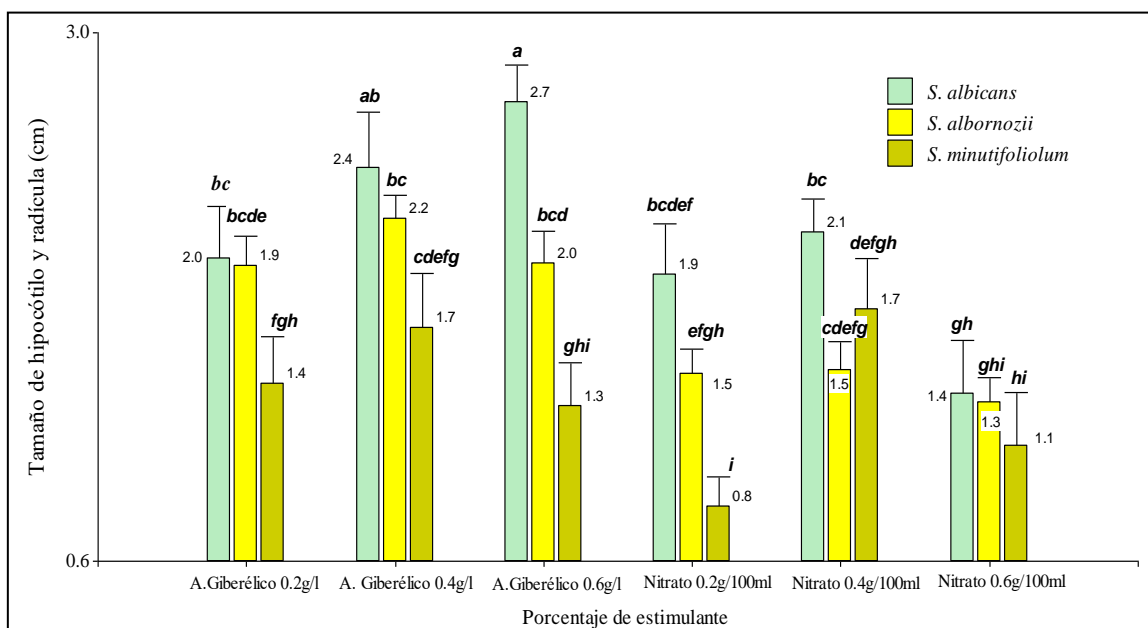


Figura 40. Tamaño de radícula e hipocótilo expuesto a los estimulantes de germinación

Los resultados anteriormente mencionados, coinciden con Fraile-Robayo et al. (2012), quienes mencionan que, el ácido giberélico de 0.6 g/l tuvo mayor efecto en la longitud de la radícula y de 0.4 g/l presentó mayor tamaño de hipocótilo en semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Además, en plántulas de cocona (*Solanum sessiliflorum* D.) se observó que el ácido giberélico utilizado previamente en las semillas promovió mayor altura de hipocótilos, al contrario, de las plántulas sometidas a nitrato de potasio, que mostraron menor tamaño de hipocótilos (Moreno, 2012).

Los estimulantes de germinación no son universales para todas las especies, por lo que pueden funcionar para algunas de un género, pero no necesariamente funcionará para todas. Así, en la presente investigación, el mayor efecto tanto en el porcentaje de germinación, como en el tamaño de radícula e hipocótilo fue al utilizar el ácido giberélico. De esa manera, se podría decir que el ácido giberélico, intervino en la activación de proteínas que degradan el endospermo de la semilla, lo que permite la movilización de reservas hacia el embrión (Cano-Vázquez et al., 2015).

Además, el ácido giberélico no solo actúa a nivel de semilla sino en el desarrollo de las plántulas. Por ejemplo, estimula el crecimiento del tallo mediante la división y elongación celular, regula la transición de la fase juvenil a la fase adulta, influyen en la iniciación floral

y promueve el crecimiento del fruto (Srivastava, 2002). Con la utilización del ácido giberélico previamente en la semilla, se mejora el porcentaje de germinación y se obtiene plántulas vigorosas, aumentando la viabilidad. Esto, beneficiaría la conservación *ex situ* de las especies silvestres de papa, ya que, sus semillas se podrían sembrar en campo o en invernadero con el fin de obtener plantas completas de las cuales se tomarán yemas o meristemas que fácilmente se podría multiplicar *in vitro* y, de esa manera, se aseguraría la conservación de la diversidad (Jaramillo y Baena, 2000).

4.3. Caracterización ecogeográfica de seis especies silvestres de papa en Ecuador

Los resultados expresados dentro de la fase descriptiva permitieron observar la frecuencia y los lugares donde se desarrollan las ocho especies silvestres de papa.

4.3.1. *Solanum albicans* O.

4.3.1.1. Variabilidad bioclimática y geofísica de *S. albicans* O. a nivel nacional

La variabilidad bioclimática y geofísica está representada por variables como precipitación, temperatura y elevación, los cuales dan una referencia de los rangos de adaptación de la especie a nivel de Ecuador. Así a través de los estadísticos descriptivos se aprecia que la variable temperatura mínima de julio presentó el CV alto (30.78%), la estacionalidad de la precipitación varió entre 44 y 53 mm, la estacionalidad de temperatura osciló entre 23.7 y 33.5 °C. Además, el rango de temperaturas diurnas fluctuó entre 9.3 y 9.6 °C, la precipitación del cuarto más frío y del cuarto más seco varió de 55.0 y 85.0 mm y la elevación varió entre 2965 y 3800 msnm (Tabla 18).

Tabla 18

Variables bioclimáticas y geofísicas de S. albicans O. en Ecuador

Variable	Media	Desviación Estándar	Coficiente/variación	Mínimo	Máximo
Bioclimáticas					
Estacionalidad de precipitación (mm)	48	3.68	7.67	44.0	53.0
Estacionalidad de temperatura (°C)	26.83	3.93	14.64	23.7	33.5
Precipitación cuarto frío (mm)	70.26	11.9	16.93	55.0	85.0
Precipitación cuarto seco (mm)	70.26	11.9	16.93	55.0	85.0
Precipitación enero (mm)	65.26	1.65	2.52	64.0	68.0
Precipitación febrero (mm)	98.01	1.41	1.44	96.0	100.0
Precipitación marzo (mm)	106.27	1.92	1.81	104.0	109.0
Precipitación junio (mm)	29.25	4.93	16.86	23.0	35.0
Precipitación septiembre (mm)	43.51	3.52	8.08	40.0	49.0
Rango medio de temperaturas diurnas (°C)	9.4	0.12	1.3	9.3	9.6
Temperatura máxima noviembre (°C)	11.57	0.47	4.06	11.0	12.3
Temperatura máxima diciembre (°C)	11.45	0.48	4.21	10.9	12.2
Temperatura máxima junio (°C)	10.45	0.47	4.51	10.0	11.2
Temperatura máxima julio (°C)	10.17	0.54	5.26	9.7	11.0
Temperatura máxima agosto (°C)	10.32	0.52	5.05	9.8	11.1
Temperatura mínima julio (°C)	12.22	3.76	30.78	8.0	18.0
Geofísica					
Elevación (msnm)	3898	69.05	1.77	3800	3965

4.3.1.2. Variabilidad edáfica para *S. albicans O.*

Dentro de las variables edáficas, la variable textura de suelo representó el 75% (tres accesiones) con textura franco-limosa y el 25% (una accesión) con franco-arenosa. En cuanto a la saturación de bases, el 75% (tres accesiones) se encuentran en suelos ácidos (<50%) y el 25% (una accesión) en suelos medios (50-90%). Además, el 75% (tres accesiones) se colectaron en suelos con alto contenido de carbón orgánico (>5.0%) y el 25% (una accesión) en suelos con bajo contenido de carbón orgánico (<3.0%) con respecto a la Sierra. También, el 75% (tres accesiones) se encontraron en suelos ácidos (pH entre 4.5 y 5.5) y el 25% (una accesión) en suelos ligeramente ácidos (pH entre 6.0 y 6.5) (Figura 41). Las accesiones se desarrollaron en suelos profundos y en suelos con grava fina.

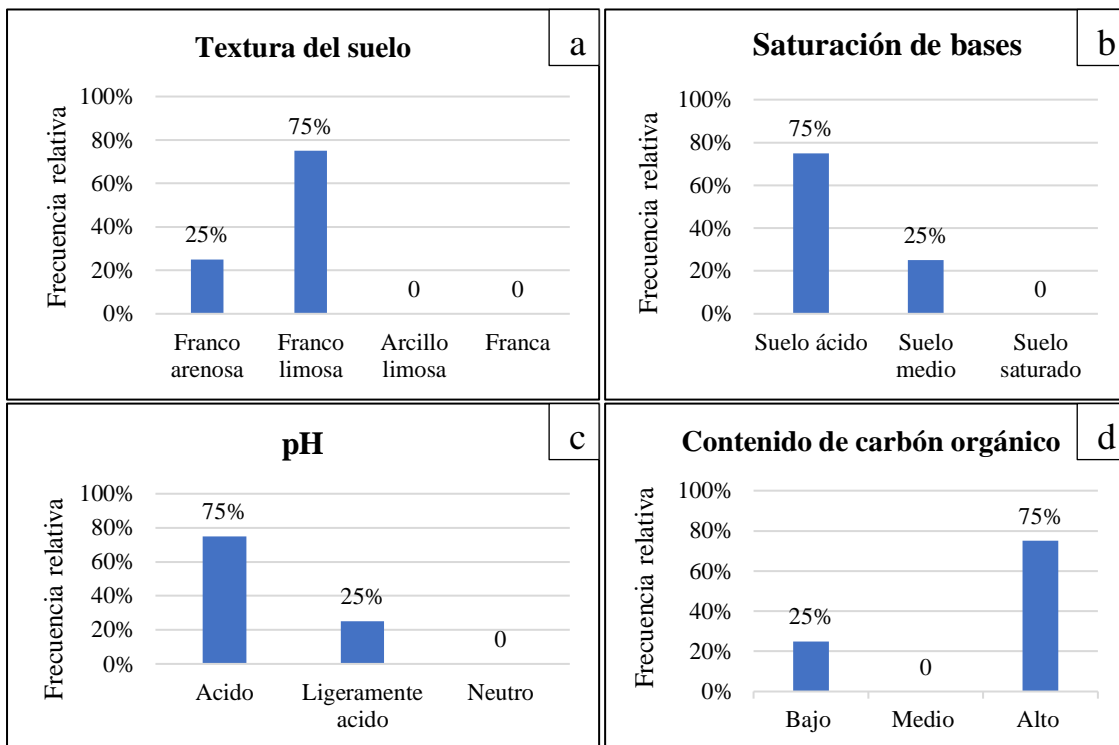


Figura 41. Variabilidad edáfica de cuatro variables cualitativas de *S. albicans* O. en Ecuador. **a.** Textura del suelo, **b.** Saturación de bases, **c.** pH, **d.** Carbón orgánico

Las afinidades entre las cuatro accesiones basadas en las 32 variables ecogeográficas dan lugar a tres grupos (Figura 42). El grupo uno se diferencia por estacionalidad de precipitación de 45 mm, estacionalidad de temperatura de 24.7°C, carbón orgánico alto, pH ácido y textura franco-limosa. El grupo dos está influenciado por estacionalidad de temperatura de 43.6°C, estacionalidad de precipitación 43.4 mm, contenido de carbón orgánico alto, pH ácido. El grupo tres se diferencia por estacionalidad de precipitación de 44 mm, estacionalidad de temperatura de 33.5°C, carbón orgánico bajo, pH ligeramente ácido y textura franco-arenoso.

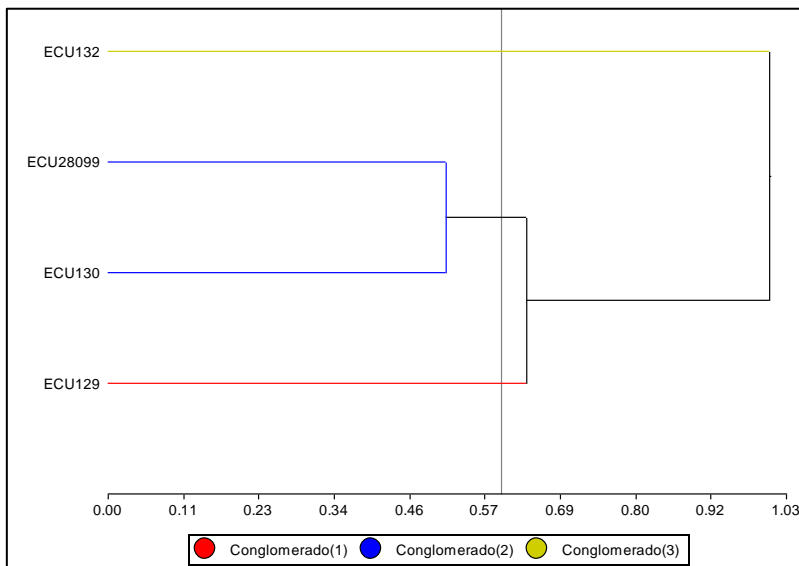


Figura 42. Agrupamiento de las accesiones de *Solanum albicans* O.

4.3.1.3. Categoría ecogeográfica para *Solanum albicans* O.

De las colectas realizadas en *S. albicans* O. las accesiones se ubicaron en tres categorías ecogeográficas (Figura 43). Siendo la más frecuente la categoría tres con 1.43%, que se caracteriza por presentar una estacionalidad de temperatura de 35.3°C, estacionalidad de precipitación de 39.1mm, pH del suelo de 5.5 y contenido de carbón orgánico de 3.2%, representados en el mapa ELC (Figura 44).

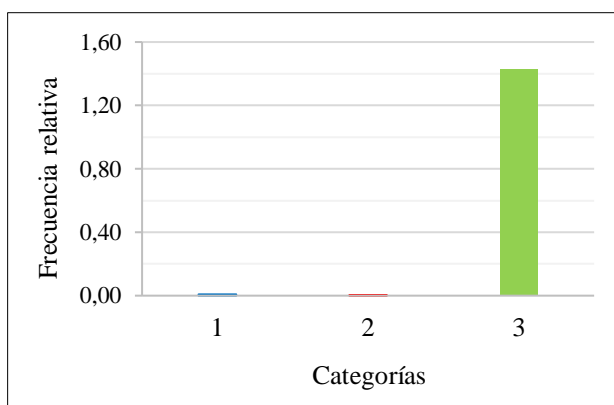


Figura 43. Frecuencias de categorías ecogeográficas basado en datos bioclimáticos, edáficos y geofísicos

A continuación se presenta el mapa ELC, basado en condiciones bioclimáticas, edáficas y geofísicas.

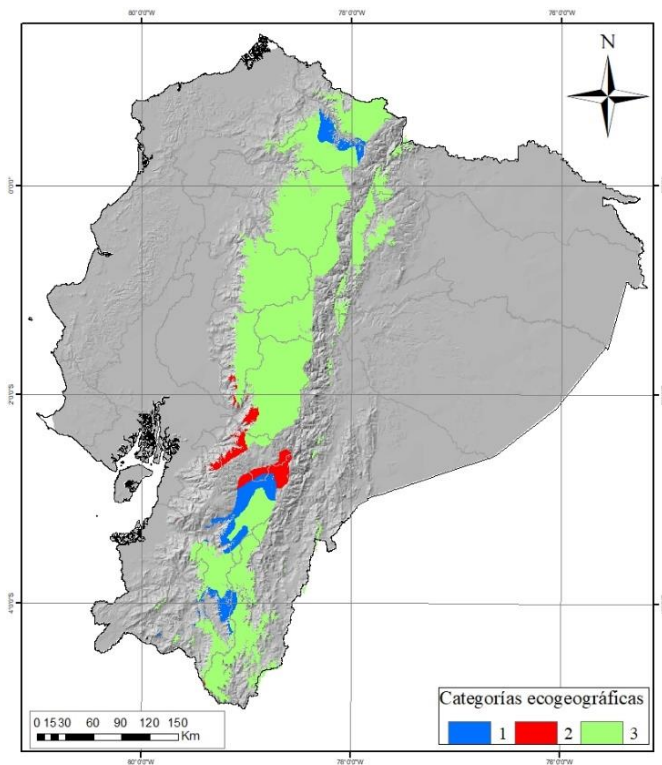


Figura 44. Mapa ELC de caracterización ecogeográfica de *Solanum albicans* O. en Ecuador

Con los datos obtenidos anteriormente, se concluye que *S. albicans* O. se encuentran en altitudes que van entre 3 816 a 4 101 msnm, crecen en suelos profundos, con textura franco-limosa, franco-arenosa, de grava fina, contenido de carbón orgánico alto, un pH ácido entre 4.5 y 5.5 y un rango de temperatura entre 9.3 y 9.6°C. Estos datos concuerdan con Ochoa (1999), quien menciona que, en Perú se encuentra en altitudes entre 3700 y 4150 msnm, en suelos negros, con material granítico, con textura arcillo-arenoso. Además, en Argentina se distribuye en altitudes superiores a 3867 msnm (Kozub et al., 2019), con características como: suelos pedregosos, arenosos y profundos, con temperaturas medias entre 15 a 19°C, en suelos ácidos a ligeramente ácidos (Clausen, Ispizua, Atencio, Calandroni y Digilio, 2018).

Las especies se distribuyen en un territorio según su adaptabilidad al ambiente (Tapiabastidas, 2015), por ello, se observó que *Solanum albicans* O. podría crecer en varios ecosistemas según lo reflejado por las tres categorías ecogeográficas basadas en las condiciones bioclimáticas, edáficas y geofísicas representadas en el mapa ELC. Así, mediante un mapa de zonas de vida y la información de los puntos GEOQUAL, se observó

que las cuatro accesiones se encontraron distribuidas en dos ecosistemas, como el bosque muy húmedo montano y bosque muy húmedo subalpino según los datos de georreferenciación. Pero esto podría cambiar, ya que, el análisis se realizó solo con la información de cuatro accesiones de *S. albicans* O. si existiera mayor número de colectas y por ende mayor información de los puntos de georreferenciación esta especie también se podría observar en otros ecosistemas.

Cada categoría ecogeográfica difiere una de otra por las condiciones bioclimáticas, edáficas y geofísicas; la categoría tres con mayor frecuencia se distribuye en un 99% en la región interandina del Ecuador desde la provincia de Carchi hasta la provincia de Loja. Sin embargo, esta categoría se observa presente en las estribaciones hacia las provincias de Napo y Zamora Chinchipe, esto podría ocurrir porque las dos provincias tienen un 50% de su territorio dentro de la cordillera oriental de los andes con una altitud alrededor de 3050 msnm (MAE, 2018). Esta altitud está dentro del rango de 3816 a 4101 msnm en los que se desarrollaría *S. albicans* O. de esa manera, se puede concluir que la categoría tres es el territorio que representa más escenarios favorables para la colecta y se podría determinar sitios posibles donde se podría desarrollar.

Por el contrario, la categoría uno presenta estacionalidad de precipitación de 41.2 mm, rango medio de temperaturas diurnas de 10.6 °C, pH de 7.9, del mismo modo, la categoría dos presenta estacionalidad de precipitación de 43.4 mm, rango medio de temperaturas diurnas de 10.4°C, pH de 5.8. Estas categorías con menor frecuencia pueden ser inadecuadas para la colecta de *S. albicans* O. en primera opción, sin embargo podrían ser puntos clave para encontrar otro tipo de variabilidad.

4.3.2. *Solanum albornozii* C.

4.3.2.1. Variabilidad bioclimática y geofísica de *S. albornozii* C. en Ecuador

Dentro de las 13 accesiones de *S. albornozii* C. se analizaron 17 variables entre geofísicas y bioclimáticas. Así a través de los estadísticos descriptivos se aprecia que la variable precipitación del cuarto más frío presentó el CV más alto (26.92%), la estacionalidad de la

precipitación varió entre 32 y 48 mm, la estacionalidad de la temperatura osciló entre 26.9 y 42.9°C. También, la precipitación del cuarto más seco fluctuó entre 81 y 177 mm, mientras que, el rango de temperaturas varió entre 9.4 y 10.3°C, la temperatura más alta fue en el mes de noviembre con 19.3°C y la más baja fue en el mes de julio con 8.19°C (Tabla 19).

Tabla 19
Variables bioclimáticas y geofísicas de S. albornozii C. en Ecuador

Variable	Media	Desviación Estándar	Coficiente/variación	Mínimo	Máximo
Bioclimáticas					
Estacionalidad de precipitación (mm)	38.58	6.11	15.83	32	48
Estacionalidad de temperatura (°C)	33.59	5.85	17.41	26.9	42.9
Precipitación cuarto frío (mm)	150.67	40.56	26.92	83	191
Precipitación cuarto seco (mm)	140.43	35.92	25.58	81	177
Precipitación enero (mm)	90.73	11.16	12.3	72	106
Precipitación febrero (mm)	124.88	15.18	12.15	99	149
Precipitación marzo (mm)	136.76	16.67	12.19	108	165
Precipitación junio (mm)	54.84	13.58	24.76	32	68
Precipitación septiembre (mm)	44.59	8.94	20.06	30	54
Rango medio de temperaturas diurnas (°C)	9.84	0.25	2.55	9.4	10.3
Temperatura máxima noviembre (°C)	19.32	1.26	6.51	17.6	21.1
Temperatura máxima diciembre (°C)	19.30	1.27	6.57	17.6	21.1
Temperatura máxima junio (°C)	17.91	1.28	7.13	16,0	19.5
Temperatura máxima julio (°C)	17.61	1.28	7.26	15.7	19.2
Temperatura máxima agosto (°C)	17.83	1.31	7.34	15.9	19.5
Temperatura mínima julio (°C)	8.19	1.07	13.05	6.8	9.7
Geofísica					
Elevación (msnm)	2688.37	179.24	6.67	2430	2902

4.3.2.2. Variabilidad edáfica para *S. albornozii C.*

Dentro de las variables edáficas, el 84% (11 accesiones) se desarrollan en suelos con textura franco-arenosa y el 16% (dos accesiones) en textura franca. Además, el 84% (11 accesiones) se encuentran en suelos moderadamente calcáreos (2-5%) y el 16% (dos accesiones) en suelos no calcáreos (>0.5%), el 84% (11 accesiones) se desarrollan en suelos con grava gruesa y el 16% (dos accesiones) en suelos de grava fina. También, el 84% (11 accesiones) se desarrollan en suelos saturados (>90%) y el 16% (dos accesiones) en suelos ácidos (<50%). Igualmente, el 84% (11 accesiones) se encontraron en suelos ligeramente

ácidos (pH entre 6.0 y 6.5) y el 16% (dos accesiones) en suelos ácidos (pH entre 4.5 y 5.5) (Figura 45). Por otra parte, se encuentran en suelos con contenido de carbón orgánico medio y en suelos moderadamente profundos.

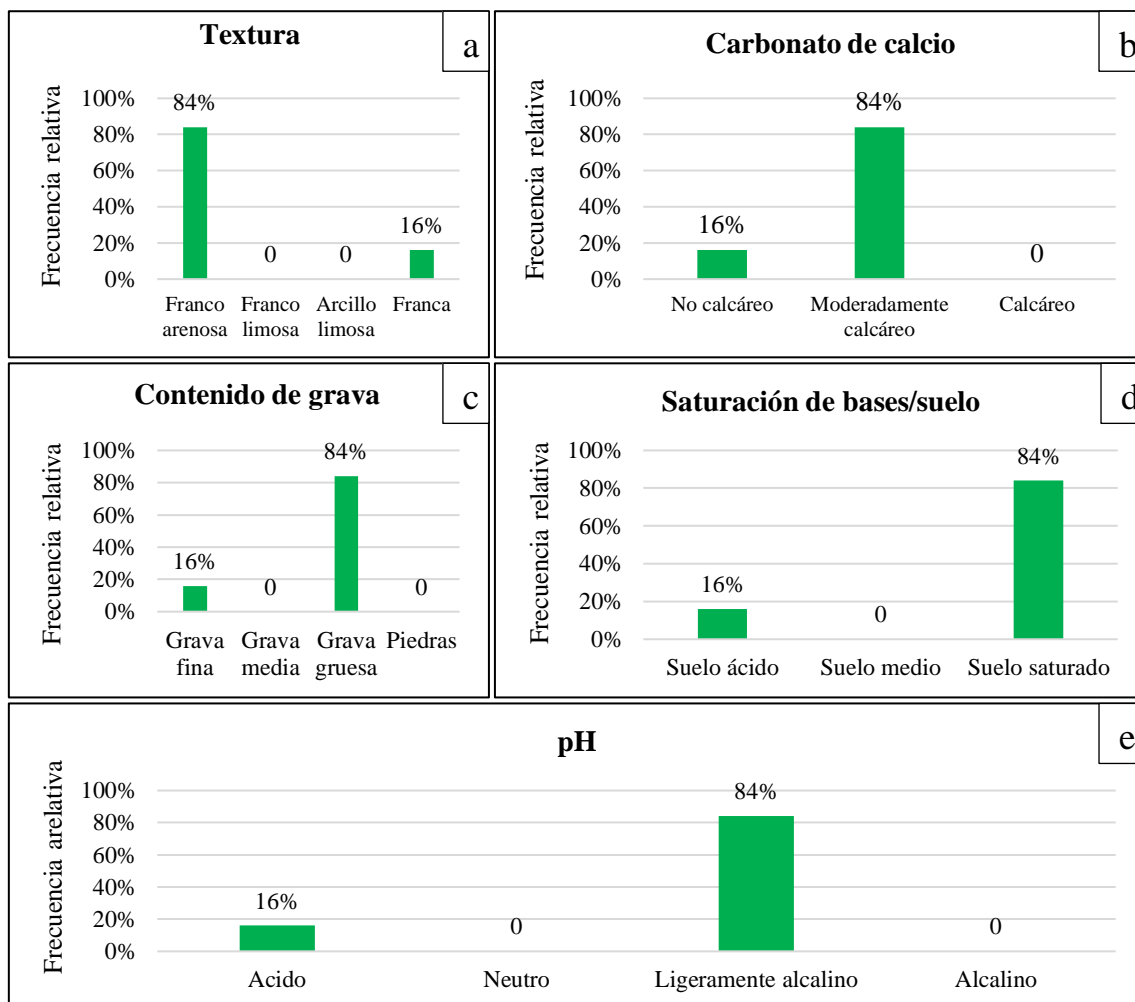


Figura 45. Variabilidad edáfica de cinco variables cualitativas de *S. albornozi* en Ecuador. **a.** Textura, **b.** Carbonato de calcio, **c.** Grava, **d.** Saturación de bases, **e.** pH

Las afinidades entre las 13 accesiones basadas en las 32 variables ecogeográficas dan lugar a tres grupos (Figura 46). El grupo uno se diferencia por estacionalidad de precipitación de 47 mm, estacionalidad de temperatura de 29.2°C, pH ácido (Amazonía), suelo moderadamente profundo y textura franco-arenoso. El grupo dos influenciado por la estacionalidad promedio de precipitación de 37.5 mm, estacionalidad promedio de temperatura de 30.5°C, grava gruesa, pH bajo (Amazonía) y textura franco-arenoso. El grupo tres se diferencia por estacionalidad promedio de precipitación de 45.5 mm, estacionalidad promedio de temperatura de 35.8°C, carbón orgánico medio, grava fina, pH ácido y textura franca.

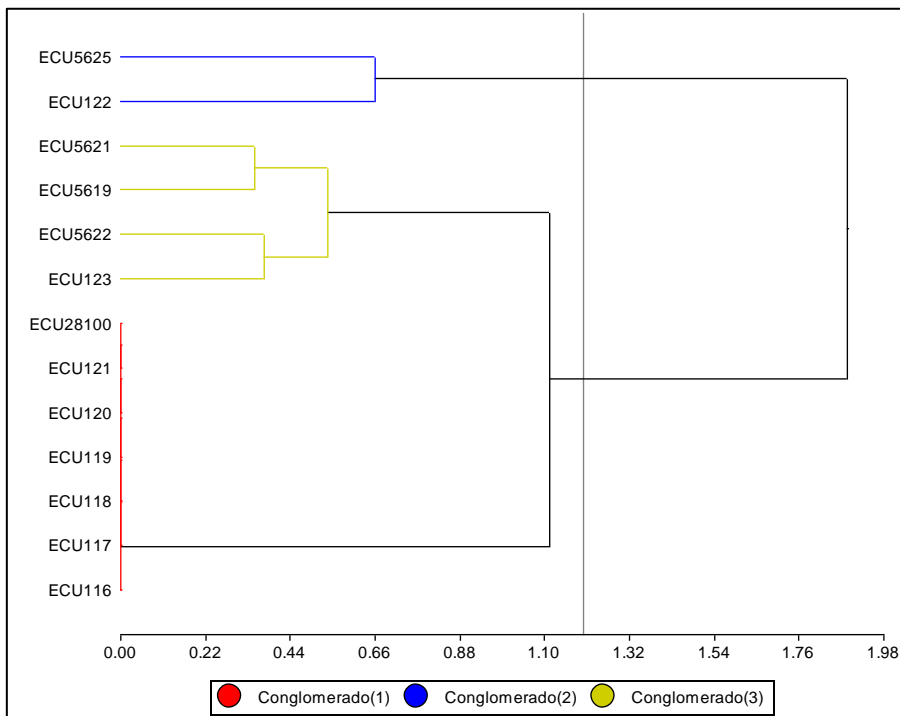


Figura 46. Agrupamiento de las accesiones de *Solanum albornozii* C.

4.3.2.3. Categoría ecogeográfica para *Solanum albornozii* C.

Se identificaron cuatro categorías ecogeográficas basadas en los datos bioclimáticos, edáficos y geofísicos específicos para *S. albornozii* C. La categoría más frecuente fue la cuatro con 0.9% (Figura 47) presentando características como: estacionalidad de temperatura de 36.2°C, estacionalidad de precipitación de 40.1 mm, pH de 5.2 y contenido de carbón orgánico de 4.1%, por el contrario, la categoría 1, 2 y 3 con menor frecuencia presentaron valores menores al 0.1%, representadas en el mapa ELC (Figura 48).

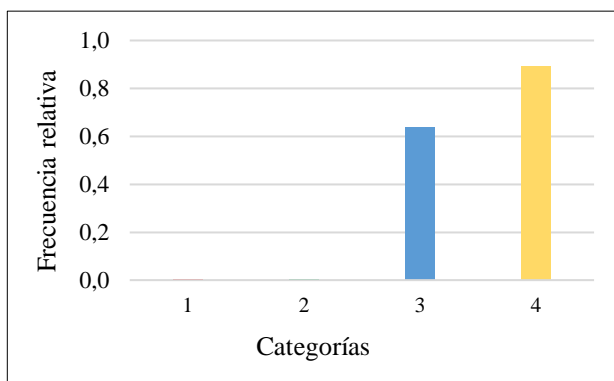


Figura 47. Frecuencia de categorías ecogeográficas basadas en datos climáticos, edáficos y geofísicos

A continuación, se presenta el mapa ELC, basado en condiciones bioclimáticas, edáficas y geofísicas.

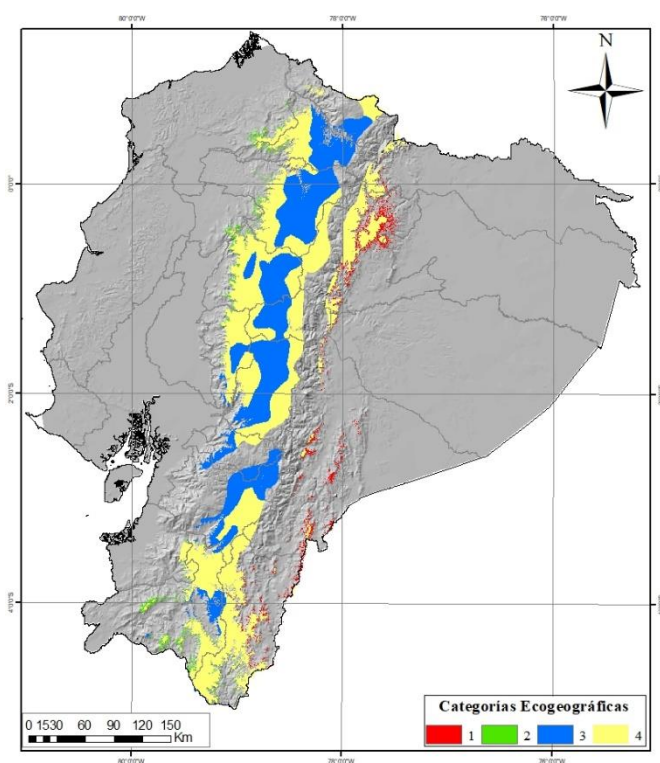


Figura 48. Mapa ELC de caracterización ecogeográfica de *S. albornozii* C. en Ecuador

Las accesiones de *S. albornozii* C. se encuentran en altitudes que van entre 2 430 y 2 902 msnm, además, crecen en suelos profundos, con grava fina y gruesa, en suelos ligeramente ácidos (pH entre 6.0 y 6.5) y ácidos (pH entre 4.5 y 5.5), con contenido de carbón orgánico medio, además, presentan estacionalidad de la temperatura entre 26.9 y 42.9°C, el rango de temperaturas diurnas entre 9.4 y 10.3°C y estacionalidad de la precipitación entre 32 y 48 mm. Los datos anteriormente descritos son semejantes con los resultados que obtuvo Ochoa (1999); indica que *S. albornozii* crece en quebradas interandinas de clima templado y templado-frío entre altitudes que van desde 2500 a 3000 msnm.

Además, Correll (1962) menciona que, su hábitat nativo es laderas y fronteras forestales y crece en altitudes alrededor de los 2300 msnm. De la misma manera, se encuentra en altitudes que van desde los 2000 a 3000 msnm, presentando las siguientes características: suelos arenosos, profundos, rico en piedras, suelos ácidos, temperaturas promedio entre 9 y 11°C y con una precipitación media anual de 552.4 mm (León-Yáñez et al., 2017).

Solanum albornozii C. es una especie endémica del Ecuador (Auer, Factos, Vela y Chocho, 2018) por ende, se distribuye en un lugar o región específica de acuerdo a las condiciones bioclimáticas, edáficas y geofísicas de la zona. Así, se observó que *S. albornozii* C. se desarrolla principalmente en dos ecosistemas como bosque húmedo montano bajo y bosque seco montano bajo, según los puntos GEOQUAL y al uso de mapa de zonas de vida. Sin embargo, se podría desarrollar en otros ecosistemas, esto podría observarse si se obtuviera mayor información de otros puntos de colecta en el Ecuador, ya que solo se obtuvo la información de puntos de georreferenciación de 13 accesiones.

Con la información de las categorías ecogeográficas basadas en las condiciones bioclimáticas, edáficas y geofísicas se podría conocer otros lugares de colecta de *S. albornozii* C. Por ejemplo, las categorías tres y cuatro con mayor frecuencia (0.6-0.9%), se expande en gran parte de la región interandina, están presentes desde la provincia de Carchi hasta la provincia de Loja. Además, se observan en las estrivaciones de las provincias de Napo y Zamora Chinchipe, así, la dos categorías reflejan que son los escenarios más favorables para la colecta de *S. albornozii* C. por haberse encontrado mayor número de colectas en el territorio.

Por el contrario, las categorías con mayor frecuencia (3 y 4) difieren con las categorías menos frecuentes (1 y 2), por presentar rango de temperaturas diurnas de 11.4 y 11.1 °C, estacionalidad de precipitación de 25.8 y 70.3 mm, elevación de 1918 y 1894 msnm respectivamente, además, presentan suelos profundos, suelos ligeramente ácidos (pH entre 6.0 y 6.5). La categoría uno se observa presente en las estrivaciones de la provincia de Napo, Morona Santiago y Zamora Chinchipe que se encuentran en la cordillera oriental de los Andes con altitud media de 3 500 msnm (Varela y Ron, 2018) y que según el rango de altitud de *S. albornozii* C. entre 2 430 y 2 902 msnm se encuentran dentro.

4.3.3. *Solanum andreanum* B.

4.3.3.1. Variabilidad bioclimática y geofísica de *S. andreanum* B. en Ecuador

Existen un total de 17 variables (una geofísica y 16 bioclimáticas) (Tabla 20) utilizadas para el análisis de *S. andreanum* B. El análisis estadístico demuestra que la precipitación del cuarto más frío presentó el CV más alto (71.67%), la estacionalidad de la precipitación fluctuó entre 14 y 79 mm, la estacionalidad de la temperatura osciló entre 14.6 y 59.2°C, la precipitación del cuarto más seco fluctuó entre 32 y 812 mm, mientras que, el rango medio de temperaturas diurnas varió entre 8.4 y 13.4°C, la temperatura más alta fue en el mes de noviembre con 22.30°C y la más baja fue en el mes de julio con 15.5°C. La elevación varió entre 535 y 3813 msnm.

Tabla 20

Variables bioclimáticas y geofísicas de S. andreanum B. en Ecuador

Variable	Media	Desviación Estándar	Coficiente/variación	Mínimo	Máximo
Bioclimáticas					
Estacionalidad de precipitación (mm)	38.60	18.67	48.35	14	79
Estacionalidad de temperatura (°C)	34.72	8.40	24.21	14.6	59.2
Precipitación cuarto frío (mm)	607.23	435.19	71.67	36	1275
Precipitación cuarto seco (mm)	352.56	242.63	68.82	36	812
Precipitación enero (mm)	156.48	43.43	27.76	51	268
Precipitación febrero (mm)	176.68	45.92	25.99	83	290
Precipitación marzo (mm)	209.58	51.86	24.75	88	333
Precipitación junio (mm)	226.57	159.91	70.58	21	463
Precipitación septiembre (mm)	168.01	100.62	59.89	28	340
Rango medio de temperaturas diurnas (°C)	10.84	0.96	8.88	8.4	13.4
Temperatura máxima noviembre (°C)	22.30	5.0	22.43	11.2	29
Temperatura máxima diciembre (°C)	22.02	4.97	22.57	10.8	29
Temperatura máxima junio (°C)	20.99	4.79	22.84	9.3	27.8
Temperatura máxima julio (°C)	20.86	4.80	23.02	8.6	27.9
Temperatura máxima agosto (°C)	21.36	5.0	23.40	8.8	28.5
Temperatura mínima julio (°C)	15.55	7.83	50.37	5.4	39
Geofísicas					
Elevación (msnm)	2147.7	940.83	43.81	535	3813

4.3.3.2. Variabilidad edáfica para *Solanum andreanum* B.

Dentro de las variables edáficas para *S. andreanum* B. el 75% (26 accesiones) se desarrollan en suelos moderadamente profundos y el 25% (nueve accesiones) en suelos poco profundos. Además, el 75% (26 accesiones) se desarrollan en suelos con grava fina y el 25% (nueve accesiones) en suelos con grava media. También, el 51% (18 accesiones) se

desarrollan en suelos con textura franco-limosa y el 49% (17 accesiones) en textura franca. Con respecto a la Sierra el 43% (15 accesiones) se encuentran en suelos con alto contenido de carbón orgánico (>5%) y con respecto a la Amazonía el 48% (17 accesiones) se encuentran en suelos con bajo (<3%) y el 9% (tres accesiones) con medio (3-6%) contenido de carbón orgánico (Figura 49). Además, se desarrollan en suelos ácidos (pH entre 4.5 y 5.5) y en suelos no calcáreos.

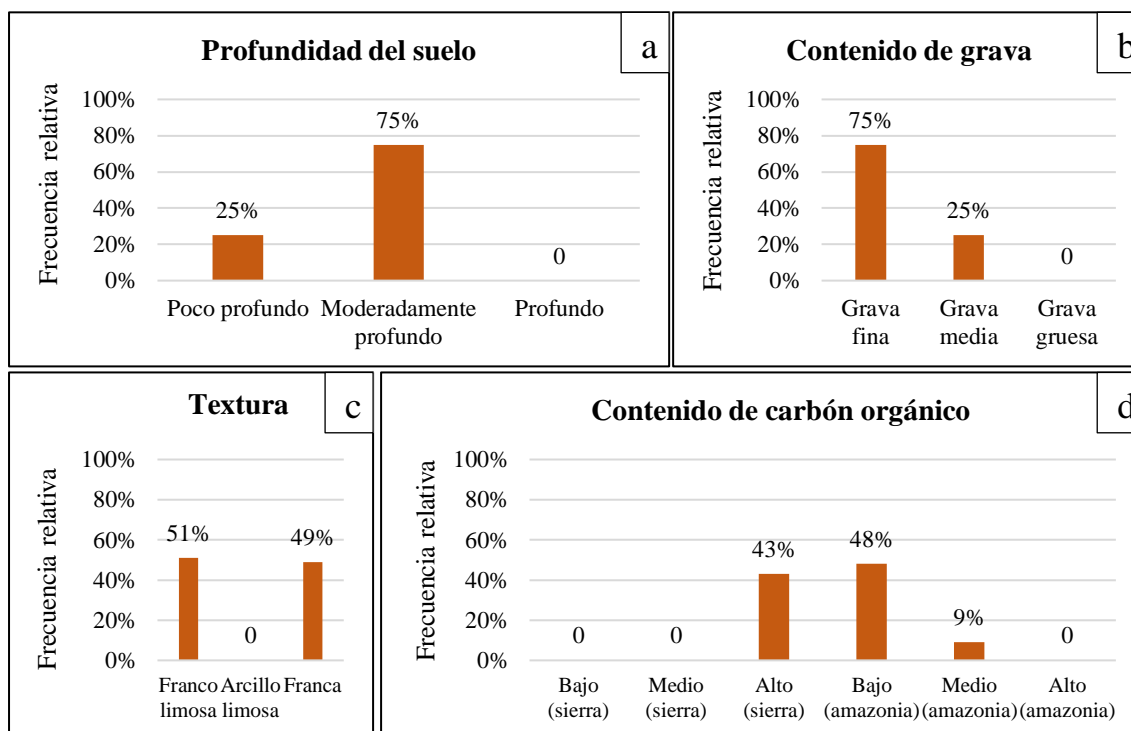


Figura 49. Variabilidad edáfica de cuatro variables cualitativas de *S. andreanum* B. en Ecuador. **a.** Profundidad, **b.** Grava, **c.** Textura, **d.** Carbón orgánico

Las afinidades entre las accesiones basadas en las 32 variables ecogeográficas dan lugar a seis grupos (Figura 50). El grupo uno presenta, estacionalidad promedio de precipitación de 67.4 mm, estacionalidad promedio de temperatura de 25.9°C, contenido de carbón orgánico alto (Sierra), pH ácido, suelos moderadamente profundos y textura franco-limosa. El grupo dos es influenciado por estacionalidad de precipitación de 17.5 mm, estacionalidad de temperatura de 52.3°C, contenido de carbón orgánico alto (Sierra) y medio (Amazonia). El grupo tres se diferencia por presentar estacionalidad de precipitación de 22.3 mm, estacionalidad de temperatura de 35.1°C, suelos de pH ácido, con grava fina, moderadamente profundos y textura franca. El grupo cuatro se diferencia por presentar una estacionalidad de precipitación de 28 mm, estacionalidad de temperatura de 47.5°C, pH ácido y textura franca.

Igualmente, el grupo cinco es influenciado por tener una estacionalidad de precipitación de 45.6 mm, estacionalidad de temperatura de 27.3°C, contenido de carbón orgánico alto (Sierra), pH ácido, suelos moderadamente profundos y textura franco-limoso. El grupo seis es diferente por presentar la estacionalidad de precipitación de 19 mm, estacionalidad de temperatura de 28.2°C, contenido de carbón orgánico bajo y medio (Amazonia), pH ácido, suelo moderadamente profundo y textura franco y franco-limoso.

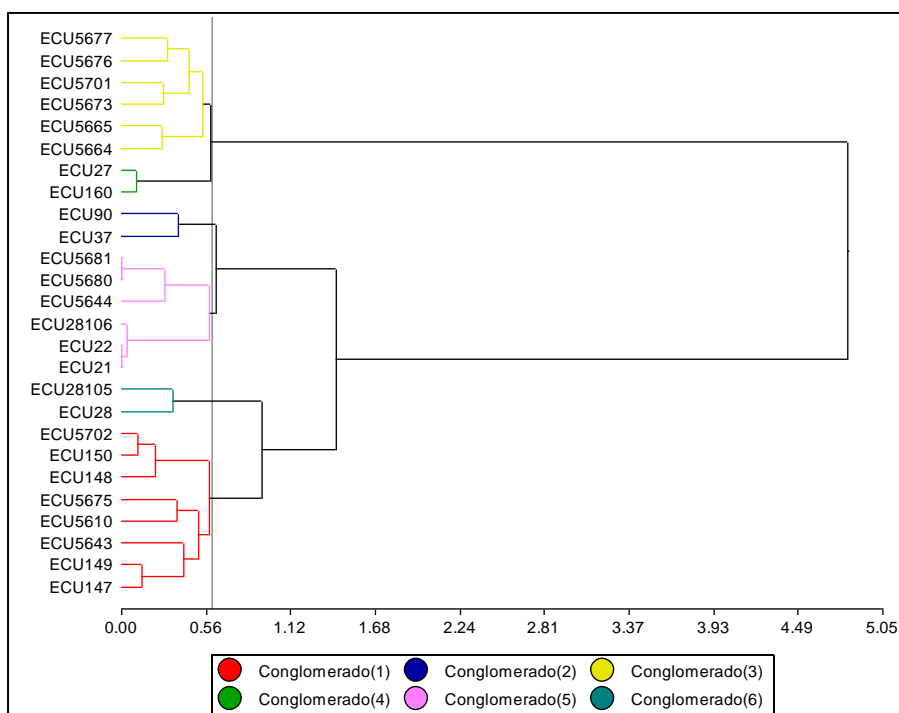


Figura 50. Agrupamiento de las accesiones de *Solanum andreaum* B.

4.3.3.3. Categoría ecogeográfica para *Solanum andreaum* B.

En la figura 51 se observa un total de seis categorías ecogeográficas, las más frecuentes fueron la categoría uno con 6.40% y la cuatro con 6.38%. Las categorías con menos frecuencia fueron dos, tres, cinco y seis que presentaron valores menores al 1% representadas en el mapa ELC (Figura 52). La categoría uno presenta las siguientes condiciones: estacionalidad de la precipitación con 39.7 mm, estacionalidad de la temperatura con 35.4 °C, un pH de 5.5 y el contenido de carbón orgánico de 3.1%, de la misma manera la categoría cuatro presenta las siguientes características: estacionalidad de la precipitación con 39.6 mm, estacionalidad de la temperatura con 35.5°C, un pH de 5.5 y el contenido de carbón orgánico de 3.1%.

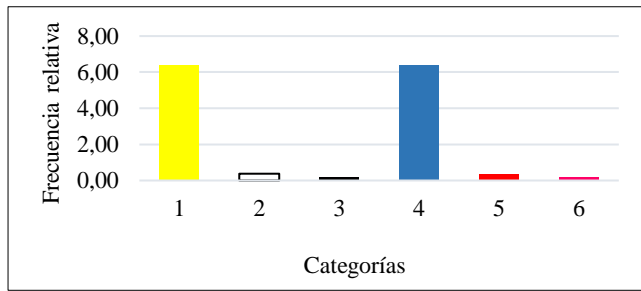


Figura 51. Frecuencias de categorías ecogeográficas basadas en datos bioclimáticos, edáficos y geofísicos

A continuación, se presenta el mapa ELC, basado en condiciones bioclimáticas, edáficas y geofísicas.

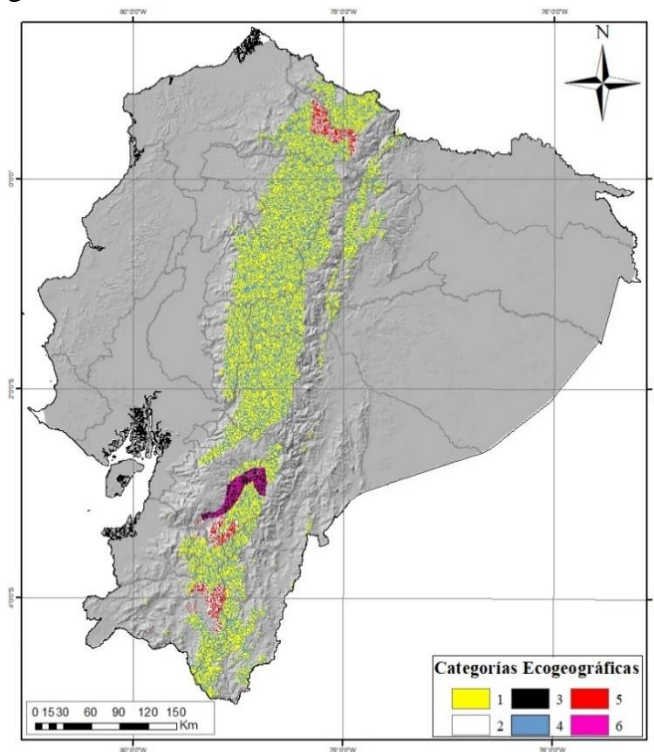


Figura 52. Mapa ELC de caracterización ecogeográfica de *S. andreanum* B. en Ecuador

Las accesiones de *S. andreanum* B. crecen en altitudes que van desde 1904 a 3813 msnm, crecen en suelos poco profundos, con grava fina y media, de textura franco-limosa y franca. Se encuentran en suelos con alto contenido de carbón orgánico en la Sierra y con bajo y medio en la Amazonia, en suelos ácidos (pH entre 4.5 y 5.5) y en suelos no calcáreos. También, presentan condiciones como: estacionalidad de precipitación entre 14 y 79 mm, estacionalidad de temperatura entre 14.6 y 59.2°C y el rango de temperaturas medias diurnas entre 8.4 y 13.4°C.

Los datos coinciden con lo reportado por Spooner, Castillo y López (1993), mencionan que, *S. andreanum* B. se encuentra en altitudes que van desde 1900 a 3700 msnm se distribuye en todo el Ecuador y en el sur de Colombia, crecen entre hierbas, arbustos, cerca de arroyos. Sin embargo, se ha encontrado que en Colombia se encuentra en la región andina entre 2000 y 3190 msnm, en lugares como Cauca, Nariño y Putumayo (Vélez, Pineda, Galindo, Arango y Morales, 2015). Igualmente, se extiende por las laderas orientales de la Cordillera Oriental a elevaciones de 1980-3000 msnm con las siguientes características: precipitación entre 16 y 77 mm, estacionalidad de temperatura entre 9.1 y 10.7°C, presenta un bajo contenido de materia orgánica, suelos con pH ácidos, con grava fina, suelos poco profundos, suelos con textura franca (Spooner et al., 1995).

De igual manera, se encontraron accesiones de *S. andreanum* B. en el páramo del Estado de Mérida, Venezuela, en altitudes que van desde los 1500 a 3050 msnm, con características como: temperatura promedio anual entre 8.1 a 17°C, precipitación de 760 mm, suelos húmicos, ácidos y bajos en nutrientes, suelos con grava media, poco profundos (Gopal y Khurana, 2006).

La caracterización ecogeográfica permitió conocer escenarios favorables para la colecta de *S. andreanum* B. Las categorías ecogeográficas con más frecuencia fueron la uno y la cuatro, presentando similitud entre las condiciones bioclimáticas, edáficas y geofísicas, su distribución se observa en todo el callejón interandino desde la provincia de Carchi hasta la provincia de Loja. Además, se presentan en las estribaciones de las provincias de Napo y Zamora Chinchipe esto podría darse por que las dos provincias se encuentran dentro de la cordillera oriental de los Andes (MAE, 2018). De esa manera, se puede concluir que son los escenarios más favorables para la colecta, ya que, se encontró mayor número de accesiones de *S. andreanum* B. que se adaptan a esas condiciones, por el contrario, existen categorías con menor frecuencia (dos, tres, cinco y seis) se diferencia de las más frecuentes por la estacionalidad de temperatura y precipitación, rango de temperaturas, elevación, textura de suelos y pH, podrían ser puntos clave para encontrar otro tipo de variabilidad.

Solanum andreanum B. es una especie nativa del Ecuador (Auer et al., 2018). Por lo tanto, se la puede encontrar en diversos ambientes, por ejemplo, se encontró que se desarrollan en bosque pluvial pre montano, bosque pluvial montano, bosque pluvial sub alpino, bosque húmedo pre-montano, bosque húmedo montano bajo, bosque muy húmedo montano, bosque muy húmedo montano bajo y bosque muy húmedo pre-montano, basado en la información de puntos geográficos de 35 accesiones de *S. andreanum* B. y al uso del mapa de zonas de vida.

4.3.4. *Solanum chilliasense* O.

4.3.4.1. Variabilidad bioclimática y geofísica de *S. chilliasense* O. en Ecuador

Existe 17 variables; 16 bioclimáticas y una geofísica de cuatro accesiones de *S. chilliasense* O. la variable precipitación de septiembre presentó el valor más alto de CV (19.43 mm). Además, la elevación varió entre 2821 y 3348 msnm, la estacionalidad de la precipitación fluctuó entre 70 y 78 mm, la estacionalidad de la temperatura osciló entre 24.3 y 34.4°C, la precipitación del cuarto más frío y del cuarto más seco osciló entre 27 y 51 mm. El rango de temperaturas diurnas varió entre 9.4 y 9.7°C, la temperatura más baja fue en el mes de julio con 5.37°C (Tabla 21).

Tabla 21

Variables bioclimáticas y geofísicas de S. chilliasense O. en Ecuador

Variable	Media	Desviación Estándar	Coefficiente/variación	Mínimo	Máximo
Bioclimáticas					
Estacionalidad de precipitación (mm)	70.6	0.93	1.31	70	78
Estacionalidad de temperatura (°C)	33.51	1.1	3.29	24.3	34.4
Precipitación cuarto frío (mm)	46.28	4.87	10.51	27	51
Precipitación cuarto seco (mm)	46.28	4.87	10.51	27	51
Precipitación enero (mm)	116.02	3.03	2.61	113	121
Precipitación febrero (mm)	145.41	10.58	7.27	128	156
Precipitación marzo (mm)	154.49	6.56	4.25	145	163
Precipitación junio (mm)	19.41	3.57	18.38	11	23
Precipitación septiembre (mm)	20.9	4.06	19.43	12	25
Rango medio de temperaturas diurnas (°C)	9.45	0.06	0.59	9.4	9.7
Temperatura máxima noviembre (°C)	16.37	0.97	5.93	15.4	18.8
Temperatura máxima diciembre (°C)	16.07	0.97	6.05	15.1	18.5
Temperatura máxima junio (°C)	15.07	0.98	6.48	14.1	17.7
Temperatura máxima julio (°C)	14.83	1.03	6.96	13.8	17.7
Temperatura máxima agosto (°C)	14.93	1.03	6.91	13.9	17.8
Temperatura mínima julio (°C)	5.37	0.97	18.09	4.4	7.8
Geofísica					
Elevación (msnm)	3142	203.1	6.46	2821	3348

4.3.4.2. Variabilidad edáfica para *S. chilliasense* O.

Dentro de las variables edáficas, el 50% (dos accesiones) se encontraron en suelos moderadamente profundos (51 a 100cm) y el 50% (dos accesiones) en suelos poco profundos (21 a 50cm). Además, el 50% (dos accesiones) se desarrollan en suelos con grava fina y el 50% (dos accesiones) en suelos con grava media, el 50% (dos accesiones) registraron suelos muy pobres en CIC y el 50% (dos accesiones) en suelos pobres (Figura 53). También, se desarrollan en suelos ácidos (pH entre 4.5 y 5.5), suelos no salinos (<2dS/m) y en suelos con textura franca.

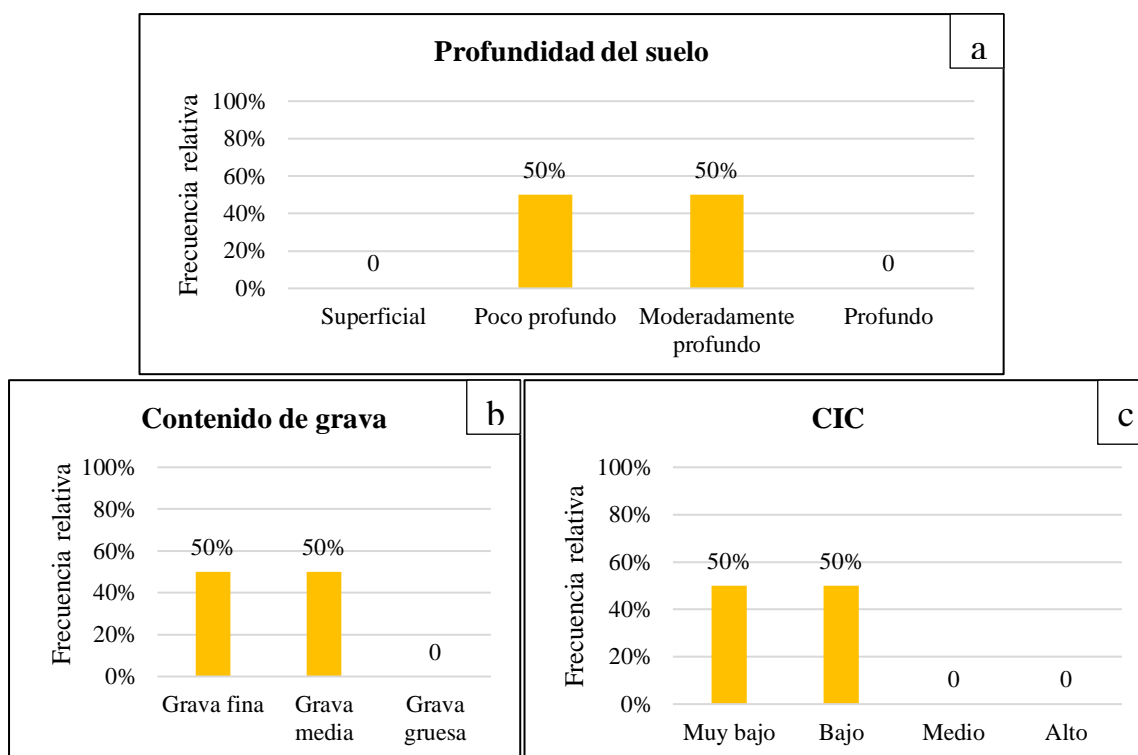


Figura 53. Variabilidad edáfica de tres variables cualitativas de *S. chilliasense* O. en Ecuador. **a.** Profundidad, **b.** Grava, **c.** CIC

Las afinidades entre las cuatro accesiones basadas en las 32 variables ecogeográficas dan lugar a dos grupos (Figura 54). El grupo uno presenta las siguientes características: estacionalidad de precipitación de 71.5 mm, estacionalidad de temperatura de 34.3°C, contenido de carbón orgánico medio (Sierra), pH ácido, suelo moderadamente profundo con grava media y textura franca. El grupo dos formado se diferencia por: estacionalidad de precipitación de 74.5 mm, estacionalidad de temperatura de 28.7°C, contenido de carbón orgánico medio (Sierra), pH ácido, suelo poco profundo, con grava fina y textura franca.

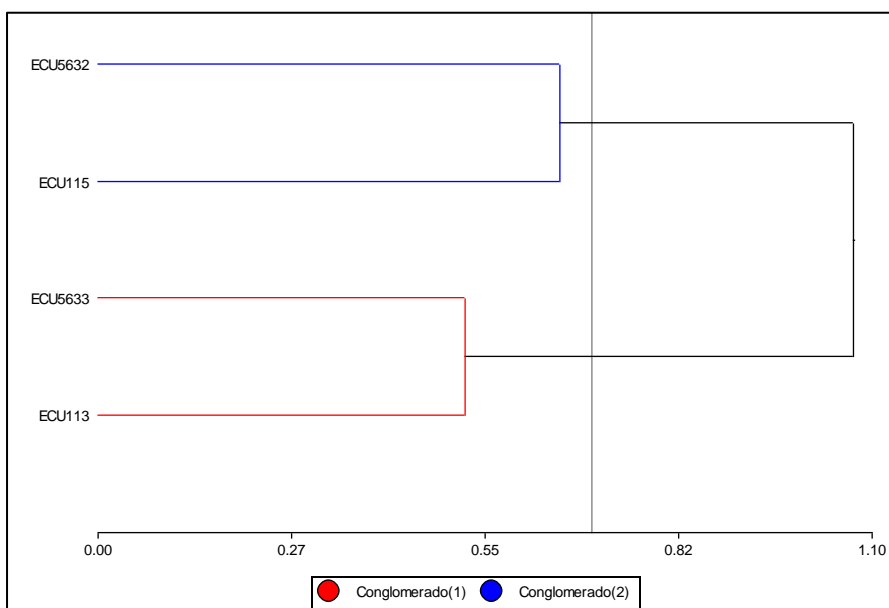


Figura 54. Agrupamiento de las accesiones de *Solanum chilliasense* O.

4.3.4.3. Categoría ecogeográfica para *Solanum chilliasense* O.

Con respecto a *S. chilliasense* O. se identificaron dos categorías ecogeográficas (Figura 55). La categoría uno presentó mayor frecuencia (0.76%), presenta una estacionalidad de temperatura de 36.2°C, estacionalidad de precipitación de 39.8mm, un pH de 5.2 y el contenido de carbón orgánico de 4.1% (medio). La categoría dos con menor frecuencia (0.60%) presenta una estacionalidad de temperatura de 36.1°C, estacionalidad de precipitación de 39 mm, un pH de 6.5 y el contenido de carbón orgánico de 0.8% (bajo) representadas en el mapa ELC (Figura 56).

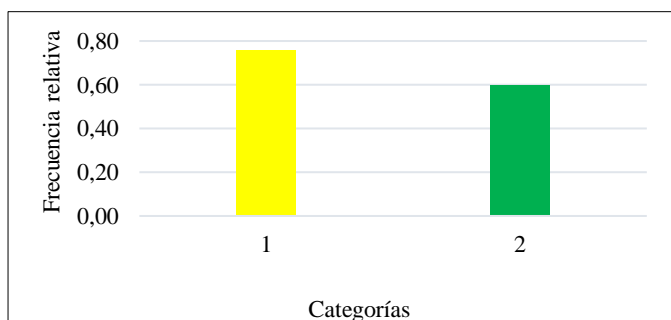


Figura 55. Frecuencia de categorías ecogeográficas basadas en datos bioclimáticos, edáficos y geofísicos

A continuación, se presenta el mapa ELC basado en condiciones bioclimáticas, edáficas y geofísicas.

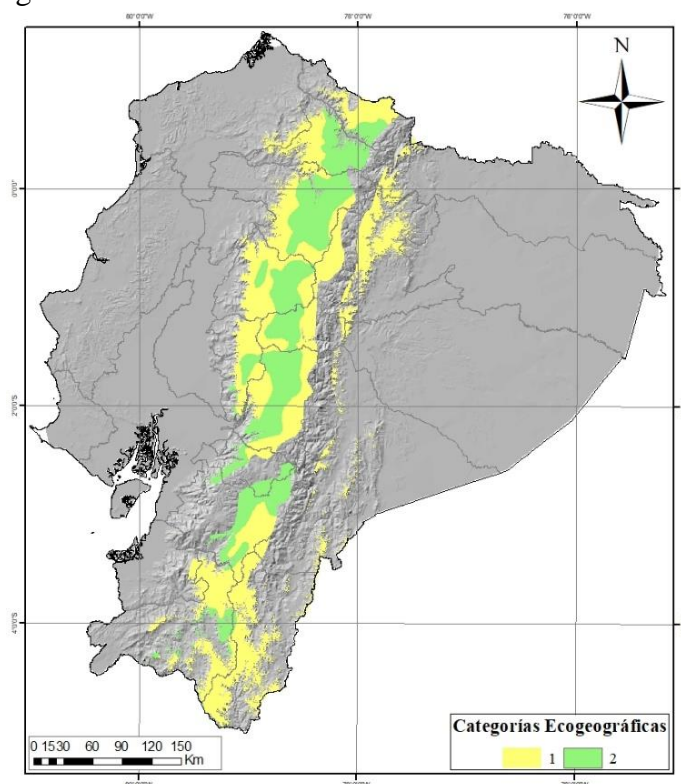


Figura 56. Mapa ELC de caracterización ecogeográfica de *S. chilliasense* O. en Ecuador

Solanum chilliasense O. crece en altitudes que van desde 2893 a 3275 msnm, con características como: estacionalidad de precipitación entre 70 y 78 mm, rango de temperaturas entre 9.4 y 9.7°C, suelos moderadamente profundos y poco profundos, con grava fina y media, muy pobres en CIC, suelos ácidos (pH entre 4.5 y 5.5), con textura franca. Esto coincide con los datos descritos por Bohs (2005), al mencionar que, *S. chilliasense* crece en pastizales y entre arbustos en los Andes, en altitudes que van desde 3000 a 3500 msnm, además, se desarrolla en páramos arbustivos, con características como: rango de temperatura entre 6 y 12°C, precipitación de 250 a 500 mm, suelos profundos, húmedos, suelos ácidos con pH entre 3.9 y 5.4, suelos con textura franco-arcilloso, grava media (León-Yáñez et al., 2017).

Solanum chilliasense es una especie endémica del Ecuador (Auer et al., 2018), por ende, se distribuye en un lugar o región geográfica específica. Así, mediante los puntos geográficos de cuatro accesiones y el uso del mapa de zonas de vida, se logró identificar que crecen en bosque muy húmedo montano y bosque húmedo montano bajo, sin embargo,

por el rango de altitud que presenta *S. chilliasense* O. de 2893 a 3275 msnm, se puede desarrollar en otros ecosistemas, como lo menciona Naranjo et al. (2020), quienes observaron que se desarrollan en pisos biclimáticos como montano y montano bajo nival.

Además, con el uso de la caracterización ecogeográfica *S. chilliasense* O. se encontró presente en dos categorías a nivel nacional. La categoría uno de mayor frecuencia (0.76%) se observa a lo largo del callejón interandino, se extiende desde el Norte en la provincia de Carchi hasta el Sur en la provincia de Loja. También, se encuentra en las estribaciones orientales de la provincia de Napo y Zamora Chinchipe, siendo así los escenarios más favorables para la colecta en el futuro. Con menor frecuencia está la categoría dos (0.60%); las categorías se diferencian unas de otras por variables como estacionalidad de precipitación, estacionalidad de temperatura, elevación, textura, cantidad de carbón orgánico, pH de suelo entre otras.

4.3.5. *Solanum chomatophilum* B.

4.3.5.1. Variabilidad bioclimática y geofísica de *S. chomatophilum* B. en Ecuador

El análisis estadístico de una variable geofísica y 16 bioclimáticas de siete accesiones indican que, la variable la temperatura mínima de julio presentó el valor más alto de CV (70.85°C). Además, la estacionalidad de la precipitación fluctuó entre 34 y 53 mm, la estacionalidad de la temperatura osciló entre 13.7 y 30.1°C, la precipitación del cuarto más frío y más seco osciló entre 137 y 161 mm. El rango de temperaturas varió entre 8.9 y 13.1°C, la temperatura más baja fue en el mes de junio con 15.87°C y la temperatura más alta fue en el mes de julio con 21.5°C la elevación varió entre 2243 y 3999 msnm (Tabla 22).

Tabla 22

Variables bioclimáticas y geofísicas de S. chomatophilum B. en Ecuador

Variable	Media	Desviación Estándar	Coficiente/ variación	Mínimo	Máximo
Bioclimáticas					
Estacionalidad de precipitación (mm)	42.24	7.26	17.19	34	53
Estacionalidad de temperatura (°C)	20.32	5.88	28.93	13.7	30.1
Precipitación cuarto frío (mm)	146.74	8.82	6.01	137	161
Precipitación cuarto seco (mm)	146.74	8.82	6.01	137	161
Precipitación enero (mm)	137.31	29.9	21.78	118	186
Precipitación febrero (mm)	162.69	35.48	21.81	131	221
Precipitación marzo (mm)	191.04	27.3	14.29	164	236
Precipitación junio (mm)	66.83	2.94	4.39	64	71
Precipitación septiembre (mm)	81	0.54	0.67	80	82
Rango medio de temperaturas diurnas (°C)	11.04	1.53	13.88	8.9	13.1
Temperatura máxima noviembre (°C)	16.12	4.3	26.66	10.5	22.1
Temperatura máxima diciembre (°C)	16.03	4.44	27.69	10.1	22.1
Temperatura máxima junio (°C)	15.87	4.85	30.54	9.5	22.6
Temperatura máxima julio (°C)	15.96	5.24	32.84	9	23.2
Temperatura máxima agosto (°C)	16.26	5.29	32.54	9.1	23.5
Temperatura mínima julio (°C)	21.5	15.24	70.85	6	39
Geofísica					
Elevación (msnm)	3048	672.14	22.05	2243	3999

4.3.5.2. Variabilidad edáfica para *S. chomatophilum B.*

Dentro de las variables edáficas, se registró que el 85% (seis accesiones) se encontraron en suelos con textura franco-limosa y el 15% (una accesión) en suelos con textura franco-arenosa (Figura 57). Además, se colectaron en suelos no calcáreos, no salinos (< 2dS/m), con alto (>5%) contenido de carbón orgánico en la Sierra, también, en suelos con grava fina, ácidos (pH entre 4.5 y 5.5) y moderadamente profundos (51 a 100cm).

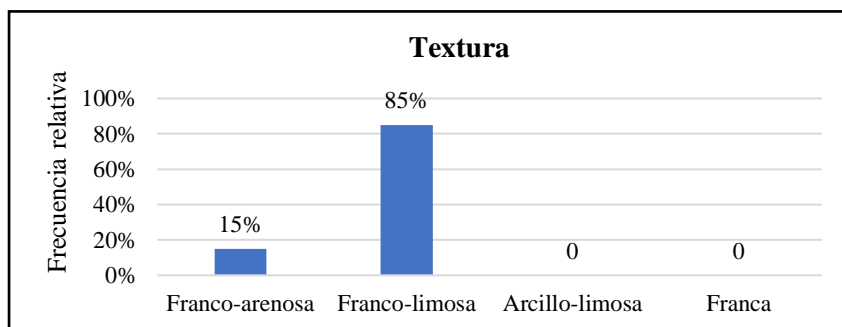


Figura 57. Variabilidad edáfica de una variable cualitativa de *S. chomatophilum B.* en Ecuador

Las afinidades entre las siete accesiones basadas en las 32 variables ecogeográficas dan lugar a tres grupos (Figura 58). El grupo uno se diferencia por: estacionalidad de precipitación de 34.5 mm, estacionalidad de temperatura de 29.1°C, suelos con pH ácido, moderadamente profundos y textura franco-arenoso. El grupo dos con características como: estacionalidad de precipitación de 40 mm, estacionalidad de temperatura de 18.9°C, contenido de carbón orgánico alto (Sierra), suelos con pH ácido, grava fina, moderadamente profundos y textura franco-limoso. El grupo tres presenta características como: estacionalidad de precipitación de 53 mm, estacionalidad de temperatura de 14°C, contenido de carbón orgánico alto (Sierra), suelos con pH ácido, grava fina, moderadamente profundos y textura franco-limoso

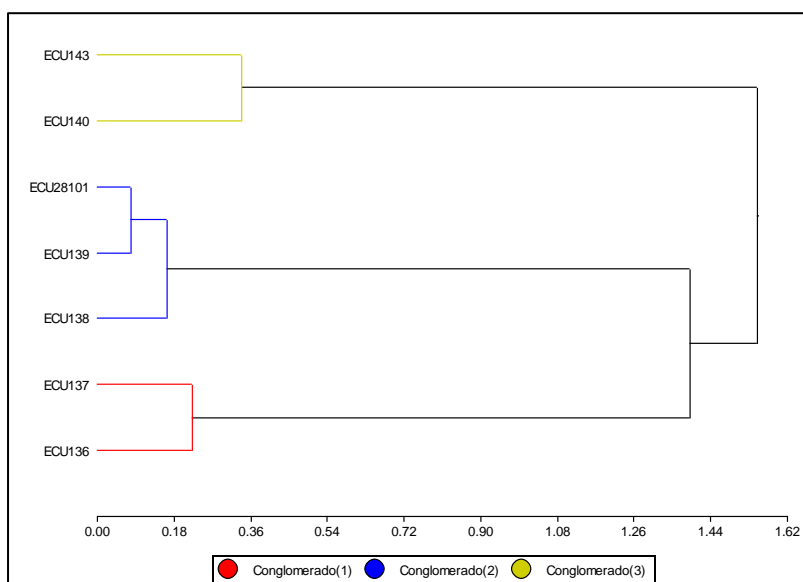


Figura 58. Agrupamiento de las accesiones de *Solanum chomatophilum* B.

4.3.5.3. Categoría ecogeográfica para *Solanum chomatophilum* B.

Se identificaron tres categorías ecogeográficas (Figura 59). La categoría dos con mayor frecuencia (12.38%) presenta características como: estacionalidad de precipitación de 41.2mm, estacionalidad de temperatura de 41.6°C, un pH de 5.5 y el contenido de carbón orgánico de 3.1% (bajo) y con menor frecuencia fueron las categorías uno y tres presentando valores menores al 2% que se observa en el mapa ELC (Figura 60).

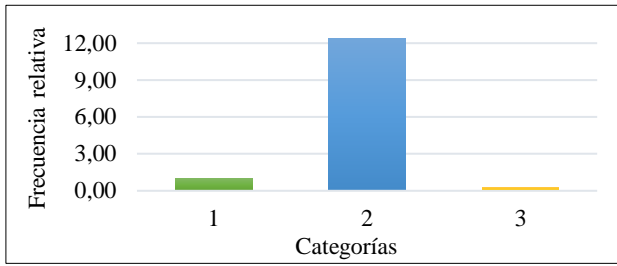


Figura 59. Frecuencias de categorías ecogeográficas basadas en datos bioclimáticos, edáficos y geofísicos

A continuación, se presenta el mapa ELC basado en condiciones bioclimáticas, edáficas y geofísicas.

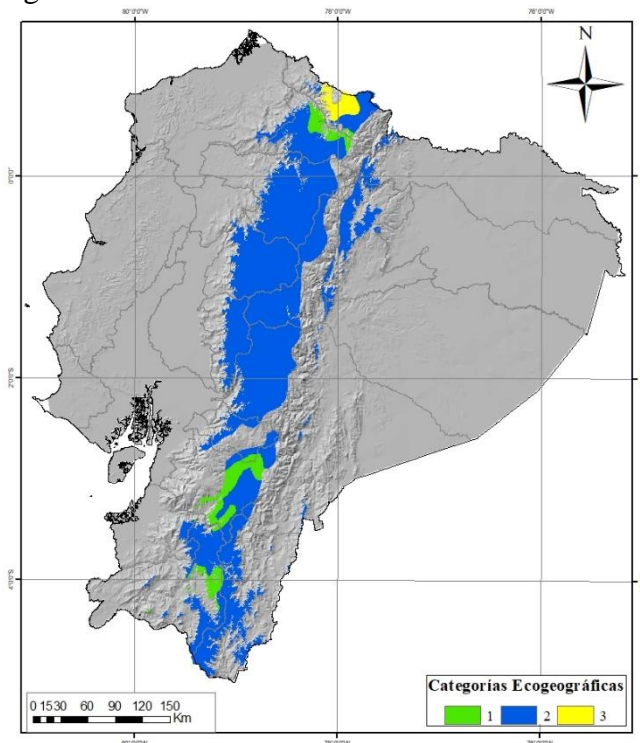


Figura 60. Mapa ELC de caracterización ecogeográfica de *S. chomatophilum* B. en Ecuador

Se observó que las accesiones de *S. chomatophilum* B. se encuentran desde 2039 a 3968 msnm, además, se desarrollan en condiciones como: estacionalidad de la precipitación entre 34 y 53 mm, estacionalidad de la temperatura entre 13.7 y 30.1°C, el rango de temperaturas entre 8.9 y 13.1°C. También, en suelos con textura franco-limoso y franco-arenoso, moderadamente profundos con alto contenido de carbón orgánico, con grava fina, suelos ácidos (pH entre 4.5 y 5.5).

Los datos anteriores concuerdan con Ochoa (1954) al mencionar que *S. chomatophilum* B. se encuentra entre altitudes que van desde 1950 hasta 4000 msnm; a lo largo de arroyos, laderas rocosas o erosionadas, tanto en suelos pobres como en suelos orgánicos ricos, entre arbustos húmedos, punas, pastizales, hierbas y árboles concluyendo que se localizan en una amplia diversidad de hábitats en Ecuador. Igualmente, se encuentran desde el sur de Ecuador hacia el sur de la mayor parte de Perú, su hábitat esta distribuido en laderas, matorrales, bosques y barrancos en altitudes que van desde 2500 a 4100 msnm (Correll, 1962).

Sin embargo, en Perú, se desarrollan en las altas sierras de puna, jalca o páramos, se encuentran en altitudes que van desde 1950 a 4500 msnm, se considera la especie más ampliamente distribuida en Perú. La mayor distribución se reflejó en el Departamento de Áncash presentando las siguientes características: altitud entre 3000 a 3900 msnm, estacionalidad de temperatura de 12 a 24°C, rango de temperaturas entre 6 y 12°C, estacionalidad de precipitación entre 30 y 44 mm, suelos con textura franco-arenoso y franca, grava fina, moderadamente profundos, pH ácido a ligeramente alcalino (Ochoa, 1999).

Solanum chomatophilum B. es una especie nativa (Auer et al., 2018), ya que se encuentra en un amplio rango de ecosistemas. Así, mediante puntos geográficos de siete accesiones y el uso de un mapa de zonas de vida, se logró identificar su desarrollo en pisos bioclimáticos como: bosque pluvial sub alpino, bosque pluvial montano, bosque muy húmedo pre montano y bosque muy húmedo montano bajo. Esto concuerda con lo encontrado por Naranjo et al. (2020), quienes observaron que se desarrolla en pisos bioclimáticos Montano, Montano bajo nival y Montano alto superior.

Además, las categorías ecogeográficas presentan sitios probables para la colecta, así, la categoría dos con mayor frecuencia (12.38%), se encuentra distribuida desde la provincia de Carchi, hasta la provincia de Loja en menor proporción. También, se observa presente en las estribaciones de la cordillera oriental en las provincias de Napo, Morona Santiago y Zamora Chinchipe, lo que quiere decir, que son sitios favorables para la contigua colecta, ya que, presentan las condiciones óptimas para el desarrollo de *S. chomatophilum* B. basado

en las variables bioclimáticas, edáficas y geofísicas. Por el contrario, existen dos categorías con menor frecuencia (uno y tres) las cuales podrían presentar condiciones similares para su desarrollo y ser puntos clave para encontrar otro tipo de variabilidad.

4.3.6. *Solanum colombianum* D.

4.3.6.1. Variabilidad bioclimática y geofísica de *S. colombianum* D. en Ecuador

La variabilidad bioclimática y geofísica está representada por variables como precipitación, temperatura y elevación, los cuales dan una referencia de los rangos de adaptación de la especie a nivel de Ecuador. Así, a través de los estadísticos descriptivos se aprecia que la variable temperatura mínima de julio presentó el valor más alto de CV (65.84), además, la estacionalidad de la precipitación fluctuó entre 14 y 70 mm, la estacionalidad de la temperatura osciló entre 12.5 y 70.8°C, la precipitación del cuarto más frío varió de 59 y 447 mm y del cuarto más seco osciló entre 59 y 292 mm. Mientras que, el rango de temperaturas varió entre 8.2 y 14°C, la temperatura más baja fue en el mes de julio con 13.47°C y la elevación varió entre 2153 y 4009 msnm (Tabla 23).

Tabla 23

Variables bioclimáticas y geofísicas de S. colombianum D. en Ecuador

Variable	Media	Desviación Estándar	Coefficiente/variación	Mínimo	Máximo
Bioclimáticas					
Estacionalidad de precipitación (mm)	30.54	10.97	35.92	14	70
Estacionalidad de temperatura (°C)	44.43	16.59	37.34	12.5	70.8
Precipitación cuarto frío (mm)	231.37	132.87	57.43	59	447
Precipitación cuarto seco (mm)	161.57	61.12	37.83	59	292
Precipitación enero (mm)	68.72	26.27	38.23	29	178
Precipitación febrero (mm)	87.76	26.32	30	61	210
Precipitación marzo (mm)	106.17	30.38	28.62	70	225
Precipitación junio (mm)	89.77	49.2	54.81	33	184
Precipitación septiembre (mm)	70.44	25.44	36.12	38	121
Rango medio de temperaturas diurnas (°C)	9.81	1.11	11.34	8.2	14
Temperatura máxima noviembre (°C)	15.65	2.9	18.53	10.4	23.4
Temperatura máxima diciembre (°C)	15.56	2.94	18.87	9.9	23.5
Temperatura máxima junio (°C)	13.9	2.98	21.41	8.4	23.6
Temperatura máxima julio (°C)	13.47	3.2	23.8	7.6	24.2
Temperatura máxima agosto (°C)	13.79	3.19	23.12	7.9	24.4
Temperatura mínima julio (°C)	23.73	15.63	65.84	5.8	56
Geofísica					
Elevación (msnm)	3305	419.37	12.69	2153	4009

4.3.6.2. Variabilidad edáfica para *S. colombianum D.*

Dentro de las variables edáficas (Figura 61), el 67% (24 accesiones) se desarrollan en suelos con bajo (<3%) contenido de carbón orgánico y el 14% (cinco accesiones) en suelos con alto (>5%) contenido de carbón orgánico en la Sierra. Además, en la Amazonia se encontró que el 17% (seis accesiones) se desarrollan en suelos con alto contenido de carbón orgánico (>6%) y el 2% (una accesión) con medio (3 – 6%) contenido de carbón orgánico, también, se encontró que el 58% (21 accesiones) se desarrollan en suelos poco profundos (21 a 50 cm) y el 42% (15 accesiones) en suelos moderadamente profundos (51 a 100 cm).

De la misma manera, el 31% (11 accesiones) se desarrollan en suelos con grava fina (0-6 mm), el 58% (21 accesiones) en grava media (6-20 mm) y el 11% (cuatro accesiones) en grava gruesa (20-60 mm). También, el 11% (cuatro accesiones) se encontraron en suelos con textura franco-arenosa, el 17% (seis accesiones) en franco-limosa, el 2% (una accesión) en arcillo-limosa y el 70% (25 accesiones) en textura franca, igualmente, el 86% (31

accesiones) se colectó en suelos ácidos (pH entre 4.5 y 5.5) y el 14% (cinco accesiones) en suelos ligeramente alcalinos (pH entre 7.5 y 8), además, se desarrollan en suelos no salinos.

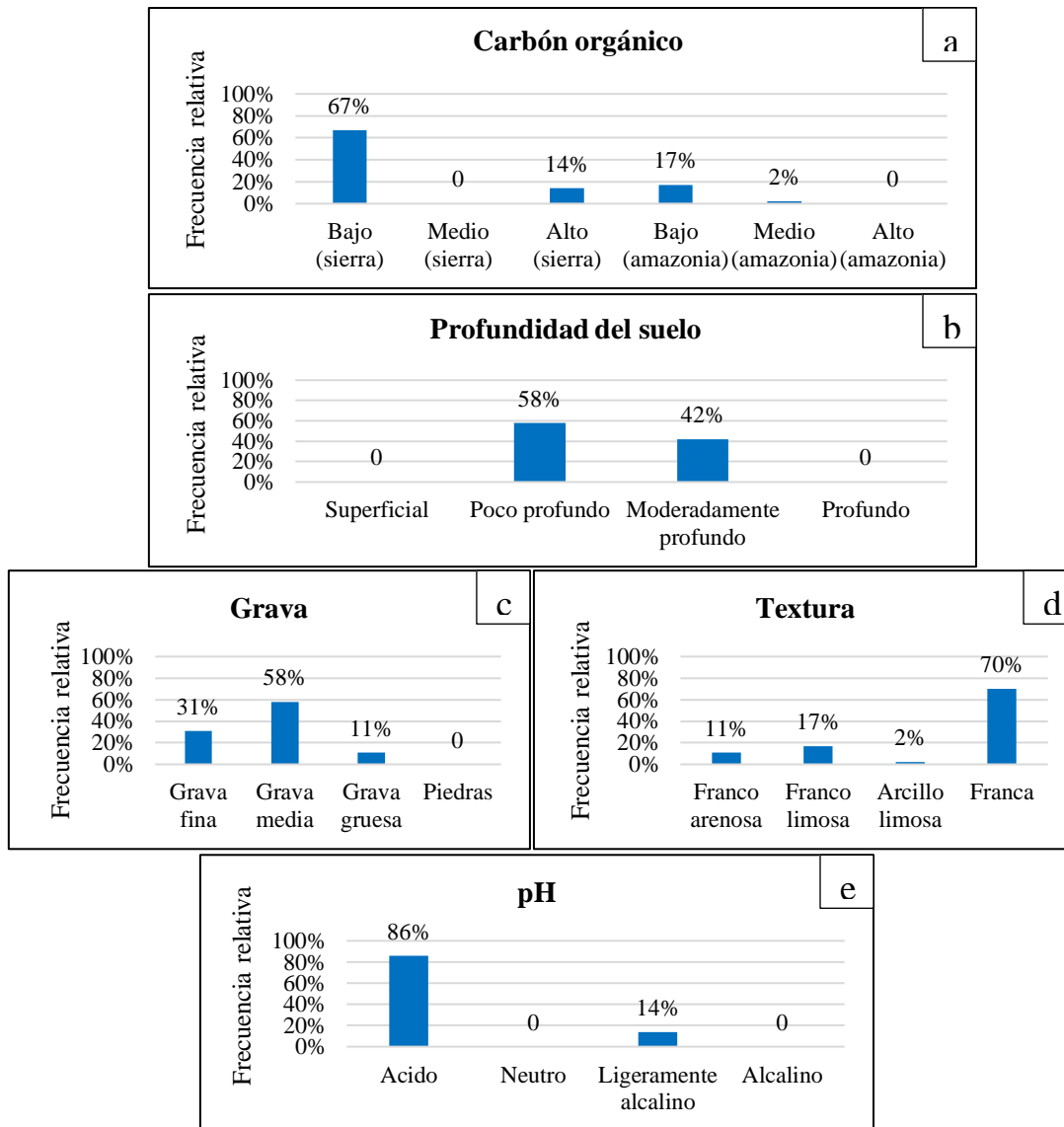


Figura 61. Variabilidad edáfica de cinco variables cualitativas de *S. colombianum* D. en Ecuador. **a.** Carbón orgánico, **b.** Profundidad, **c.** Grava, **d.** Textura, **e.** pH

Las afinidades entre las 36 accesiones basadas en las 32 variables ecogeográficas dan lugar a nueve grupos (Figura 62). El grupo uno con características como: estacionalidad de precipitación de 22.3 mm, estacionalidad de temperatura de 34.4°C. El grupo dos con estacionalidad de precipitación de 26.6 mm, estacionalidad de temperatura de 44°C. El grupo seis con estacionalidad de precipitación de 29 mm, estacionalidad de temperatura de 30.7°C. El grupo siete con estacionalidad de precipitación de 61.5 mm, estacionalidad de

temperatura de 23.2°C. El grupo nueve con estacionalidad de precipitación de 21 mm, estacionalidad de temperatura de 34.3°C; son semejantes en cuanto a las variables edáficas como: contenido de carbón orgánico bajo (Sierra), suelos con pH ácido, grava media, poco profundos y textura franca.

El grupo tres presenta: estacionalidad de precipitación de 33.3 mm, estacionalidad de temperatura de 36.6°C. El grupo cuatro con estacionalidad de precipitación de 46 mm, estacionalidad de temperatura de 12.9°C; son similares por contenido de carbón orgánico bajo (Sierra), suelos con pH ácido, moderadamente profundos y textura franco-arenoso.

El grupo cinco con características como: estacionalidad de precipitación de 33.3 mm, estacionalidad de temperatura de 65.6°C. El grupo ocho con estacionalidad de precipitación de 35.5 mm, estacionalidad de temperatura de 70.4°C. El grupo diez con estacionalidad de precipitación de 20 mm, estacionalidad de temperatura de 61.4°C; son similares por el contenido de carbón orgánico bajo (Sierra), suelos con pH ácido, moderadamente profundos y textura franca.

Finalmente, el grupo 11 presenta características como: estacionalidad de precipitación de 17.3 mm, estacionalidad de temperatura de 46.1°C, en cuanto a las variables edáficas presenta características como: contenido de carbón orgánico bajo (Amazonia), suelos con pH ácido, grava media, poco profundo y textura franca.

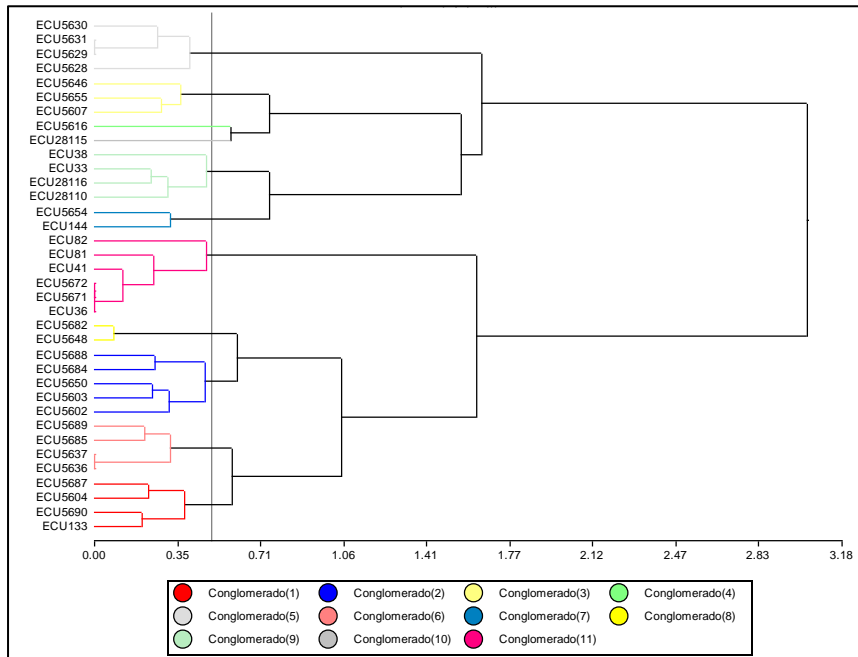


Figura 62. Agrupamiento de las accesiones de *Solanum colombianum* D.

4.3.6.3. Categoría ecogeográfica para *Solanum colombianum* D.

Existen cuatro categorías geográficas (Figura 63) de las cuales la más frecuente es la categoría cuatro con 10.17% y con características como: estacionalidad de precipitación de 38.2mm, estacionalidad de temperatura de 39.2°C, un pH de 5.5 y el contenido de carbón orgánico de 3.2%. Con menor frecuencia las categorías uno, dos y tres con valores menores al 1%, diferenciándose por estacionalidad de precipitación y temperatura, elevación, textura, contenido de carbón orgánico, grava, pH, como se representan en el mapa ELC (Figura 64).

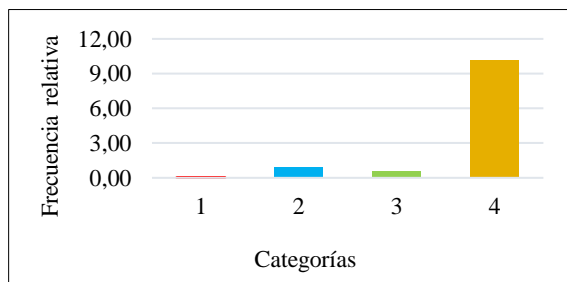


Figura 63. Frecuencias de categorías ecogeográficas basadas en datos bioclimáticos, edáficos y geofísicos

A continuación, se presenta el mapa ELC basado en condiciones bioclimáticas, edáficas y geofísicas.

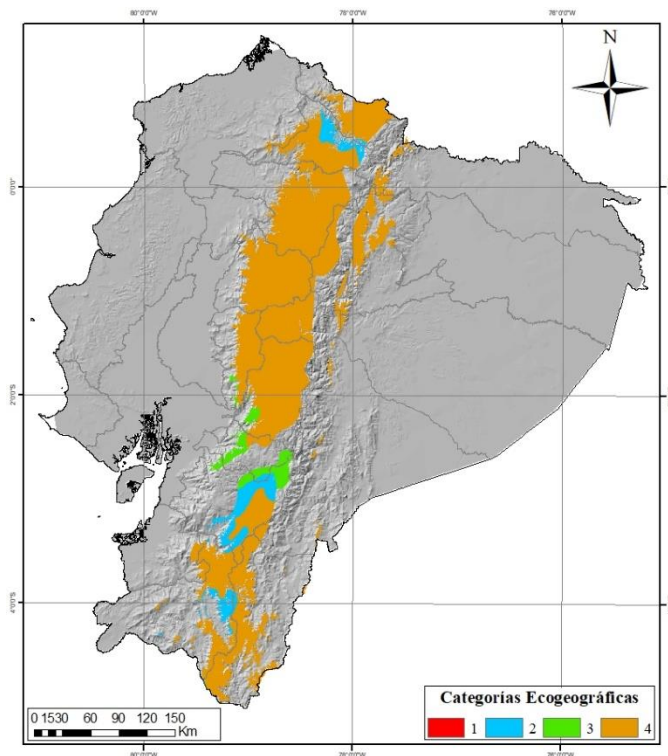


Figura 64. Mapa ELC de caracterización ecogeográfica de *S. colombianum* D. en Ecuador

En resumen, se encontró que *S. colombianum* D. se desarrolla en altitudes que van desde 2398 a 3800 msnm, crecen en condiciones como: estacionalidad de la precipitación entre 14 y 70 mm, estacionalidad de la temperatura entre 12.5 y 70.8°C, rango de temperatura entre 8.2 y 14°C. Se desarrollan en la Amazonia en suelos con bajo contenido de carbón orgánico y en la Sierra con alto contenido de carbón orgánico, suelos poco y moderadamente profundos, con grava fina, grava media, con textura franco-arenosa, franco-limosa, y franca, suelos ácidos (pH entre 4.5 y 5.5) y ligeramente alcalinos (pH entre 7.5 y 8).

Estos datos se asemejan con los resultados obtenidos (Hijmans et al., 2007) al indicar que *S. colombianum* D. se distribuye desde en norte de América del Sur; oeste de Venezuela (Distrito Federal), Ecuador, Colombia hasta el norte de Perú (Departamento de Cajamarca). Se encuentra en hábitats húmedos, con suelos orgánicos ricos, en bordes de bosques, en páramos entre arbustos, a bordes de carreteras, en riachuelos y deslizamientos de tierra, en altitudes desde 1800 a 3950 msnm.

También, en Perú, se encuentran en altitudes que van desde 2000 a 3800 msnm en los departamentos de Piura y Cajamarca (Sarkinen et al., 2015). En Ecuador crecen en altitudes que van desde 2254 hasta 3600 msnm, se ha colectado en las faldas del volcán Tungurahua (Löve, 1982). En Colombia, es una planta espontánea crece en el bosque húmedo montano bajo y montano alto de la Cordillera Central de Colombia (Marín, López, Isaza y Pérez, 2006) con características como: estacionalidad de temperatura entre 12 y 17°C, estacionalidad de precipitación entre 60 y 80 mm, crecen en suelos pedregosos, profundos, color oscuro, ligeramente ácidos y ácidos, ricos en materia orgánica (Rangel, 2015), en altitudes que van desde 2300 a 4500 msnm (Spooner et al., 1995).

Solanum colombianum D. es una especie nativa (Auer et al., 2018), no se encuentra en forma exclusiva en un solo lugar por ello se distribuyen en ambientes diversos. Gracias a los puntos de georreferenciación de 36 accesiones y al uso de un mapa de zonas de vida, se logró identificar que en Ecuador se desarrollan en ecosistemas como: bosque pluvial montano, bosque pluvial sub alpino, bosque muy húmedo montano, bosque muy húmedo montano bajo, bosque húmedo montano, bosque húmedo montano bajo y bosque seco montano bajo. Esto concuerda con lo señalado por Naranjo et al. (2020), quienes mencionan que se adapta en ecosistemas como: Montano, Montano bajo nival, Montano alto, Montano alto superior y Subnival.

Además, como se observa representado en la Figura 57; la categoría cuatro con mayor frecuencia se extiende en el callejón interandino; desde la provincia de Carchi hasta la provincia de Loja en menor proporción, se distribuye en las estribaciones de la cordillera oriental específicamente en las provincias de Napo y Zamora Chinchipe. Se podría decir que son los escenarios favorables para la colecta de *S. colombianum* D. ya que, presentan las condiciones bioclimáticas, edáficas y geofísicas necesarias para su desarrollo, por el contrario, las tres categorías restantes (unos, dos y tres) presentan variables bioclimáticas, edáficas y geofísicas distintas para su desarrollo, pero se podría encontrar otro tipo de variabilidad.

4.3.7. *Solanum minutifoliolum* C.

4.3.7.1. Variabilidad bioclimática y geofísica de *S. minutifoliolum* C. en Ecuador

Existe un total de 17 variables (una geofísica y 16 bioclimáticas) así, el análisis estadístico muestra que, la temperatura mínima de julio presentó el CV alto (65.09), la estacionalidad de la precipitación fluctuó entre 17 y 35 mm, la estacionalidad de la temperatura osciló entre 44.7 y 78.9°C, la precipitación del cuarto más frío varió de 249 y 709 mm y del cuarto más seco osciló entre 112 y 395 mm. También, el rango de temperaturas varió entre 8.6 y 12.3°C, la temperatura más baja fue en el mes de julio con 13.89°C y la elevación varió entre 2106 y 3840 msnm (Tabla 24).

Tabla 24

Variables bioclimáticas y geofísicas de S. minutifoliolum C. en Ecuador

Variable	Media	Desviación Estándar	Coficiente/variación	Mínimo	Máximo
Bioclimáticas					
Estacionalidad de precipitación (mm)	33.53	2.38	7.09	17	35
Estacionalidad de temperatura (°C)	69.26	65.53	9.46	44.7	78.9
Precipitación cuarto frío (mm)	425.72	45.87	10.77	249	709
Precipitación cuarto seco (mm)	182.92	38.02	20.78	112	395
Precipitación enero (mm)	55.56	14.33	25.79	29	111
Precipitación febrero (mm)	75.9	19.66	25.9	43	144
Precipitación marzo (mm)	78.95	17.85	22.61	57	200
Precipitación junio (mm)	170.12	23.24	13.66	94	264
Precipitación septiembre (mm)	101.61	13.98	13.76	68	207
Rango medio de temperaturas diurnas (°C)	10.3	0.99	9.63	8.6	12.3
Temperatura máxima noviembre (°C)	17.78	3	16.89	12.6	23.6
Temperatura máxima diciembre (°C)	17.24	2.97	17.21	12.1	23.4
Temperatura máxima junio (°C)	14.58	2.81	19.3	10.4	22
Temperatura máxima julio (°C)	13.89	2.83	20.35	9.8	21.6
Temperatura máxima agosto (°C)	14.28	3.02	21.16	10	22.2
Temperatura mínima julio (°C)	23.57	15.34	65.09	7.3	49
Geofísica					
Elevación (msnm)	3140	320.09	10.19	2106	3840

4.3.7.2. Variabilidad edáfica para *S. minutifoliolum* C.

Dentro de las variables edáficas, el 21% (tres accesiones) se desarrollan en suelos con textura franco-limosa y el 79% (11 accesiones) en textura franca, además, el 21% (tres accesiones) se encontró en suelos con grava fina (0-6 mm) y el 79% (11 accesiones) en suelos con grava media (6-20 mm). Por otra parte, el 21% (tres accesiones) se encontró en suelos moderadamente profundos (51 a 100 cm) y el 79% (11 accesiones) en suelos poco profundos (21 a 50 cm). También, el 65% (nueve accesiones) se colectaron en suelos con bajo contenido de carbón orgánico (<3%) y el 7% (una accesión) en suelos con alto contenido de carbón orgánico (>5%) en la Sierra, igualmente, se encontró en la Amazonia que el 14% (dos accesiones) estuvo en suelos con bajo contenido en carbón orgánico (<3%) y el 14% (dos accesiones) en suelos con medio contenido de carbón orgánico (3-6%) (Figura 65). Se colectaron en suelos ácidos (pH entre 4.5 y 5.5).

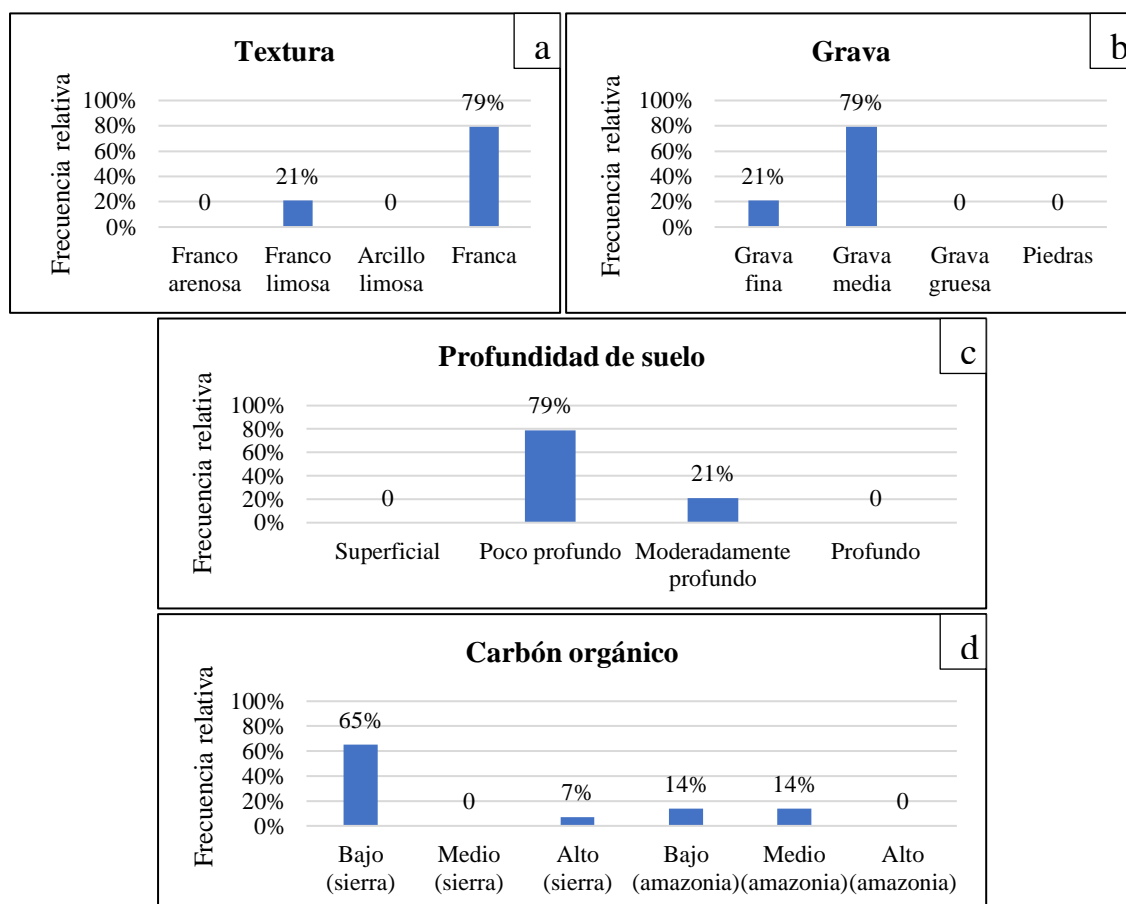


Figura 65. Variabilidad edáfica de cuatro variables cualitativas de *S. minutifoliolum* C. en Ecuador. **a.** Textura, **b.** Grava, **c.** Profundidad, **d.** Carbón orgánico

Las afinidades entre las 14 accesiones basadas en las 32 variables ecogeográficas dan lugar a cuatro grupos (Figura 66). El grupo uno se diferencia por presentar: estacionalidad de

precipitación de 18.5 mm, estacionalidad de temperatura de 50.6°C, contenido de carbón orgánico bajo (Amazonia), suelos con pH ácido, grava media, poco profundo y textura franca. El grupo dos presenta las siguientes características como: estacionalidad de precipitación de 32 mm, estacionalidad de temperatura de 77.2°C, contenido de carbón orgánico alto (Sierra), suelos con pH ácido, grava media, poco profundo y textura franca.

Además, el grupo tres esta influenciado por: estacionalidad de precipitación de 27 mm, estacionalidad de temperatura de 44.7°C, contenido de carbón orgánico medio (Amazonia), suelos con pH ácido, grava fina, moderadamente profundos y textura franco-limoso. El grupo cuatro se diferencia por presentar: estacionalidad de precipitación de 33 mm, estacionalidad de temperatura de 65°C, contenido de carbón orgánico bajo (Sierra), suelos con pH ácido, grava media, poco profundo y textura franca.

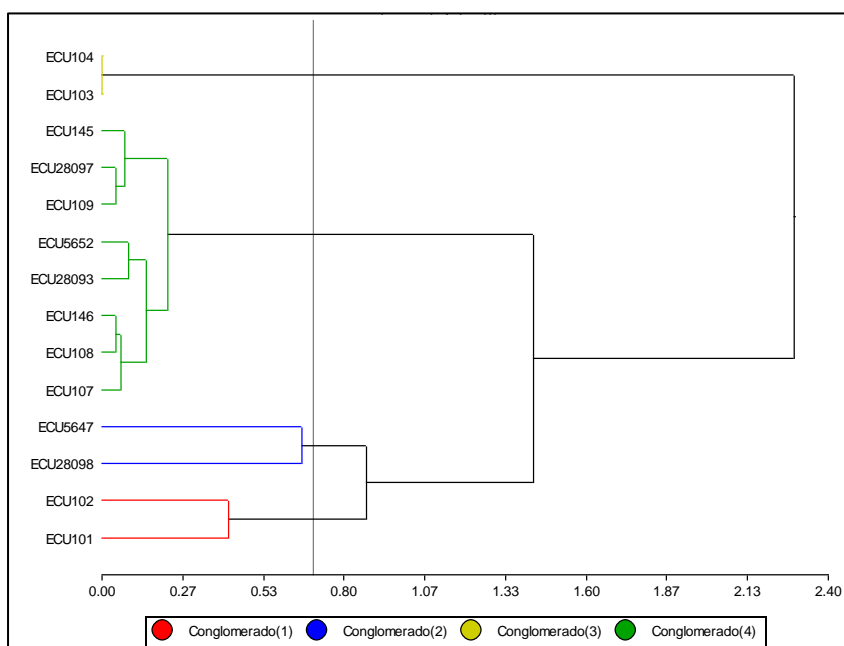


Figura 66. Agrupamiento de las accesiones de *Solanum minutifolium* C.

4.3.7.3. Categoría ecogeográfica para *Solanum minutifolium* C.

En la figura 67 se detallan tres categorías ecogeográficas, siendo la más frecuente la categoría dos con 7.01%, presentando características como: estacionalidad de precipitación de 38.2mm, estacionalidad de temperatura de 39.2°C, pH de 5.2 y el contenido de carbón orgánico de 4.2%. Seguido de la categoría tres (4.99%) con características como: estacionalidad de precipitación de 38.5 mm, estacionalidad de temperatura de 36.2°C, un

pH de 6.5 y el contenido de carbón orgánico de 0.8%, finalmente la categoría uno con menor frecuencia con valores menores al 0.5%, reflejadas en el mapa ELC (Figura 68).

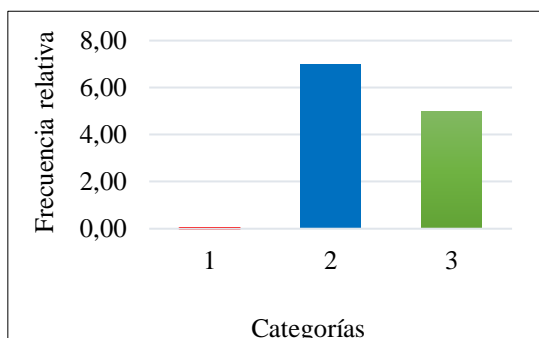


Figura 67. Frecuencias de categorías ecogeográficas basadas en datos bioclimáticos, edáficos y geofísicos

A continuación, se presenta el mapa ELC basado en condiciones bioclimáticas, edáficas y geofísicas.

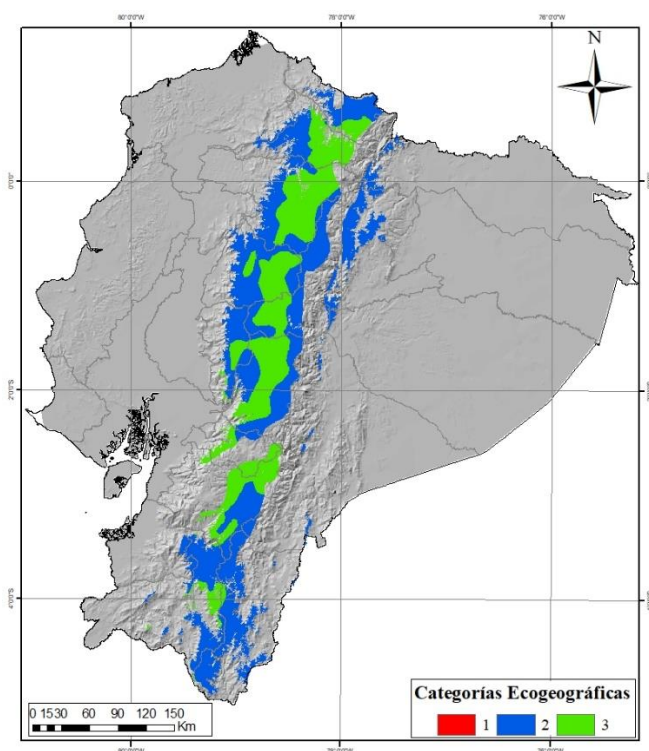


Figura 68. Mapa ELC de caracterización ecogeográfica de *S. minutifolium* C. en Ecuador

Las características más apropiadas para el desarrollo de *S. minutifolium* C. son las siguientes: altitud desde 2103 a 3676 msnm, estacionalidad de la precipitación entre 17 y 35 mm, rango de temperaturas entre 8.6 y 12.3°C, se encuentran en suelos con textura franco-limosa y franca, poco y moderadamente profundos, con grava fina y media, en

suelos ácidos (pH entre 4.5 y 5.5). También, con bajo y alto contenido de carbón orgánico en la Sierra, y en la Amazonia con bajo y medio contenido de carbón orgánico.

Los datos anteriores, se asemejan a lo encontrado por Hijmans et al. (2007) quienes mencionan que *S. minutifoliolum* C. crece en altitudes que van desde 2200 a 3400 msnm en bosques y montañas, específicamente se han observado desde el Sur de Napo hasta Cañar en Ecuador. De la misma manera, se encuentra distribuida desde 1200 a 3000 msnm, en las Provincias de Cañar, Chimborazo, Napo, Tungurahua, desde el bosque andino bajo hasta el bosque andino alto (León-Yáñez et al., 2017). El bosque andino bajo presenta temperatura media de 12 a 17°C, precipitación anual de 500 a 1000 mm, suelos volcánicos y orgánicos, el bosque andino alto presenta temperatura media de 6 a 12°C, precipitación de 500 a 1000 mm, suelos con alto contenido en materia orgánica, suelos ácidos, densos, profundos (Bussmann, 2005).

Además, en Perú se conoce que es una planta endémica del Departamento de Cajamarca en el norte de los Andes peruanos (Lindqvist-Kreuze, Carbajulca, González-Escobedo, Pérez y Bonierbale, 2010). Se ha observado en los valles interandinos de altura media y clima templado o frío en altitudes de 2000 a 3000 msnm, sobre declives de cerros pedregosos, en quebradas de suelos fértiles, específicamente se la encuentra en la provincia de Cajamarca y San Pablo al norte de Perú (Ochoa, 1999).

Solanum minutifoliolum C. es una especie endémica de Ecuador y se encuentra en estado vulnerable por desarrollarse en ecosistemas específicos (Auer et al., 2018). Así, según puntos geográficos de catorce accesiones y un mapa de zonas de vida se pudo observar que *S. minutifoliolum* C. se desarrollan en ecosistemas como: bosque pluvial montano, bosque muy húmedo montano y bosque muy húmedo montano bajo. Esto concuerda con Naranjo et al. (2020), quienes mencionan que se desarrollan en ecosistemas como: Montano, Montano alto y Montano alto superior.

Además, las categorías ecogeográficas permiten reconocer lugares apropiados para las colectas. Así, la categoría ecogeográfica dos con mayor frecuencia (7.01%), se encuentra distribuida en gran parte del callejón interandino, desde la provincia de Carchi hasta la

provincia de Loja, también, esta presente en las estribaciones de la cordillera oriental, en las provincias de Napo y Zamora Chinchipe. De la misma manera, la categoría tres se observa en lugares similares a los de la categoría dos, representando los escenarios más favorables para la colecta de *S. minutifolium* C. basado en las condiciones bioclimáticas, edáficas y geofísicas. La categoría uno presenta menor frecuencia con valores menores al 0.5% siendo sitios menos probables para la colecta.

4.3.8. *Solanum olmosense* O.

4.3.8.1. Variabilidad bioclimática y geofísica de *S. olmosense* O. en Ecuador

Se registra una variable geofísica y 16 bioclimáticas en tres accesiones de *S. olmosense* O. A través de los estadísticos descriptivos se aprecia que la variable precipitación del cuarto más frío presentó el CV más alto (56.35), la estacionalidad de la precipitación fluctuó entre 95 y 106 mm, la estacionalidad de la temperatura osciló entre 15.9 y 25°C, la precipitación del cuarto más frío varió de 149 y 885 mm y del cuarto más seco osciló entre 13 y 17 mm. El rango de temperaturas varió entre 12 y 12.3°C, la temperatura más baja fue en el mes de julio con 11.52°C y la elevación varió entre 1264 y 2379 (Tabla 25).

Tabla 25
Variables bioclimáticas y geofísicas de S. olmosense O. en Ecuador

Variable	Media	Desviación Estándar	Coefficiente/variación	Mínimo	Máximo
Bioclimáticas					
Estacionalidad de precipitación (mm)	100.68	4.49	4.46	95	106
Estacionalidad de temperatura (°C)	20.92	3.77	18.02	15.9	25
Precipitación cuarto frío (mm)	535.3	301.65	56.35	149	885
Precipitación cuarto seco (mm)	15.32	1.7	11.12	13	17
Precipitación enero (mm)	241.63	29.95	12.4	200	269
Precipitación febrero (mm)	282.04	11.08	3.93	269	296
Precipitación marzo (mm)	323.41	12.96	4.01	305	333
Precipitación junio (mm)	18.97	4.96	26.15	15	26
Precipitación septiembre (mm)	8.01	1.41	17.65	6	9
Rango medio de temperaturas diurnas (°C)	12.1	0.14	1.17	12	12.3
Temperatura máxima noviembre (°C)	24.55	2.48	10.11	22.2	28
Temperatura máxima diciembre (°C)	24.05	2.58	10.73	21.5	27.6
Temperatura máxima junio (°C)	24.42	2.14	8.78	22.4	27.4
Temperatura máxima julio (°C)	24.52	2.18	8.9	22.3	27.5
Temperatura máxima agosto (°C)	24.76	2.36	9.55	22.4	28
Temperatura mínima julio (°C)	11.52	2.26	19.63	9.2	14.6
Geofísica					
Elevación (msnm)	1915	472.89	24.69	1264	2379

4.3.8.2. Variabilidad edáfica para *S. olmosense O.*

Dentro de las variables edáficas, el 66% (dos accesiones) se presentó en suelos con grava fina (0-6 mm) y el 34% (una accesión) en suelos con grava media (6-20 mm), además, el 66% (dos accesiones) se desarrolla en suelos moderadamente profundos (51 a 100 cm) y el 34% (una accesión) en suelos con poca profundidad (21 a 50 cm) (Figura 69). También, se encontró que las accesiones estuvieron en suelos con bajo contenido de carbón orgánico, en suelos ácidos (pH entre 4.5 y 5.5) y en suelos con textura franca.

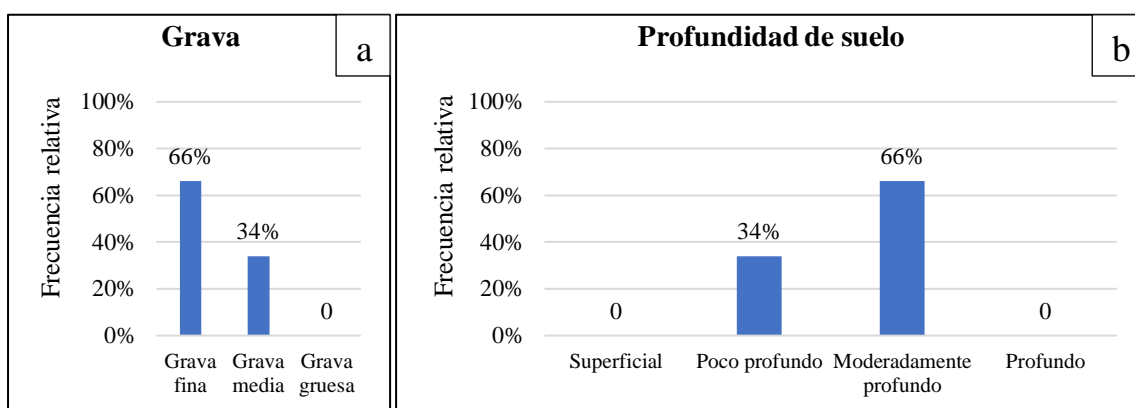


Figura 69. Variabilidad edáfica de dos variables cualitativas de *S. olmosense* O. en Ecuador. **a.** Grava, **b.** Profundidad

Las afinidades entre las cuatro accesiones basadas en las 32 variables ecogeográficas dan lugar a dos grupos (Figura 70). El grupo uno se diferencia por: estacionalidad de precipitación de 95 mm, estacionalidad de temperatura de 15.9°C, suelos con pH ácido, grava media, poco profundo y textura franca. El grupo dos se diferencia por: estacionalidad de precipitación de 106 mm, estacionalidad de temperatura de 21.8°C. El grupo tres con características como: estacionalidad de precipitación de 101 mm, estacionalidad de temperatura de 25°C, el grupo dos y tres son similares por el contenido de carbón orgánico bajo (Sierra), suelos con pH ácido, grava fina, moderadamente profundo y textura franca.

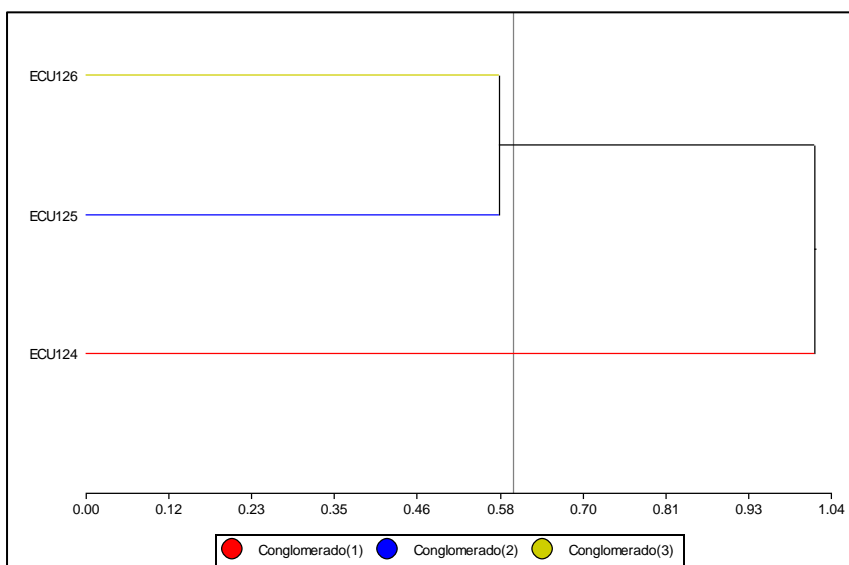


Figura 70. Agrupamiento de las accesiones de *Solanum olmosense* O.

4.3.8.3. Categoría ecogeográfica para *Solanum olmosense* O.

Las accesiones se ubicaron en cinco categorías ecogeográficas (Figura 71), siendo la más frecuente la categoría uno con 1.07%, se caracteriza por presentar una estacionalidad de temperatura de 44.5°C, estacionalidad de precipitación de 24.2 mm, pH del suelo de 5.2, y contenido de carbón orgánico de 5.3%. La categoría cuatro (0.71%) con características como: una estacionalidad de temperatura de 58.6 °C, estacionalidad de precipitación de 35.1 mm, pH del suelo de 5.1 y el contenido de carbón orgánico de 2% y con menor frecuencia las categorías dos, tres y cinco con valores menores al 0.5% representadas en el mapa ELC (Figura 72).

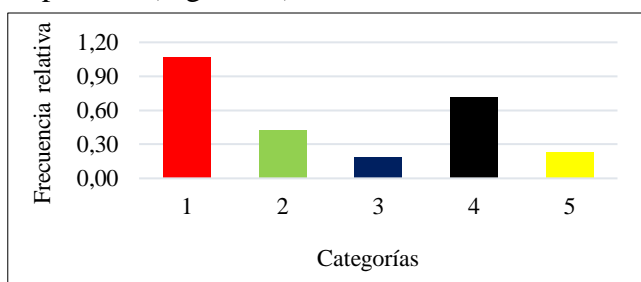


Figura 71. Frecuencias de categorías ecogeográficas basadas en datos bioclimáticos, edáficos y geofísicos

A continuación, se presenta el mapa ELC basado en condiciones bioclimáticas, edáficas y geofísicas.

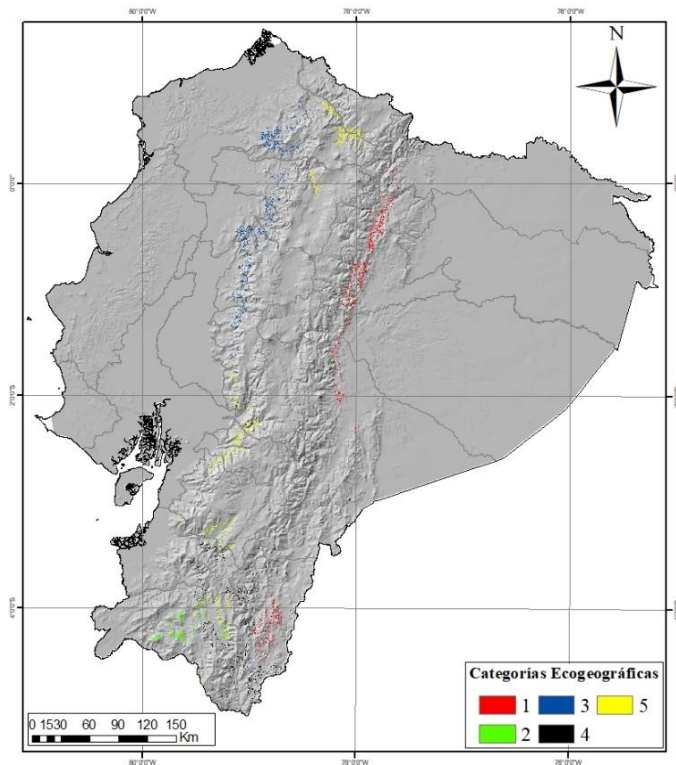


Figura 72. Mapa ELC de caracterización ecogeográfica de *S. olmosense* O. en Ecuador

Solanum olmosense O. se desarrolla en altitudes que van desde 1467 hasta 2309 msnm, crece en condiciones como: estacionalidad de la precipitación entre 95 y 106 mm, estacionalidad de la temperatura entre 15.9 y 25°C, el rango de temperaturas entre 12 y 12.3°C. Crecen en suelos con grava fina y media, moderadamente profundos, con bajo contenido de carbón orgánico, en suelos ácidos (pH entre 4.5 y 5.5) y en suelos de textura franca.

Lo anteriormente mencionado se asemeja a lo encontrado por Löve (1982) al mencionar que *S. olmosense* O. se encuentra en altitudes entre 1400 a 2650 msnm, en Ecuador se colectó en las provincias de El Oro y Loja. En Perú se desarrollan entre arbustos en bosques lluviosos de niebla entre 1200 a 2650 msnm (Bohs, 2005). También, se la encontró en el Departamento de Lambayeque, específicamente en el valle del río Olmos a 1640 msnm (Ochoa, 1999), con características como: estacionalidad de temperatura entre 15 y 24°C, estacionalidad de precipitación entre 11 y 22 mm, crecen en suelos poco profundos, con textura entre franco y franco arenoso, grava fina y suelos ácidos (Llatas-Quiroz y López-Mesones, 2005).

Las especies se distribuyen en un territorio según la adaptabilidad al ambiente (Tapia-Bastidas, 2015). Por ejemplo, *S. olmosense* O. no se encuentra en un amplio rango de ecosistemas. Mediante puntos geográficos de tres accesiones y al uso de un mapa de zonas de vida, se pudo observar que se desarrolla en bosque húmedo pre montano, como lo descrito por Naranjo et al. (2020) quienes mencionan que se desarrolla en ecosistemas como: Montano bajo nival y Piemontano.

Dentro de las categorías ecogeográficas se pudo observar que la categoría uno fue la más frecuente (1.07%) se distribuye en las estribaciones de la cordillera oriental de los Andes específicamente en la provincia de Napo y Zamora Chinchipe. De la misma manera, la categoría cuatro está presente en las estribaciones de la cordillera oriental en la provincia de Zamora Chinchipe siendo los escenarios más favorables para la colecta de *S. olmosense* O. por presentar las características adecuadas para su desarrollo basado en las condiciones bioclimáticas, edáficas y geofísicas. Por el contrario, las categorías con menor frecuencia (dos, tres y cinco) se diferencian por altitud, temperatura, precipitación, pH de suelo,

textura de suelo, etc. se observan distribuidas a lo largo de la cordillera occidental, estos sitios podrían ser aptos para la colecta.

5. CONCLUSIONES

- La temperatura óptima para la germinación de las semillas botánicas de papa silvestre fue de 15°C, sin embargo, algunas especies como *S. albornozii* C., *S. albicans* O. y *S. minutifoliolum* C., presentaron bajo porcentaje de germinación (< 80%), siendo una limitante para la conservación *ex situ* en semillas tipo ortodoxas, en temperaturas como 5 y 25 °C no hubo germinación, lo que implica que la semilla botánica de papa silvestre podría entrar a un estado de dormancia inducida.
- Respecto a la relación entre las características morfométricas de la semilla botánica de papa y el porcentaje germinación, se determinó que semillas con menor tamaño y peso tuvieron un mayor porcentaje de germinación respecto de las semillas de mayor tamaño y peso, esto posiblemente está relacionado con la genética de las especies y las condiciones ambientales donde se desarrollan.
- El ácido giberélico en dosis de 0.4 y 0.6 g/l fue el estimulante que incrementó el porcentaje de germinación y produjo mayor tamaño de radícula e hipocótilo, lo que podría favorecer el crecimiento óptimo de las plántulas que pueden crecer a campo abierto o bajo invernadero y obtener plántulas de calidad.
- Las especies silvestres de papa se desarrollan en rangos de temperatura de 8.2 a 12°C, con precipitaciones de 14 a 106 mm, en suelos de textura Franco, Franco-limosa y Franco-arenosa y en suelos ácidos. El identificar características bioclimáticas, edáficas y geofísicas permite determinar áreas geográficas óptimas para la conservación *in situ* de especies silvestres emparentadas al cultivo de papa, manteniendo así una reserva genética en ambientes naturales.
- Las especies silvestres de papa se encuentran con mayor frecuencia en ecosistemas como bosque húmedo montano, bosque muy húmedo montano, bosque húmedo montano bajo, bosque muy húmedo montano bajo, bosque húmedo pre montano y bosque muy húmedo pre montano. Lo que da referencia que las especies silvestres emparentadas a papa se encuentran distribuidas a lo largo del callejón interandino y en las estribaciones de la cordillera oriental como son la provincia de Napo y Zamora Chinchipe, esta distribución implica un amplio rango de adaptación de las especies por lo que es necesario establecer estrategias de conservación *in situ*.

- El amplio rango de adaptación de las especies silvestres de papa dentro del callejón interandino, basado en las condiciones bioclimáticas, edáficas y geofísicas es una referencia de conservación *in situ* dentro de las áreas naturales protegidas del Ecuador, así, se incentivaría el manejo y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre.

6. RECOMENDACIONES

- Para aumentar el porcentaje de germinación se podría someter a la semilla botánica de papa a temperaturas fluctuantes, tomando como referencia la temperatura óptima que fue a 15°C, ya que, la temperatura influye sobre las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en la semilla después de la rehidratación, si la temperatura es muy alta o baja la germinación no tiene lugar, aunque las condiciones sean favorables.
- Debido al bajo porcentaje de germinación inicial que presentaron algunas de las especies silvestres de papa, se debería usar metodologías más eficientes y rápidas que permitan determinar la viabilidad del material genético necesaria para la conservación de las semillas ortodoxas en el Banco Nacional de Germoplasma.
- El uso de estimulantes de germinación como el ácido giberélico por cumplir funciones como la activación de proteínas que degradan el endospermo de la semilla y el desarrollo celular, promueven la germinación y el desarrollo radicular, aspectos que podrían seguirse evaluando en condiciones de invernadero para la obtención de plántulas de calidad.
- Emplear el programa CAPFITOGEN para determinar posibles áreas de colecta de las especies silvestres de papa, así, se puede intensificar la búsqueda y colecta para complementar las colecciones existentes en el Banco Nacional de Germoplasma. Con esta información se completa la documentación útil para la conservación *ex situ* y se promueve los procesos de conservación *in situ* de los parientes silvestres del cultivo de papa, con el fin de preservar su genética.
- Con la información generada por las herramientas del programa CAPFITOGEN, se podría ubicar materiales silvestres emparentados a los cultivos de seguridad alimentaria, como es el caso de la papa, dentro de las zonas de conservación ubicadas a lo largo del callejón interandino por ejemplo en la Reserva Geobotánica Pululahua, Reserva Ecológica Los Ilinizas, Refugio de Vida Silvestre Pasochoa y Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia española de noticias - EFE. (25 de Mayo de 2007). Extinción de papa y maní silvestres. *Panamá América*, pág. 5.
- Alercia, A., Sears, L., Tazza, P., & Stapleton, P. (2012). Descriptores para el tomate (*Lycopersicum* spp.). *IPGRI*, 4-49.
- Andrade, S., & Laurentin, H. (2015). Efecto del nitrato de potasio sobre la germinación de semillas de tres cultivares de ají dulce (*Capsicum chinense* Jacq). *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, 33, 25-29.
- Araiza, L., Araiza, L., & Martínez, M. (2011). Evaluación de la germinación y crecimiento de plántula de chiltepín (*Capsicum annum* L. variedad *glabriusculum*) en invernadero. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 13, 170-175.
- Ashmore, S. (1997). Status report on the development and application of in vitro techniques for the conservation and use of plant genetic resources. 57 p. Roma: International Plant Genetic Resources Institute.
- Auer, C., Factos, A., Vela, A., & Chocho, V. (2018). Predicting habitat for the wild relatives of potato (*Solanum* section *Petota*) in Ecuador. *Conferencia llevado a cabo en el XII Congreso Latinoamericano de Botánica*, 1. Quito, Ecuador: Ministerio del Ambiente.
- Baker, H. (1972). Seed weight in relation to environmental conditions in California. *Ecology*, 53, 997-1010.
- Bañuelos, N., Salido, P., & Gardea, A. (2008). Etnobotánica del chiltepín. Pequeño gran señor en la cultura de los sonorenses. *Estudios Sociales (Hermosillo, Son.)*, 16(32), 177-205.
- Barreta, A. (2009). Estrategia en los recursos fitogenéticos para los países del cono sur. *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)*, 3, 4-24.
- Barthlott, W., & Voit, G. (1979). Mikromorphologie der samenschalen und taxonomie der Cactaceae: Ein raster-elektronenmikroskopischer Überblick. *Plant Syst*, 132(3), 205-229.
- Baskin, C., & Baskin, M. (2001). Biogeography and evolution of dormancy and germination. En *Seeds. Ecology* (pág. 666). San Diego: Academic Press.

- Bastidas, E. (2008). Biodiversidad y recursos fitogenéticos en la agricultura. *IDESIA*, 26(1), 5-7.
- Bewley, J., & Black, M. (1982). *Physiology and biochemistry of seeds* (Vol. II). New York: Springer-Verlag.
- Bohs, L. (2005). Clados principales en *Solanum* basados en secuencias ndh F. *Botanical Garden Press*, 104, 27-49.
- Bonierbale, M., Amoros, W., Gomez, R., & Bernet, T. (2003). Value-Added options for native potato diversity. 1-13. Spokane WS. USA: 87th Annual Meeting of the Potato Association of America.
- Borja, E. (2017). Caracterización eco-geográfica de *Prunus serotina* Ehrh subsp. *capuli* (Cav.) McVaugh (capulí), en la región andina de Ecuador. *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)*, 3-59.
- Bradford, K. (2004). Seed production and quality. 1, 134. USA: Department of vegetable crop and weed science. University of California.
- Bussmann, R. (2005). Bosques andinos del sur de Ecuador, clasificación, regeneración y uso. *Revista Peruana de Biología*, 12(2), 203-216.
- Butler, T., Celen, A., Webb, S., Krstic, D., & Interrante, S. (2014). Temperature affects the germination of forage legume seeds. *Crop Science*, 54, 2846-2853.
- Cano-Vázquez, A., López-Peralta, M., Zavaleta-Mancera, H., Cruz-Huerta, N., Ramírez-Ramírez, I., Gardea-Béjar, A., & González-Hernández, V. (2015). Variación en grados de latencia en semillas entre colectas de chili Piquín (*Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*). *Botanical Sciences*, 93(1), 175-184.
- Carrillo, E., Mejía, J., Carballo, A., García, G., Aguilar, V., & Corona, T. (2009). Calidad de semilla en colectas de chile de agua (*Capsicum annuum* L.) de los valles centrales de Oaxaca, México. *Agricultura Técnica en México*, 35(3), 257-266.
- Casas, A., Torres_Guevara, J., & Parra, F. (2016). Conservación in situ y ex situ de recursos genéticos. *Domesticación en el continente americano*, 1(1). (A. Casas, Ed.) Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Castillo, J., Estévez, A., González, E., Moré, O., Ortiz, E., & Ortiz, U. (1998). Selección de progenitores para el mejoramiento de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos tropicales*, 19(3), 39-43.

- Castillo, J., Salomón, J., Estévez, A., Pérez, A., & Ortiz, U. (2007). Caracterización morfoagronómica del germoplasma cubano de papa (*Solanum* spp.) Evaluación de las especies silvestres. *Cultivos Tropicales*, 28(1), 63-68.
- Cevallos-Silva, A., & López-Blanco, J. (April de 2003). Evaluating biophysical variables to identify suitable areas for oat in Central México: a multi-criteria and GIS approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 95(1), 371-377.
- Chaves-Barrantes, N., & Gutiérrez-Soto, M. (2017). Prespuestas al estrés por el calor en los cultivos. Tolerancia y tratamiento agronómico. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 255-271.
- Clausen, A., Ispizua, V., Atencio, H., Calandroni, M., & Digilio, A. (2018). Especies silvestres de papa (*Solanum* sect. *Petota* y sect. *Etuberosum*) identificadas en áreas protegidas de la Argentina. *Sociedad Argentina de Botánica*, 53(1), 67-75.
- Coca, M. (2007). Peligro de extinción de especies raras de papas silvestres de Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 42(1), 72-76.
- Cochran, H. (1974). Effect of seed size on uniformity of pimiento transplants (*Capsicum annuum* L.) at harvest time. *American Society for Horticultural Science*(99), 234-235.
- Collis, B. (2006). En busca de sobrevivientes robustos pregunten a las ancianas. *Parientes silvestres de los cultivos*, 16. Roma, Italia: Bioversity International.
- Contreras, A. (2008). Uso de especies silvestres y cultivadas en el mejoramiento de la papa. *AGRO SUR*, 36(3), 115-129.
- Cordazzo, C. (2002). Effect of seed mass on germination and growth in three dominant species in southern Brazilian coastal dunes. *Brazilian Journal of Botany*, 62, 427-435.
- Correll, D. (1962). *The potato and its wild relatives* (Primera ed.). Renner: Texas Research Foudation.
- Cueva, E., Moya, B., Acurio, R., Chiluisa-Utreras, V., & Vaca, I. (2017). Análisis morfológico y morfométrico de semillas de tres especies de orquídeas nativas de la región neotropical del Ecuador. *Revista Bionatura*, 3(1), 527-530.
- Dalzotto, C., & Lallana, V. (2015). Effect of testa in vitro germination of *Bipinnula pennicillata* (Rchb. F.). *Inv. Agr.*, 17(2), 116-121.

- Danielian, A. (2006). Los parientes silvestres revitalizan un antiguo cereal. *Parientes silvestres de los cultivos*, 12. Roma, Italia: Bioversity International.
- De la Cuadra, C. (1993). Germinación, latencia y dormición de las semillas. *Hojas divulgadoras*(3), 2-24.
- Delgado, J., Serrano, J., López, F., & Acosta, F. (2008). Seed size and germination in the Mediterranean fire-prone shrub *Cistus ladanifer*. *Planta Ecology*, 197, 269-276.
- DENAREF. (2019). Informe anual de actividades 2019. . *DENAREF. Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos*, snp. Est.Exp. Santa Catalina. INIAP.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. (2008). InfoStat, versión 2008. *Grupo InfoStat, FCA*. Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.
- Domínguez, C. (2001). Caracterización morfométrica, bioquímica y molecular del chile xalapeño (*Capsicum annum* L, Solanaceae) en el norte del Estado de Veracruz. *Tesis para obtener el grado de doctor en ciencias especialidad: Biotecnología de plantas. Universidad Veracruzana*. Cordoba, Veracruz.
- EFE. (25 de Mayo de 2007). Extinción de papa y maní silvestres. *Panamá América*, pág. 5.
- Elizalde, V., García, J., Peña-Valdivia, C., Ybarra, C., Leyva, O., & Trejo, C. (2017). Viabilidad y germinación de semillas de *Hechtia perotensis* (Bromeliaceae). *Revista de Biología Tropical*, 65(1), 153-165.
- Estrada, N. (2000). *La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa*. (B. Hardy, & E. Martínez, Edits.) La Paz, Bolivia: PROINPA/CID/CIP.
- Estrada, R., Aquino, Y., Medina, T., & Soto, J. (2014). Diversidad genética de papas nativas (*Solanum* spp.) conservadas en cultivares nativos del Perú. *Revista Peruana de Biología*, 20(3), 215-222.
- Estrella, J., Manosalvas, R., Mariaca, J., & Ribadeneira, M. (2005). Biodiversidad y recursos genéticos. *Una guía para uso y acceso en el Ecuador*. Quito, Ecuador: INIAP, MAE y Abya Yala.
- FAO. (1996). Conservación de la biodiversidad: Colecciones in situ y ex situ; el GCIAl.
- FAO. (2008). El Año Internacional de la Papa. *La papa y la biodiversidad*. Roma: Información proporcionada por el Fondo Mundial para la Diversidad de Cultivos y la División de Producción y Protección Vegetal de la FAO.

- Florido, M., & Álvarez, M. (2015). Aspectos relacionados con el estrés de calor en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales*, 36(especial), 77-95.
- Fraile-Robayo, A., Álvarez-Herrera, J., & Deaquiz-Oyola, Y. (2012). Efecto de las giberelinas en la propagación de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo diferentes sustratos enriquecidos con fertilizante. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(1), 41-54.
- Galetti, M., Guevara, R., Córtes, M., Fadini, R., Von, S., Leite, A., . . . Jordano, P. (2013). Functional extinction of birds drives rapid evolutionary changes in seed size. *Scientific Instruments*, 340(6136), 1086-1090.
- Gallego, M., Quintanar, A., & Talavera, S. (2012). *Solanum tuberosum*, Familia *Solanaceae* (Vol. 15). Madrid: Flora ibérica.
- García, A., Montes, S., Rangel, J., García, E., & Mendoza, M. (2010). Respuesta fisiológica de la semilla chile piquín *Capsicum annuum* var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickersgill al ácido giberélico e hidrotermia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(2), 203-216.
- García, C., & Torras, X. (2011). Caracterización de variedades locales de Solanáceas. (*Tesis de maestría*). *Escola Agrària de Manresa*. Barcelona.
- Gold, K., León, P., & Way, M. (2004). *Manual de recolección de semillas de plantas silvestres para conservación a largo plazo y restauración ecológica*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi. La Serena, Chile: Boletín INIA N° 110.
- Gopal, J., & Khurana, S. (2006). *Handbook of potato production, improvement, and postharvest management*. New York: CRC Press.
- Graziano, J. (2011). Producir papa con semilla sexual. *Pro Huerta, INTA EEA*, 1(56), 10-14.
- Hawkes, J., & Hjerting, J. (1969). *Las patatas de Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay. Un estudio Biosistemático*. Reino Unido: Oxford University Press.
- Hawkes, R. (1990). *The potato-evolution, biodiversity and genetic resources*. Oxford UK: Belhaven Press.
- Hendricks, S., & Taylorson, R. (1976). Variation in germination and amino acid leakage of seeds with temperature related to membrane phase change. *Plant Physiology*, 58(1), 7-11.

- Hernández-Verdugo, S., López-España, R., Porras, F., Parra-Terraza, S., Villarreal-Romero, M., & Osuna-Enciso, T. (2010). Variación en la germinación entre poblaciones y plantas de chile silvestre. *AGROCIENCIA*, 44(6), 667-677.
- Heslop-Harrinson, J. (1975). Man and the endangered plant. *IUCN International Year*, 13(16), 103-106.
- Heywood, R., & Dulloo, M. (2005). In situ conservation of wild plant species: a critical global review of best practices. 174 p. Roma, Italia: Ipgri Technical Bulletin.
- Hijmans, R., Gavrilenko, T., Stephenson, S., Bamberg, J., Salas, A., & Spooner, D. (2007). Expansión del rango geográfico y ambiental a través de poliploidía en papas silvestres (sección Solanum Petota). *Global Ecology Biogeography*, 16, 485-495.
- Hinostroza, M. (2015). Producción de tubérculos a partir de semilla sexual de papa (*Solanum tuberosum*) obtenida de los tercios de la planta de dos variedades de polinización abierta. *Tesis de pregrado*. Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Hunter, D., & Heywood, V. (Edits.). (2011). Parientes silvestres de los cultivos: manual para la conservación in situ. Biodiversity International. 1.ed. Roma, Italia.
- Iriondo, J. (2001). Conservación de germoplasma de especies raras y amenazadas. *Investigación Agraria: Prod. Prot. Veg*, 16(1), 6-24.
- ISTA. (1976). International Rules for seed testing. *Seed Science and Technology*(4), 3-177.
- Jaramillo, S., & Baena, M. (2000). *Conservación ex situ de recursos fitogenéticos*. Cali, Colombia: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentación de España.
- Kosinski, I. (2008). Long-term variability in seed size seedling establishment of *Maianthemum bifolium*. *Plant Ecology*, 194, 149-156.
- Kozub, P., Ibañez, V., Digilio, A., Atencio, H., Garavano, M., Sánchez, M., & Marfil, C. (2019). Reservas genéticas de papa silvestre en áreas protegidas: notas de prospección del Parque Nacional Los Cardones, Salta, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 51(2), 461-474.
- Lane, A. (2006). Una introducción a los parientes silvestres de cultivos. *Parientes silvestres de los cultivos*, 1-24. Roma, Italia: Bioersivity International.
- Leishman, M., Wright, J., Moles, A., & Westoby, M. (2000). *The evolutionary ecology of seed size*. New York: CABI Publishing.

- León-Yáñez, S., Valencia, N., Pitman, N., Endara, L., Ulloa, C., & Navarrete, H. (2019). *Libro rojo*. Quito: Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- León-Yáñez, S., Valencia, R., Pitman, N., Endara, L., Ulloa, C., & Navarrete, H. (2017). *Libro rojo de plantas endémicas del Ecuador*. Quito: Publicaciones del Herbario QCA.
- Leopold, A. (2007). La ética de la Tierra. *Ambiente y Desarrollo de CIPMA*, 23(1), 29-40.
- Lindqvist-Kreuzer, H., Carbajulca, D., González-Escobedo, G., Pérez, W., & Bonierbale, M. (2010). Comparison of transcript profiles in late blight-challenged *Solanum cajamarquense* and B3C1 potato clones. *Molecular Plant Pathology*, 11(4), 513-530.
- Llatas-Quiroz, S., & López-Mesones, M. (2005). Bosques montanos-relictos en Kañaris (Lambayeque, Perú). *Revista Peruana de Biología*, 12(2), 209-308.
- Löve, A. (1982). IOPB chromosome number reports LXXV. *TAXON*, 31(2), 342-368.
- MAE. (2012). Constitución del Ecuador. Ministerio del Ambiente de la República del Ecuador.
- MAE. (2015). Ley forestal y de conservación de áreas naturales y vida silvestre. Ministerio del Ambiente de la República del Ecuador.
- MAE. (2017). Ley para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad. Ministerio del Ambiente.
- MAE. (2018). Áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad en el Ecuador continental. Quito, Ecuador: Ministerio del Ambiente.
- MAG. (Enero de 2018). Informe de rendimientos de papa en Ecuador 2017. *Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)*, 1-15. Obtenido de http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/estudios/rendimientos/papa/rendimiento_papa_2017.pdf
- Marín, A., López, C., Pérez, J., & Isaza, G. (2006). Actividad antifúngica de los extractos acuosos de *Baccharis trinervis*, *Baccharis latifolia* y *Solanum dolichosepalum*. *Biosalud*, 5(1), 51-59.
- Martín, J. (2013). Análisis morfológico de las semillas mediante modelos basados en la curva cardioide. *Tesis Doctoral*. España: Universidad de Salamanca.

- Monteros, A., Mosley, A., & Nonogaki, H. (2003). Dormancy and germination of true potato (*Solanum tuberosum* L.) seeds: characterization of endo-B-mannanase genes. *Tesis de Maestría*, 67 p. Oregon: Oregon State University.
- Monteros-Altamirano, A., Buitrón-Bustamante, J., Orbe-Vergara, K., & Cuesta-Subia, X. (2017). Papas nativas ecuatorianas: nombres tradicionales e identidad genética. *Rev. Fitotec*, 40(4), 481-489.
- Mora, A. (2014). Lista Roja de especies amenazadas de la UICN 2014. Resumen para América del Sur. *UICN*, 7-13. Recuperado el 17 de Octubre de 2018, de http://cmsdata.iucn.org/downloads/lroja_sudamerica_2014.pdf
- Morales, D., Rodríguez, P., Dell'Amico, J., Torrecillas, A., & Sánchez-Blanco, M. (2006). Efecto de altas temperaturas en algunas variables del crecimiento y el intercambio gaseoso en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. CV. AMALIA). *Cultivos Tropicales*, 27(1), 45-48.
- Moreno, C. (2012). Efecto de ácido giberélico (AG3), nitrato de potasio (KNO₃) y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPRs), sobre el desarrollo temprano de *Solanum sessiliflorum* (COCONA). *Trabajo especial presentado como requisito parcial para optar al título de Bióloga*. Bogotá, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.
- Naranjo, E. (2017). Caracterización ecogeográfica de tres especies tuberosas altoandinas del Ecuador: melloco (*Ullucus tuberosus* C.), oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) y mashua (*Tropaeolum tuberosum* R y P). (*tesis de maestría*), 49-50. Bayamo: Universidad de Granma.
- Naranjo, E., Rosero, L., Tapia, C., Monteros-Altamirano, A., Tacán, M., Lima, L., . . . Villarroel, J. (2020). Catálogo de especies silvestres relacionadas a las cultivadas en Ecuador: Camote, arroz, fréjol lima, papa y berenjena. *Estación Experimental Santa Catalina. Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos*. Mejía, Ecuador: Publicación Miscelánea XX.
- Ochoa, C. (1954). Nuevos *Solanum* (Tuberarium) de la serie Megistacroloba. *Agronomía*, 19(79-80), 166-173.
- Ochoa, C. (1999). *Las papas de Sudamérica: Perú* (Primera ed.). (I. P. Center, Ed.) Lima, Perú: Allen Press.

- Ohto, M., Stone, S., & Harada, J. (2007). Genetic control of seed development and seed mass. En K. Bradford, & H. Nonogaki, *Seed Development, Dormancy and Germination* (págs. 1-49). USA, USA: Blackwell publishing. Iowa.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. (2014). Normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. Roma, Italia: FAO.
- Painting, K., Perry, M., Denning, R., & Ayad, W. (1995). Guideline for genetic resources documentation. 295 p. Roma, Italia: International Plant Genetic Resources Institute.
- Pallais, N. (1991). True potato seed: changing potato propagation from vegetative to sexual. *HortScience*, 26(3), 239-241.
- Parra, M. (2015). Programa para el fortalecimiento de las capacidades en programas Nacionales de Recursos Fitogenéticos de América Latina. *FAO*, 5-6.
- Parra-Quijano, M., Iriando, J., & Torres, E. (2012). Applications of ecogeography and geographic information systems in conservation and utilization of plant genetic resources. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(2), 419-429.
- Parra-Quijano, M., Torres, E., Iriando, J., & López, F. (2015). Manual de usuario herramientas CAPFITOGEN versión 2.0. *Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura*. Roma: FAO.
- Pérez, F., & Pita, J. (2016). *Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas*. Madrid: LG. SALJEN S.L.
- Pezoa, A. (2001). Estrategias de conservación de la diversidad biológica. En F. Squeo, G. Arancio, & J. Gutiérrez, *Libro rojo de la flora nativa sitios prioritarios para su conservación* (Vol. 18, págs. 273-280). La Serena, Chile: Universidad de la Berena.
- Pichardo, G., Ayala, G., González, H., Flores, O., Carrillo, S., Peña, L., & Robledo, P. (2010). Calidad fisiológica, ácidos grasos y respiración en semillas de tomate de cáscara deterioradas artificialmente. *Rev. Fitotec*(33), 231-238.
- Prado-Urbina, G., Lagunes-Espinoza, L., García-López, E., Bautista-Muñoz, C., Camacho-Chiu, W., Mirafuentes, F., & Aguilar-Rincón, V. (2015). Germinación de semillas de chiles silvestres en respuesta a tratamientos pre-germinativos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(5), 139-149.

- Prieto, V., Pardo, F., Perís, A., Lumbreras, E., Duato, E., & Causera, M. (2001). Efecto de la temperatura en la germinación de semillas de especies silvestres singulares. Universidad de Alcalá.
- Pumisacho, M., & Sherwood, S. (2002). *El cultivo de la papa en el Ecuador* (Primera ed.). Quito, Ecuador: Abya Yala.
- Ramírez, J., & Sáinz, R. (2013). Producción de semilla de papa (*Solanum tuberosum* L.). México: Universidad Autónoma de Sinaloa .
- Rangel, J. (2015). La biodiversidad de Colombia: significado y distribución regional. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*, 39(151), 176-200.
- Raymond, R. (2006). El valor de los parientes silvestres. *Los parientes silvestres de los cultivos*, 5. Roma, Italia: Bioversity International.
- RHS, Royal Horticultural Society. (2007). R. H. S. Colour Chart. London, England: Royal Horticultural Society.
- Richards, C., Antolin, M., Reilley, A., Poole, J., & Walters, C. (2007). Capturing genetic diversity of wild populations for ex situ conservation: Texas wild rice (*Zizania texana*) as a model. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 54, 837-848.
- Rodríguez, I., Adam, G., & Durán , J. (2008). Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y vigor en semillas agricultura. *Rev. Ciencias Agrícolas*, 78(912), 836-842.
- Rodriguez, N. (2017). *Reconociendo malezas - Nicandra physaloides (L.). Familia Solanaceae*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Rodriguez-Burgos, A., Ayala-Garay, O., Hernández, A., Leal-León, V., & Cortez-Mondaca, E. (2011). Desarrollo de fruto y semilla de cinco variedades de tomate de cáscara en Sinaloa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(5), 673-687.
- Román , M., & Hurtado , G. (2002). Cultivo de papa. *Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA)*, 2, 7-12.
- Romero-Saritama, J., & Pérez-Ruiz, C. (2016). Rasgos morfológicos de semillas y su implicación en la conservación ex situ de especies leñosas en los bosques secos Tumbesinos. *Revista científica de ecología y medio ambiente*, 25(2), 59-65.
- Ross, M., & Harper, J. (1972). Occupation of biological space during seedling establishment. *Ecology*, 60, 77-88.

- Salas, A., Gaspar, O., Rodríguez, W., Vargas, M., Centeno, R., & Tay, D. (2008). Especies de papa silvestre. *Centro Internacional de la Papa (CIP)*, 8.
- Salomón, J., Castillo, J., Estévez, A., Arzuaga, J., Ortiz, Ú., Torres de la Noval, W., . . . Vásquez, E. (2012). Estudio de la floración y producción de semilla botánica de polinización libre en genotipos de papa (*Solanum tuberosum*, L.) en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 33(2), 61-67.
- Sánchez, J., Flores, J., & Martínez-García, E. (2006). Efecto del tamaño de semilla en la germinación de *Astrophytum Myriostigma* Lemaire (Cactaceae), Especie amenazada de extinción. *Interciencia*, 31(5), 371-375.
- Sarkinen, T., Baden, M., Gonzáles, P., Cueva, M., Giacomini, L., Spooner, D., . . . Knapp, S. (2015). Listado anotado de *Solanum* L. (Solanaceae) en el Perú. *Revista Peruana de Biología*, 22(1), 003-062.
- Spooner, D., Castillo, R., & López, L. (1993). Synonymy within wild potatoes (*Solanum* sect. *Petota*: Solanaceae): the case of *Solanum andreanum*. *Systematic Botany*, 209-217.
- Spooner, D., Castillo, R., López, T., Pineda, J., León, R., Vargas, A., . . . Bamberg, J. (1995). Colombia and Venezuela 1992 wild potato (*Solanum* sect. *Petota*) germplasm collecting expedition: taxonomy and new germplasm resources. *Euphytica*, 81, 45-56.
- Srivastava, M. (2002). Gibberellins. *Plant growth and development: Hormones and environment*, 171-190. San Diego, California: Associated Press.
- Steinbauer, G. (1957). Interaction of temperature and moistening agents in the germination and early development of potato seedlings. *American Potato Journal*, 34(4), 89-93.
- Tapia, C., Bravo, A., & Larrea, C. (2015). Áreas de agro-biodiversidad fenotípica entre variedades de un conjunto seleccionado de cultivos nativos estratégicos para la seguridad alimentaria. *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)*, 35.
- Tapia, C., Rosales, O., & Suárez-Duque, D. (2017). Zonas para la conservación de diez cultivos nativos. Quito, Ecuador: INIAP/MAG/FAO/GEF/UTN.
- Tapia-Bastidas, G. (2015). Identificación de áreas prioritarias para la conservación de razas de maíz en la Sierra de Ecuador. 155. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Biología Vegetal.

- Taylorson, R., & Hendricks, S. (1977). Dormancy in seeds. *Annual Review of Plant Physiology*, 28, 331-354.
- Torres, F. (1993). Producción de semilla sexual de papa (SPP) bajo las condiciones tropicales de Nicaragua. *Revista Latinoamericana de la papa*, 5(6), 1-16.
- UICN. (2018). Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador. Quito, Ecuador: Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Varela, A., & Ron, S. (2018). Geografía y clima de Ecuador. Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Vaughton, G., & Ramsey, M. (1998). Sources and consequences of seed mass variation in *Banksia marginata* (Proteaceae). *Rev. Ecol*, 86(1), 563-573.
- Vázquez-Yanes, C., & Toledo, J. (1989). El almacenamiento de semillas en la conservación de especies vegetales. Problemas y aplicaciones. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*(49), 61-69.
- Vélez, J., Pineda, R., Galindo, L., Arango, R., & Morales, J. (2015). Current situation of wild *Solanum* spp. L. sect. *Petota* (*Solanum*, Solanaceae) in some Colombian regions. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 63, 47-54.
- Wagner, K. (2007). ¡Utilice los parientes silvestres de cultivos, o los pierde! *Los parientes silvestres de los cultivos*, 4. Roma, Italia: Bioersivity International .
- Waller, D. (1985). The genesis of size hierarchies *capensis* Meerb. *New Phytologist*, 100, 243-260.
- Weaver, R. (1976). *Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura*. México: Editorial Trillas.
- Werker, E. (1997). *Seed anatomy* (Vol. 3). Berlín: Borntraeger.
- Willenborg, C., Wildeman, J., Miller, A., Rossnagel, B., & Shirliffe, S. (2005). Oat germination characteristics differ among genotypes, seed sizes, and osmotic potentials. *Crop Science*, 45, 2023-2059.
- Willians, C., Hargrove, W., Liebman, M., & James, D. (2008). Agro-ecoregionalization of Iowa using multivariate geographical clustering. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 123(1), 161-174.
- Zheng, C., Jiang, D., Liub, F., Dai, T., Liu, W., Jing, Q., & Cao, W. (2009). Exogenous nitricoxide improves seed germination in wheat against mitochondrial oxidate

damage induced by high salinity. *Environmental and Experimental Botany*, 67, 222-227.

Zúñiga, S. (1988). Efecto de diferentes niveles de fertilización en la producción de fruto y semilla de chile serrano (*Capsicum annuum* L.). *Tesis Profesional FAUANL*. Marín N.L, México: Universidad Autónoma de Nuevo León.

8. ANEXOS

Anexo 1

Descripción de especies silvestres emparentadas a papa en estudio

#	Núm_colección	Cod_institución	País	Provincia	Cantón	Parroquia
<i>S. albicans</i> O.						
1	ENLRNL-012	ECU129	Ecuador	Chimborazo	Colta	NA
2	ENLRNL-013	ECU130	Ecuador	Chimborazo	Colta	Juan de Velasco
3	ENLRNL-014	ECU131	Ecuador	Bolívar	San Miguel	San Pablo
4	ENLRNL-015	ECU132	Ecuador	Chimborazo	Riobamba	Calpi
<i>S. albornozii</i> C.						
5	ENJV-003	ECU14	Ecuador	Loja	Loja	Belonia
6	ENLRNL-001	ECU116	Ecuador	Loja	Loja	El Sagrario
7	ENLRNL-002	ECU117	Ecuador	Loja	Loja	El Sagrario
8	ENLRNL-003	ECU118	Ecuador	Loja	Loja	El Sagrario
9	ENLRNL-004	ECU119	Ecuador	Loja	Loja	El Sagrario
10	ENLRNL-005	ECU120	Ecuador	Loja	Loja	El Sagrario
11	ENLRNL-006	ECU121	Ecuador	Loja	Loja	El Sagrario
12	ENLRNL-007	ECU122	Ecuador	Loja	Loja	El Sagrario
13	ENLRNL-008	ECU123	Ecuador	Loja	Loja	Malacatos
14	DS-5030	ECU5619	Ecuador	Loja	Loja	Loja
15	DS-5032	ECU5621	Ecuador	Loja	Loja	Loja
16	DS-5033	ECU5622	Ecuador	Loja	Loja	Jimbilla
17	DS-5040	ECU5625	Ecuador	Loja	Saraguro	San Anton. Cumbe
<i>S. andreanum</i> B.						
18	ENAM-007	ECU21	Ecuador	Cotopaxi	Laso	Laso
19	ENAM-008	ECU22	Ecuador	Cotopaxi	Laso	Laso
20	ENAM-009	ECU23	Ecuador	Cotopaxi	Laso	Laso
21	ENLRLL-001	ECU24	Ecuador	Sucumbíos	Alto Sucumbíos	La Bonita
22	ENLRLL-002	ECU25	Ecuador	Sucumbíos	Alto Sucumbíos	La Bonita
23	ENLRLL-003	ECU26	Ecuador	Sucumbíos	Alto Sucumbíos	Santa Bárbara

Anexo 1. Continuación... ..

#	Núm_colección	Cod_institución	País	Provincia	Cantón	Parroquia
24	ENLRL-004	ECU27	Ecuador	Napo	Baeza	Cosanga
25	ENLRL-005	ECU28	Ecuador	Napo	Baeza	Bermejo
26	LRLJV-002	ECU37	Ecuador	Napo	Quijos	Papallacta
27	LRLJV-007	ECU42	Ecuador	Napo	Baeza	Cosanga
28	LRAMLS-003	ECU83	Ecuador	Napo	Cosanga	Cosanga
29	LRAMLS-010	ECU90	Ecuador	Tungurahua	Píllaro	Pisayambo
30	ENLR-015	ECU127	Ecuador	Carchi	Tulcán	Maldonado
31	ENLR-016	ECU128	Ecuador	Carchi	Tulcán	Maldonado
32	ENLRNL-028	ECU147	Ecuador	Bolívar	Chimbo	Magdalena
33	ENLRNL-029	ECU148	Ecuador	Bolívar	Chimbo	Magdalena
34	ENLRNL-030	ECU149	Ecuador	Bolívar	San Miguel	San Pablo
35	ENLRNL-031	ECU150	Ecuador	Bolívar	Guaranda	Salinas
36	ENLRL-016	ECU160	Ecuador	Napo	Baeza	Cosanga
37	DS-5014	ECU5610	Ecuador	Pichincha	Quito	Lloa
38	DS-5074	ECU5643	Ecuador	Bolívar	Guaranda	Simiatug
39	DS-5075	ECU5644	Ecuador	Bolívar	Guaranda	Salinas
40	DS-5101	ECU5664	Ecuador	Sucumbíos	Sucumbíos	Santa Bárbara
41	DS-5102	ECU5665	Ecuador	Sucumbíos	Sucumbíos	Santa Bárbara
42	DS-5123	ECU5673	Ecuador	Napo	El Chaco	Linares
43	DS-5125	ECU5675	Ecuador	Pichincha	Quito	Nono
44	DS-5126	ECU5676	Ecuador	Napo	El Chaco	Linares
45	DS-5127	ECU5677	Ecuador	Napo	El Chaco	Pineda
46	DS-5133	ECU5680	Ecuador	Bolívar	Guaranda	Simiatug
47	DS-5134	ECU5681	Ecuador	Bolívar	Guaranda	Simiatug
48	DS-5152	ECU5694	Ecuador	Morona Santiago	Morona	Macas
49	DS-5153	ECU5695	Ecuador	Morona Santiago	Morona	Macas
50	DS-5155	ECU5697	Ecuador	Morona Santiago	Morona	Macas
51	DS-5156	ECU5698	Ecuador	Morona Santiago	Morona	Macas
52	DS-5157	ECU5699	Ecuador	Morona Santiago	Morona	Macas

Anexo 1. Continuación... ..

#	Núm_colección	Cod_institución	País	Provincia	Cantón	Parroquia
<i>S. chilliasense O.</i>						
53	DS-5159	ECU5701	Ecuador	Napo	Quijos	Cosanga
54	DS-5131	ECU5702	Ecuador	Bolívar	Guaranda	Salinas
55	LRGPNL-001	ECU113	Ecuador	El Oro	Chilla	Chilla
56	LRGPNL-003	ECU115	Ecuador	El Oro	Zaruma	Guartiguro
57	DS-5057	ECU5632	Ecuador	El Oro	Chilla	Chilla
58	DS-5058	ECU5633	Ecuador	El Oro	Chilla	Chilla
<i>S. chomatophilum B.</i>						
59	LRNL-001	ECU136	Ecuador	Pichincha	Quito	Lloa
60	LRNL-002	ECU137	Ecuador	Pichincha	Quito	Lloa
61	LRNL-003	ECU138	Ecuador	Pichincha	Quito	Lloa
62	ENLRNL-020	ECU139	Ecuador	Pichincha	Quito	Lloa
63	ENLRNL-021	ECU140	Ecuador	Pichincha	Quito	Mindo
64	ENLRNL-022	ECU141	Ecuador	Pichincha	Quito	Chillogallo
65	ENLRNL-024	ECU143	Ecuador	Pichincha	Pedro V. Maldonado	Nanegal
<i>S. colombianum D.</i>						
66	ENCT-001	ECU3	Ecuador	Azuay	Paute	Bulan
67	ENLR-005	ECU8	Ecuador	Carchi	Tulcán	Maldonado
68	ENLR-006	ECU9	Ecuador	Carchi	Tulcán	Maldonado
69	ENLRLL-006	ECU29	Ecuador	Pichincha	Quito	Papallacta
70	ENLRBG-011	ECU32	Ecuador	Chimborazo	Guamote	Cebadas
71	ENLRBG-012	ECU33	Ecuador	Chimborazo	Guamote	Cebadas
72	LRLJV-001	ECU36	Ecuador	Napo	Quijos	Baeza
73	LRLJV-003	ECU38	Ecuador	Napo	Quijos	Papallacta
74	LRLJV-006	ECU41	Ecuador	Napo	Quijos	Cuyuja
75	LRAMLS-001	ECU81	Ecuador	Napo	Baeza	Papallacta
76	LRAMLS-002	ECU82	Ecuador	Napo	Baeza	Papallacta
77	ENLRNL-016	ECU133	Ecuador	Chimborazo	Guamote	Cebadas
78	ENLRNL-025	ECU144	Ecuador	Pichincha	Pedro V. Maldonado	Nanegal

Anexo 1. Continuación... ..

#	Núm_colección	Cod_institución	País	Provincia	Cantón	Parroquia
79	DS-5004	ECU5602	Ecuador	Pichincha	Cayambe	Olmedo
80	DS-5005	ECU5603	Ecuador	Pichincha	Cayambe	Olmedo
81	DS-5006	ECU5604	Ecuador	Pichincha	Cayambe	Olmedo
82	DS-5009	ECU5607	Ecuador	Pichincha	Quito	Nono
83	DS-5025	ECU5616	Ecuador	Pichincha	Quito	Puembo
84	DS-5047	ECU5628	Ecuador	Azuay	Girón	San Juan Bosco
85	DS-5050	ECU5629	Ecuador	Azuay	Girón	Cumbe
86	DS-5052	ECU5630	Ecuador	Azuay	Girón	Cumbe
87	DS-5051	ECU5631	Ecuador	Azuay	Girón	Cumbe
88	DS-5062	ECU5636	Ecuador	Cañar	Azogues	Guapan
89	DS-5063	ECU5637	Ecuador	Cañar	Azogues	Guapan
90	DS-5078	ECU5646	Ecuador	Chimborazo	Guano	Santa Fe de Galán
91	DS-5081	ECU5648	Ecuador	Tungurahua	Baños	Rio Negro
92	DS-5083	ECU5650	Ecuador	Tungurahua	Baños	Rio Negro
93	DS-5089	ECU5654	Ecuador	Cotopaxi	Pujilí	Pívalo
94	DS-5090	ECU5655	Ecuador	Cotopaxi	Pujilí	Pívalo
95	DS-5119	ECU5671	Ecuador	Napo	Baeza	Baeza
96	DS-5120	ECU5672	Ecuador	Napo	Baeza	Baeza
97	DS-5135	ECU5682	Ecuador	Tungurahua	Baños	Rio Negro
98	DS-5139	ECU5684	Ecuador	Cañar	Azogues	Rivera
99	DS-5140	ECU5685	Ecuador	Cañar	El Tambo	Ingapirca
100	DS-5143	ECU5687	Ecuador	Cañar	Azogues	Taday
101	DS-5144	ECU5688	Ecuador	Chimborazo	Guamote	Cebadas
102	DS-5143	ECU5689	Ecuador	Chimborazo	Guamote	Cebadas
103	DS-5147	ECU5690	Ecuador	Chimborazo	Guamote	Cebadas
<i>S. minutifoliolum C.</i>						
104	LRLJ-029	ECU101	Ecuador	Napo	Baeza	Papallacta
105	LRLJ-030	ECU102	Ecuador	Napo	Baeza	Papallacta
106	LRLJ-031	ECU103	Ecuador	Napo	Baeza	Cosanga

Anexo 1. Continuación... ..

#	Núm_colección	Cod_institución	País	Provincia	Cantón	Parroquia
107	LRLJ-032	ECU104	Ecuador	Napo	Baeza	Cosanga
108	LRAMNL-001	ECU106	Ecuador	Tungurahua	Baños	Ulba
109	LRAMNL-002	ECU107	Ecuador	Tungurahua	Baños	Ulba
110	LRAMNL-003	ECU108	Ecuador	Tungurahua	Baños	Ulba
111	LRAMNL-004	ECU109	Ecuador	Tungurahua	Baños	Ulba
112	LRAMNL-005	ECU110	Ecuador	Tungurahua	Baños	Baños
113	LRAMNL-007	ECU112	Ecuador	Tungurahua	Patate	El Triunfo
114	ENLRNL-026	ECU145	Ecuador	Tungurahua	Baños	Ulba
115	ENLRNL-027	ECU146	Ecuador	Tungurahua	Baños	Ulba
116	DS-5080	ECU5647	Ecuador	Tungurahua	Baños	Rio Negro
117	DS-5085	ECU5652	Ecuador	Tungurahua	Baños	Rio Negro
<i>S. olmosense O.</i>						
118	ENLRNL-009	ECU124	Ecuador	Loja	Célica	Colay
119	ENLRNL-010	ECU125	Ecuador	Loja	Célica	El Coposo
120	ENLRNL-011	ECU126	Ecuador	Loja	Célica	Mercadillo

Anexo 2

Datos ecogeográficos de S. albicans O. de las categorías más frecuentes identificadas

Variables/categorías	1	2	3
Variables bioclimáticas			
Rango medio de temperaturas diurnas °C	10.6	10.6	10.4
Estacionalidad precipitación (mm)	41.2	43.4	39.1
Estacionalidad temperatura °C	41.6	43.6	35.3
Precipitación cuarto más frío (mm)	12.9	16.9	17.5
Precipitación cuarto más seco (mm)	10.6	12.8	13.5
Precipitación media enero (mm)	75.1	77.7	88.7
Precipitación media febrero (mm)	96	100.6	112.7
Precipitación media marzo (mm)	112.3	122.3	129.7
Precipitación media junio (mm)	44.3	66.7	65.6
Precipitación media septiembre (mm)	43.9	55.02	62.6
Temperatura máxima noviembre °C	20.3	19.3	17.1
Temperatura máxima diciembre °C	20.2	19.1	16.9
Temperatura máxima junio °C	18.9	17.7	15.9
Temperatura máxima julio °C	18.7	17.3	15.6
Temperatura mínima julio °C	8.3	6.9	5.3
Variables geofísicas			
Elevación	2563	2763	3082
Esticidad	-0.0002	0.0301	0.0023
Variables edáficas			
Profundidad	100	100	100
Arcilla en subsuelo (%)	23.5	57.9	15.4
Arcilla en suelo (%)	22.3	46.6	13.3
Arena en suelo (%)	48.7	23.5	46.6
Bases intercambiables en subsuelo	29.9	18.4	7.6
Carbonato de calcio en suelo	2.2	0	0
Carbón orgánico en suelo (%)	0.7	0.8	3.2
Capacidad de intercambio en subsuelo (%)	29.9	20.9	12.4
Grava en suelo (%)	11.9	0.4	2.0
pH suelo	7.9	5.8	5.5
Salinidad suelo dS/m	0.2	0	0
Saturación bases en subsuelo (%)	100	87.9	61.1
Saturación bases en suelo (%)	100	84.7	39.0

Anexo 3

Datos ecogeográficos de S. albornozii C. de las categorías más frecuentes identificadas

Variables/categorías	1	2	3	4
Variables bioclimáticas				
Rango medio de temperaturas diurnas °C	11.4	11.1	10.9	10.2
Estacionalidad precipitación (mm)	25.8	70.3	38.5	40.1
Estacionalidad temperatura °C	45.6	23.4	36.2	36.2
Precipitación cuarto más frío (mm)	845.3	352.2	130.2	197.8
Precipitación cuarto más seco (mm)	466.3	111.2	114.1	145.3
Precipitación media enero (mm)	155.3	234.2	71.0	97.3
Precipitación media febrero (mm)	163.9	261.5	94.2	121.8
Precipitación media marzo (mm)	215.9	288.4	111.2	139.1
Precipitación media junio (mm)	324.9	56.4	51.9	71.7
Precipitación media septiembre (mm)	217.8	56.6	53.7	65.5
Temperatura máxima noviembre °C	24.7	23.1	18.0	17.1
Temperatura máxima diciembre °C	24.4	23.0	17.9	16.9
Temperatura máxima junio °C	22.7	23.1	16.7	15.8
Temperatura máxima julio °C	22.3	23.2	16.6	15.5
Temperatura máxima agosto °C	22.8	23.5	16.9	15.8
Temperatura mínima julio °C	11.6	11.1	58.4	55.6
Variables geofísicas				
Elevación	1918.6	1894.6	2985.3	3060.0
Esticidad	0.0049	-0.0001	0.0017	0.0037
Variables edáficas				
Profundidad	100	100	100	100
Arcilla en subsuelo (%)	21.3	18.8	19.6	16.8
Arcilla en suelo (%)	20.3	18.4	14.8	15.9
Arena en suelo (%)	42.1	39.4	53.4	40.7
Bases intercambiables en subsuelo	4.4	5.2	15.1	6.3
Carbonato de calcio en suelo	0	0	0.5	0
Carbón orgánico en suelo (%)	2.8	3.3	0.8	4.1
Capacidad de intercambio en subsuelo (%)	11.2	14.6	16.0	12.9
Grava en suelo (%)	1.9	1.9	2.3	2.9
pH suelo	5.2	5.2	6.5	5.2
Salinidad suelo dS/m	0	0	0.1	0
Saturación bases en subsuelo (%)	37.4	37.8	92.8	47.3
Saturación bases en suelo (%)	25.8	22.0	87.6	19.5
Sodicidad en subsuelo (%)	1	1	1.5	1

Anexo 4

Datos ecogeográficos de S. andreanum B. de las categorías mas frecuentes identificadas

Variables/categorías	1	2	3	4	5	6
Variables bioclimáticas						
Rango medio de temperaturas diurnas °C	10.5	10.6	10.8	10.5	10.7	10.7
Estacionalidad precipitación (mm)	39.7	44.7	38.1	39.6	44.3	37.1
Estacionalidad temperatura °C	35.4	28.2	60.8	35.5	27.8	61.1
Precipitación media enero (mm)	91.2	83.7	62.2	90.7	81.3	61.9
Precipitación media febrero (mm)	114.8	106.2	78.9	114.3	103.7	78.9
Precipitación media marzo (mm)	132.5	120.5	100.8	132.0	117.2	100.9
Precipitación media junio (mm)	68.0	43.5	43.5	67.6	43.0	44.6
Precipitación media septiembre (mm)	63.9	43.1	43.9	63.8	43.3	44.8
Temperatura máxima noviembre °C	17.6	20.8	20.7	17.6	20.9	20.6
Temperatura máxima diciembre °C	17.4	20.7	20.6	17.4	20.8	20.4
Temperatura máxima junio °C	16.4	20.0	18.6	16.4	20.1	18.4
Temperatura máxima julio °C	16.2	20.0	18.1	16.1	20.1	18.0
Temperatura máxima agosto °C	16.5	20.2	18.4	16.4	20.4	18.2
Temperatura mínima julio °C	5.8	9.2	8.0	5.8	9.3	7.9
Variables geofísicas						
Elevación	2985	2397	2619	2997	2374	2637
Esticidad	0.6411	0.6350	0.6386	-0.6356	-0.6238	-0.6234
Variables edáficas						
Profundidad	100	100	100	100	100	100
Arcilla en subsuelo (%)	17.5	8.9	48.0	17.4	8.5	48.0
Arcilla en suelo (%)	15.1	8.3	46.0	14.9	7.9	46.0
Arena en suelo (%)	45.2	60.3	29.0	45.4	59.8	29.0
Bases intercambiables en subsuelo	8.1	25.2	38.0	8.1	25.3	38.0
Carbonato de calcio en suelo	0.1	2.1	2.4	0.1	2.1	2.4
Carbón orgánico en suelo (%)	3.1	0.4	1.3	3.1	0.4	1.3
Capacidad de intercambio/subsuelo (%)	12.9	25.2	38.0	12.8	25.3	38.0
Grava en suelo (%)	1.9	16.5	4.0	1.9	15.4	4.0
pH suelo	5.5	8.0	7.9	5.5	8.0	7.9
Salinidad suelo dS/m	0	0.1	0.4	0	0.1	0.4
Saturación bases en subsuelo (%)	61.7	100	100	61.9	100	100
Saturación bases en suelo (%)	40.3	100	100	40.6	100	100
Sodicidad en subsuelo (%)	1.1	2.5	2.0	1.1	2.5	2.0

Anexo 5

Datos ecogeográficos de S. chilliasense O. de las categorías mas frecuentes identificadas

Variables/categorías	1	2
Variables bioclimáticas		
Rango medio de temperaturas diurnas °C	10.3	10.9
Estacionalidad precipitación (mm)	39.8	39.0
Estacionalidad temperatura °C	36.2	36.1
Precipitación cuarto más frío (mm)	238.2	134.2
Precipitación cuarto más seco (mm)	161.9	113.1
Precipitación media enero (mm)	102.7	71.9
Precipitación media febrero (mm)	125.9	95.4
Precipitación media marzo (mm)	145.5	112.6
Precipitación media junio (mm)	84.8	51.6
Precipitación media septiembre (mm)	73.4	53.4
Temperatura máxima noviembre °C	17.6	18.1
Temperatura máxima diciembre °C	17.4	17.9
Temperatura máxima junio °C	16.4	16.8
Temperatura máxima julio °C	16.1	16.7
Temperatura máxima agosto °C	16.3	17.0
Temperatura mínima julio °C	6.0	5.9
Variables geofísicas		
Elevación	2971.5	2973.5
Esticidad	0.0038	0.0014
Variables edáficas		
Profundidad	100	100
Arcilla en subsuelo (%)	16.9	19.5
Arcilla en suelo (%)	16.1	14.8
Arena en suelo (%)	41.3	53.5
Bases intercambiables en subsuelo	6.1	15.2
Carbonato de calcio en suelo	0	0.5
Carbón orgánico en suelo (%)	4.1	0.8
Capacidad de intercambio en subsuelo (%)	12.8	16.1
Grava en suelo (%)	2.8	2.5
pH suelo	5.2	6.5
Salinidad suelo dS/m	0	0.1
Saturación bases en subsuelo (%)	47.3	92.8
Saturación bases en suelo (%)	20.3	87.7
Sodicidad en subsuelo (%)	1	1.5

Anexo 6

Datos ecogeográficos de S. chomatophilum B. de las categorías frecuentes identificadas

VARIABLES/CATEGORÍAS	1	2	3
Variables bioclimáticas			
Rango medio de temperaturas diurnas °C	10.6	10.5	9.6
Estacionalidad precipitación (mm)	41.2	39.4	34.5
Estacionalidad temperatura °C	41.6	35.8	29.7
Precipitación cuarto más frío (mm)	129.1	175.2	188.8
Precipitación cuarto más seco (mm)	106.0	135.4	146.7
Precipitación media enero (mm)	75.1	88.2	89.5
Precipitación media febrero (mm)	96.0	112.4	100.2
Precipitación media marzo (mm)	112.3	129.7	116.7
Precipitación media junio (mm)	44.3	65.6	64.2
Precipitación media septiembre (mm)	43.9	62.3	59.9
Temperatura máxima noviembre °C	20.3	17.2	15.8
Temperatura máxima diciembre °C	20.2	17.0	15.5
Temperatura máxima junio °C	18.9	16.0	15.3
Temperatura máxima julio °C	18.7	15.7	14.9
Temperatura máxima agosto °C	18.9	16.0	15.2
Temperatura mínima julio °C	8.3	5.5	5.4
Variables geofísicas			
Elevación	2563.4	3068.1	3096.8
Esticidad	-0.0002	0.0032	0.0157
Variables edáficas			
Profundidad	100	100	100
Arcilla en subsuelo (%)	23.5	17.5	8.9
Arcilla en suelo (%)	22.3	15.0	7.9
Arena en suelo (%)	48.7	45.3	57.9
Bases intercambiables en subsuelo	29.9	8.1	6.9
Carbonato de calcio en suelo	2.2	0	0
Carbón orgánico en suelo (%)	0.7	3.1	6.1
Capacidad de intercambio en subsuelo (%)	29.9	12.8	9.6
Grava en suelo (%)	11.9	1.9	0.9
pH suelo	7.9	5.5	5.6
Salinidad suelo dS/m	0.2	0	0
Saturación bases en subsuelo (%)	100	62.0	75.7
Saturación bases en suelo (%)	100	41.3	29.6
Sodicidad en subsuelo (%)	2.3	1.1	1

Anexo 7

Datos ecogeográficos de S. colombianum D. de las categorías más frecuentes identificadas

Variables/categorías	1	2	3	4
Variables bioclimáticas				
Rango medio de temperaturas diurnas °C	12.3	10.6	10.6	10.4
Estacionalidad precipitación (mm)	38.2	41.2	43.4	39.1
Estacionalidad temperatura °C	39.2	41.6	43.6	35.3
Precipitación cuarto más frío (mm)	835.0	129.1	169.8	175.8
Precipitación cuarto más seco (mm)	351.5	106.0	128.6	135.9
Precipitación media enero (mm)	107.5	75.1	77.7	88.7
Precipitación media febrero (mm)	132.0	96.0	100.6	112.7
Precipitación media marzo (mm)	153.2	112.3	122.3	129.7
Precipitación media junio (mm)	322.7	44.3	66.7	65.6
Precipitación media septiembre (mm)	178.5	43.9	55.0	62.6
Temperatura máxima noviembre °C	24.0	20.3	19.3	17.1
Temperatura máxima diciembre °C	23.5	20.2	19.1	16.9
Temperatura máxima junio °C	22.3	18.9	17.7	15.9
Temperatura máxima julio °C	21.7	18.7	17.3	15.6
Temperatura máxima agosto °C	22.0	18.9	17.6	15.9
Temperatura mínima julio °C	9.9	8.3	6.9	5.3
Variables geofísicas				
Elevación	2263.3	2563.4	2763.9	3082.8
Esticidad	-0.7892	-0.0002	0.0301	0.0023
Variables edáficas				
Profundidad	100	100	100	100
Arcilla en subsuelo (%)	63.0	23.5	57.9	15.4
Arcilla en suelo (%)	56.0	22.3	46.6	13.3
Arena en suelo (%)	24.0	48.7	23.5	46.6
Bases intercambiables en subsuelo	16.7	29.9	18.4	7.6
Carbonato de calcio en suelo	0	2.2	0	0
Carbón orgánico en suelo (%)	0.4	0.7	0.8	3.2
Capacidad de intercambio en subsuelo (%)	21.0	29.9	20.9	12.4
Grava en suelo (%)	0	11.9	0.4	2.0
pH suelo	6.0	7.9	5.8	5.5
Salinidad suelo dS/m	0	0.2	0	0
Saturación bases en subsuelo (%)	80.0	100	87.9	61.1
Saturación bases en suelo (%)	75.0	100	84.7	39.0
Sodicidad en subsuelo (%)	2.0	2.3	2.4	1.1

Anexo 8

Datos ecogeográficos de S. minutifolium C. de las categorías frecuentes identificadas

Variables/categorías	1	2	3
Variables bioclimáticas			
Rango medio de temperaturas diurnas °C	12.3	10.2	10.9
Estacionalidad precipitación (mm)	38.2	39.9	38.5
Estacionalidad temperatura °C	39.2	36.0	36.2
Precipitación cuarto más frío (mm)	835.0	197.5	130.2
Precipitación cuarto más seco (mm)	351.5	145.3	114.0
Precipitación media enero (mm)	107.5	97.1	71.0
Precipitación media febrero (mm)	132.0	121.1	94.2
Precipitación media marzo (mm)	153.2	138.4	111.2
Precipitación media junio (mm)	322.7	71.4	51.9
Precipitación media septiembre (mm)	178.5	65.3	53.7
Temperatura máxima noviembre °C	24.0	17.1	18.0
Temperatura máxima diciembre °C	23.5	16.9	17.9
Temperatura máxima junio °C	22.3	15.8	16.7
Temperatura máxima julio °C	21.7	15.5	16.6
Temperatura máxima agosto °C	22.0	15.8	16.9
Temperatura mínima julio °C	9.9	5.5	5.8
Variables geofísicas			
Elevación	2263.2	3060.7	2985.3
Esticidad	-0.7892	0.0041	0.0017
Variables edáficas			
Profundidad	100	100	100
Arcilla en subsuelo (%)	63.0	16.6	19.6
Arcilla en suelo (%)	56.0	15.6	14.8
Arena en suelo (%)	24.0	41.3	53.4
Bases intercambiables en subsuelo	16.7	6.3	15.1
Carbonato de calcio en suelo	0	0	0.5
Carbón orgánico en suelo (%)	0.4	4.2	0.8
Capacidad de intercambio en subsuelo (%)	21.0	12.8	16.0
Grava en suelo (%)	0	2.8	2.3
pH suelo	6.0	5.2	6.5
Salinidad suelo dS/m	0	0	0.1
Saturación bases en subsuelo (%)	80.0	48.3	92.8
Saturación bases en suelo (%)	75.0	19.8	87.6
Sodicidad en subsuelo (%)	2.0	1.0	1.5

Anexo 9

Datos ecogeográficos de *S. olmosense* O. de las categorías más frecuentes identificadas

Variables/categorías	1	2	3	4	5
Variables bioclimáticas					
Rango medio de temperaturas diurnas °C	11.4	12.1	10.1	10.3	11.1
Estacionalidad precipitación (mm)	24.2	84.5	62.0	35.1	55.7
Estacionalidad temperatura °C	44.5	26.5	21.1	58.6	20.5
Precipitación cuarto más frío (mm)	703.7	429.6	316.6	312.2	160.7
Precipitación cuarto más seco (mm)	414.0	30.0	168.9	212.7	75.2
Precipitación media enero (mm)	138.1	143.1	293.9	131.6	87.7
Precipitación media febrero (mm)	151.7	189.2	310.3	136.1	110.2
Precipitación media marzo (mm)	199.7	220.6	334.6	165.1	129.0
Precipitación media junio (mm)	269.2	15.2	87.2	88.6	37.8
Precipitación media septiembre (mm)	191.4	18.8	86.6	85.7	39.4
Temperatura máxima noviembre °C	24.6	25.3	21.5	23.2	23.5
Temperatura máxima diciembre °C	24.3	24.9	21.4	23.1	23.1
Temperatura máxima junio °C	22.8	24.8	21.8	22.3	23.0
Temperatura máxima julio °C	22.4	24.8	22.2	21.7	23.3
Temperatura máxima agosto °C	23.0	25.1	22.5	21.8	23.5
Temperatura mínima julio °C	11.6	12.1	10.7	11.9	11.3
Variables geofísicas					
Elevación	1868.8	1840.9	1850.1	1872.3	1909.7
Esticidad	0.0150	-0.0032	0.0231	0.8409	0.8339
Variables edáficas					
Profundidad	100	100	100	100	100
Arcilla en subsuelo (%)	12.7	17.5	13.2	27.2	23.0
Arcilla en suelo (%)	11.7	14.9	13.4	26.6	17.0
Arena en suelo (%)	41.0	63.4	36.2	40.9	47.3
Bases intercambiables en subsuelo	7.9	23.6	7.3	4.2	21.5
Carbonato de calcio en suelo	0	1.7	0	0	1.1
Carbón orgánico en suelo (%)	5.3	0.5	4.7	2.0	0.8
Capacidad de intercambio en subsuelo (%)	13.7	23.7	18.8	13.5	21.8
Grava en suelo (%)	3.8	24.8	2.8	0.7	7.1
pH suelo	5.2	7.4	5.1	5.1	7.0
Salinidad suelo dS/m	0	0.1	0	0	0.1
Saturación bases en subsuelo (%)	58.1	99.7	45.8	30.1	97.5
Saturación bases en suelo (%)	14.9	99.6	14.0	31.0	95.8
Sodicidad subsuelo (%)	1.0	2.9	1.0	1.4	2.3