



**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**CARACTERIZACIÓN DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA DEL
ARÁNDANO E IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES
PARA SU CULTIVO EN LA PROVINCIA DE CHACHAPOYAS,
AMAZONAS.**

AUTOR:

Bach. Jhonsy Omar Silva López

ASESOR:

PhD. Danilo E. Bustamante Mostajo

ASESOR:

Ing. Rolando Salas López

Registro:.....

CHACHAPOYAS – PERÚ

2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**CARACTERIZACIÓN DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA DEL
ARÁNDANO E IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES
PARA SU CULTIVO EN LA PROVINCIA DE CHACHAPOYAS,
AMAZONAS.**

AUTOR:

Bach. Jhonsy Omar Silva López

ASESOR:

PhD. Danilo E. Bustamante Mostajo

ASESOR:

Ing. Rolando Salas López

Registro:.....

CHACHAPOYAS – PERÚ

2019

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, por su amor, su misericordia y las múltiples bendiciones que ha traído sobre mi vida y la de mis familiares. Permitir conocer a grandes personas en esta etapa de la vida.

A mis padres Iraida López López y Miguel H. Silva Ramos por sus consejos y apoyo incondicional en todo momento.

A mis hermanas Sayra, Jovy, Rocio, Elita y Aniluz y mi hermano Ceiner por sus consejos y las enseñanzas que me brindan para seguir adelante.

Jhonsy O. Silva.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, porque siempre ha permitido en mi vida tener buenas personas a mí alrededor en especial a mi familia, amigos (as), docentes que son mi inspiración para seguir adelante.

A mi asesor, que más que profesor de la casa de estudios UNTRM, amigo PhD. Danilo E. Bustamante Mostajo por la dedicación de su tiempo y apoyo mutuo para contribuir al mejor desarrollo del proyecto de investigación.

A mi asesor, y gran amigo Ing. Rolando Salas López, por su apoyo mutuo para contribuir al mejor desarrollo del proyecto de investigación.

A PhD. Martha E. Calderon, por sus aportes para el mejor desarrollo de este proyecto de investigación.

Al director del INDES-CES M.Sc. Manuel Oliva Cruz por las facilidades correspondientes para realizar el proyecto de investigación y todo el equipo técnico del proyecto: “Comportamiento Productivo de variedades de arándanos provenientes de la propagación in vitro por pisos altitudinales-provincia de Chachapoyas, Región Amazonas.” (N° 001-2016-INIA/PROARÁNDANO)

A los docentes miembros del jurado M.Sc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara E. Calderon, PhD. Ligia Magali García Rosero e Ing. Betty Karina Guzmán Valqui por sus aportes y recomendaciones a fin de aclarar mis dudas y brindar sus aportes para elaborar un mejor trabajo.

A todas aquellas personas que de una u otra manera me ayudaron con sus aportes en esta investigación en especial a Ing. Jani E. Mendoza Merino y al Ing. Nilton B. Rojas Briceño, grandes amigos.

Jhonsy O. Silva.

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS

Dr. Policarpio Chauca Valqui
RECTOR

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón
VICERRECTOR ACADÉMICO

Dra. Flor Teresa García Huamán
VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN

M.Sc. Edwin Adolfo Díaz Ortiz
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

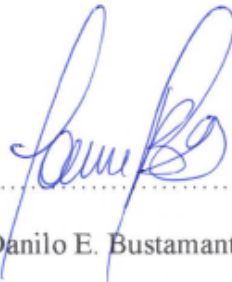
VISTO BUENO DEL ASESOR

Chachapoyas, 19 de diciembre de 2019

Yo PhD. Danilo E. Bustamante Mostajo, docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - Amazonas, Asesor de la tesis del Bach. Jhonsy O. Silva López, titulada “Caracterización de la Diversidad Genética del Arándano e Identificación de Zonas Potenciales para su Cultivo en la Provincia de Chachapoyas, Amazonas”, expreso lo siguiente:

Que, habiendo revisado el informe de tesis, brindo el visto bueno ya que está de acuerdo al formato y cumple con todos los criterios para su impresión y presentación de mismo.

Atentamente:



.....
PhD. Danilo E. Bustamante Mostajo

DNI: 43496105

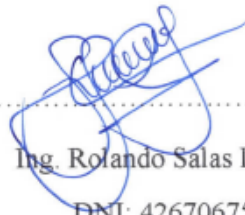
VISTO BUENO DEL ASESOR

Chachapoyas, 19 de diciembre de 2019

Yo Ing. Rolando Salas López, docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - Amazonas, Asesor de la tesis del Bach. Jhonsy O. Silva López, titulada “Caracterización de la Diversidad Genética del Arándano e Identificación de Zonas Potenciales para su Cultivo en la Provincia de Chachapoyas, Amazonas”, expreso lo siguiente:

Que, habiendo revisado el informe de tesis, brindo el visto bueno ya que está de acuerdo al formato y cumple con todos los criterios para su impresión y presentación de mismo.

Atentamente:



Ing. Rolando Salas López

DNI: 42670675

JURADO EVALUADOR

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jaris Emmanuel Veneros Guevara', with a large, stylized flourish at the end.

M.Sc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara

PRESIDENTE

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ligia Magali García Rosero', with a large, stylized flourish at the end.

Dra. Ligia Magali García Rosero

SECRETARIA

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Betty Karina Guzmán Valqui', with a large, stylized flourish at the end.

Ing. Betty Karina Guzmán Valqui

VOCAL

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO



UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS

Secretaría General
OFICINA DE GRADOS Y TÍTULOS

ANEXO 3-K

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Yo Thony Omar Silva López
identificado con DNI N° 74661518 Estudiante ()/Egresado (X) de la Escuela Profesional de
Ingeniería Ambiental
Ingeniería Civil y Ambiental de la Facultad de:
de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

DECLARO BAJO JURAMENTO QUE:

1. Soy autor de la Tesis titulada: "CARACTERIZACIÓN DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA
DEL ARÁNDANO E IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES PARA
SU CULTIVO EN LA PROVINCIA DE CHACHAPOYAS, AMAZONAS".

que presento para
obtener el Título Profesional de: Ingeniero Ambiental.

2. La Tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, y para su realización se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La Tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La Tesis presentada no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. La información presentada es real y no ha sido falsificada, ni duplicada, ni copiada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la Tesis para obtener el Título Profesional, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNTRM en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido de la Tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que la Tesis para obtener el Título Profesional haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Chachapoyas, 20 de Diciembre de 2019

[Firma]
Firma del(a) tesista

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS

Secretaría General
OFICINA DE GRADOS Y TÍTULOS

ANEXO 2-N

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS

En la ciudad de Chachapoyas, el día 19 de diciembre del año 2019, siendo las 11:50 am horas, el aspirante: SILVA LÓPEZ, JHONSY OMBR defiende públicamente la Tesis titulada: "Caracterización de la diversidad genética del arandano e identificación de zonas potenciales para su cultivo en la provincia de Chachapoyas, Orzazonal" para optar el Título Profesional en Ingeniería Ambiental otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado, constituido por:
Presidente : MSc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara
Secretario : Ligia Magali García Rosero, PhD.
Vocal : Ing. Betty Karina Cozman Valqui



Procedió el (los) aspirante (s) a hacer la exposición de los antecedentes, contenido de la tesis y conclusiones obtenidas de la misma, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la tesis presentada, los miembros del jurado pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones u objeciones consideran oportunas, las cuales fueron contestadas por el los aspirante (s).

Tras la intervención de los miembros del jurado y las oportunas contestaciones del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los miembros del jurado presentes en el acto, a fin de que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el jurado determinará la calificación global concedida a la tesis, en términos de:

Notable o sobresaliente (X) Aprobado () No apto ()

Otorgada la calificación el presidente del Jurado comunica, en sesión pública, la calificación concedida. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las horas 2:00 pm del mismo día, el jurado concluye el acto de sustentación del Trabajo de Investigación.


PRESIDENTE


SECRETARIO


VOCAL

OBSERVACIONES:

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR	vi
VISTO BUENO DEL ASESOR	vii
JURADO EVALUADOR.....	viii
DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO	ix
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS.....	x
CONTENIDO.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
I. INTRODUCCIÓN	17
1.1. Formulación del Problema.....	19
1.2. Justificación.....	19
II. OBJETIVOS	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
3.1. Área de estudio.....	20
3.2. Materiales, equipos y programa.....	21
3.3. Diseño metodológico	22
3.3.1. Muestreo.....	22
3.4. Caracterización molecular	24
3.4.1. Extracción de ADN.....	24
3.4.2. Amplificación y secuenciamiento del ADN.....	25
3.4.3. Análisis filogenético.....	25
3.5. Determinación de zonas potenciales	26
3.5.1. Zonas potenciales mediante AHP	26
3.5.1.1. Datos para modelo AHP.....	27
3.5.1.2. Generación de Mapas de Criterio utilizando SIG.....	29
3.5.2. Distribución potencial con MaxEnt.....	31
3.5.2.1. Descripción del modelo MaxEnt.....	31

3.5.2.2. Fuente de datos y selección de variables.....	32
3.5.2.3. Modelado de distribución potencial actual y futura (2050 y 2070).....	32
3.5.3. Integración AHP y MaxEnt.....	32
IV. RESULTADOS.....	33
4.1. Caracterización molecular	33
4.2. Determinación de zonas potenciales	36
4.2.1. Análisis Jerárquico Múltiple (AHP).....	36
4.2.2. Idoneidad de la tierra.....	37
4.2.3. MaxEnt.....	40
4.2.3.1. Selección de variables y modelamiento	40
4.2.3.2. Áreas de distribución potencial actual prevista	41
4.2.3.3. Distribución potencial futura prevista para 2050 y 2070.....	41
4.2.4. Integración AHP y MaxEnt.....	42
V. DISCUSIONES.....	47
VI. CONCLUSIONES	49
VII. RECOMENDACIONES.....	50
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
ANEXOS.....	58
Anexo 1. Caracterización Molecular	58
Anexo 2. Determinación de zonas potenciales.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales, equipo y programa	21
Tabla 2. Escala establecida para la asignación de los juicios de valor.....	26
Tabla 3. Escala de evaluación AHP	26
Tabla 4. Designación de factores y criterios durante el análisis de idoneidad de tierra para el cultivo del arándano en Chachapoyas, Perú.....	27
Tabla 5. La escala fundamental para la comparación por pares (Saaty, 1980).....	30
Tabla 6. La distribución del grado de idoneidad de la tierra para el cultivo del arándano en la provincia de Chachapoyas.....	36
Tabla 7. Pesos de los criterios y subcriterios en el análisis de idoneidad de la tierra para cultivo del arándano en la provincia de Chachapoyas.	37
Tabla 8. Distribución potencial futura prevista para 2050 y 2070 con MaxEnt	41
Tabla 9. Distribución potencial futura prevista para 2050 y 2070 con MaxEnt y AHP.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la provincia de Chachapoyas, Amazonas (Perú).	20
Figura 2. Muestreo de colectas de arándano para el análisis molecular y para destinar al herbario.	22
Figura 3. Flujograma metodológico de caracterización molecular desarrollado a partir de Bustamante <i>et al.</i> (2012) y determinación de zonas potenciales mediante AHP y MaxEnt a partir de Maleki <i>et al.</i> (2017) & Abdelaal <i>et al.</i> (2019)	23
Figura 5. Generación del modelo de idoneidad mediante el uso de la herramienta <i>Weighted Overlay</i>	31
Figura 6. Amplificación de las muestras colectadas del proceso de PCR.	33
Figura 7. Edición de electroferogramas en el programa Chromas v. 2.6.5.	34
Figura 8. Árbol filogenético basado en máxima verosimilitud compuesta (MCL) del gen <i>rbcL</i> para arándanos silvestres.	35
Figura 9. Número de registros de especies identificadas en los principales distritos de la provincia Chachapoyas.	36
Figura 10. Criterios potenciales para el modelo AHP, para determinar idoneidad de la tierra para el cultivo de arándano en la provincia de Chachapoyas, Perú. Donde 1, 2, 3, 4 y 5 son los niveles de idoneidad (Tabla 5.)	38
Figura 11. Mapa de idoneidad de la tierra para el cultivo de arándano en la provincia de Chachapoyas, mediante AHP. Donde se realizó la suma de ponderación lineal de los 03 factores: Climático, topográfico y suelo con sus respectivos pesos de importancia (W_1 , W_2 y W_3)	39
Figura 12. Análisis de PCA, para reducir la multicolinealidad de variables	40
Figura 13. Prueba de <i>Jackknife</i> , empleada para evaluar la importancia relativa de las variables seleccionadas mediante el análisis de PCA.	41
Figura 14. Distribución del área (km ²) potencial en Chachapoyas para arándano, en los escenarios rcp 2.6, rcp 4.5, rcp 6.0, rcp 8.5; proyectados al 2050 y 2070 con MaxEnt.	42
Figura 15. Distribución del área (km ²) potencial en Chachapoyas para arándano en los escenarios rcp 2.6, rcp 4.5, rcp 6.0, rcp 8.5; proyectados al 2050 y 2070 con AHP y MaxEnt	43
Figura 16. Distribución potencial futura prevista para 2050 y 2070.	44
Figura 17. Generación del modelo de distribución de arándano bajos escenarios del cambio climático, representado en concentraciones de CO ₂ expresados en rcp 2.6, rcp 4.5, rcp 6.0 y rcp 8.5 utilizando el software MaxEnt.	45
Figura 18. Generación del modelo de idoneidad mediante el uso de la herramienta <i>Weighted Overlay</i> , después de la integración de AHP y MaxEnt de áreas óptimas entre ambos métodos de cálculo bajo escenario del cambio climático.	46

RESUMEN

En Perú, durante la última década, el cultivo de arándano se ha incrementado en más del 40%. Representa una especie cara, debido al contenido de compuestos antioxidantes, beneficiosos para la salud humana. En este sentido, el estudio se realizó en la provincia de Chachapoyas con el objeto de caracterizar la diversidad genética e identificar zonas potenciales para cultivo de arándano, mediante uso de marcadores moleculares y la integración de la técnica del AHP (Proceso de Análisis Jerárquico) basada en un SIG (Sistema de Información Geográfica) bajo escenarios del cambio climático, modelado en MaxEnt. Para tal fin, se amplificó el gen *rbcL* mediante técnica de PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa) para identificar las especies de arándano silvestre. La caracterización molecular demostró que 35 de las muestras colectadas e identificadas en la provincia de Chachapoyas se agrupan en géneros: *Vaccinium* sp, *Gaylussacia* sp, *Satyria* sp. y *Gaultheria* sp. Asimismo, los distritos de Chachapoyas y Leymebamba presentaron mayor biodiversidad. Por otro lado, AHP en combinación con un SIG determinó una idoneidad de “muy adecuado” de 2.4% (70.7 km²); aproximadamente el 81.8% (2,437 km²) es “moderadamente adecuado”, 13.6% (404.1 km²) “marginamente adecuado” y 2.2% (66.8 km²) “actualmente no apto” y “no apto”. La integración AHP y MaxEnt brindó una nueva perspectiva del comportamiento de las especies de arándano silvestres; estimando bajo los escenarios rcp 2.6, rcp 4.5, rcp 6.0 y rcp 8.5 generados por el IPCC demostró un escenario pesimista para la distribución de áreas idóneas en el cultivo de arándano, con un valor promedio en pérdida de -44.9% y -39.6% en los años 2050 y 2070 respectivamente. Este estudio busca ser una herramienta de soporte para las autoridades que tienen el deber de velar por la gestión de los recursos naturales, siendo una herramienta para el ordenamiento del territorio con enfoque sustentable.

Palabras claves: AHP, arándano, idoneidad, molecular, Perú, *rbcL* y SIG.

ABSTRACT

In Peru, during the last decade, the cultivation of cranberry has increased by more than 40%. It represents an expensive species, due to the content of antioxidant compounds, beneficial to human health. In this sense, the study was conducted in the province of Chachapoyas in order to characterize genetic diversity and identify potential areas for blueberry cultivation, through the use of molecular markers and the integration of the AHP technique (Hierarchical Analysis Process) based in a GIS (Geographic Information System) under climate change scenarios modeled in MaxEnt. To this end, the *rbcL* gene was amplified by PCR technique (Polymerase Chain Reaction) to identify wild blueberry species. Molecular characterization showed that 35 of the samples collected and identified in the province of Chachapoyas are grouped into genera: *Vaccinium* sp, *Gaylussacia* sp, *Satyria* sp. and *Gaultheria* sp. Likewise, the districts of Chachapoyas and Leymebamba presented greater biodiversity. On the other hand, AHP in combination with a GIS determined a “very adequate” suitability of 2.4% (70.7 km²); approximately 81.8% (2,347 km²) is “moderately adequate”, 13.6% (404.1 km²) “marginally adequate” and 2.2% (66.8 km²) “currently unfit” and “unfit”. The AHP and MaxEnt integration provided a new perspective on the behavior of wild blueberry species; estimating under the scenarios rcp 2.6, rcp 4.5, rcp 6.0 and rcp 8.5 generated by the IPCC demonstrated a pessimistic scenario for the distribution of suitable areas in blueberry cultivation, with an average loss value of -44.9% and -39.6% in the years 2050 and 2070 respectively. This study seeks to be a support tool for the authorities that have a duty to ensure the management of natural resources, being a tool for the planning of the territory with a sustainable approach.

Keywords: AHP, cranberry, suitability, molecular, Peru, *rbcL* y GIS.

I. INTRODUCCIÓN

Las especies del género *Vaccinium* son conocidas como "arándanos", siendo algunas de ellas originarias de la parte oriental de América del Norte (Colak *et al.*, 2017). Estos arándanos también se encuentran distribuidos de manera silvestre en países andinos como el Perú (León *et al.*, 2017). Los arándanos son ricos en antocianinas y con elevada capacidad antioxidante, además de ser bajos en azúcar y grasas (Shimizu *et al.*, 2019). Siendo considerados como uno de los cinco principales alimentos saludables para las personas de todas las edades (FAO, 2016). Los arándanos presentan alto valor económico, nutricional y amplias perspectivas de mayor potencial de desarrollo para la exportación (MINAGRI, 2016).

América del Norte representa más del 90% de producción mundial; sin embargo, la brecha de demanda anual es más de 300 mil toneladas a nivel mundial (MINAGRI, 2016). Perú, país alto andino no exportaba arándanos; sin embargo, en la última década está aprovechando las condiciones de la tierra y se espera que las exportaciones aumenten hasta 40,000 TM (Nolte & Moore, 2017). Sierra exportadora estimó que la producción de 2015 a 2016 alcanzó 10,3 a 20,0 mil T. año⁻¹ (MINAGRI, 2016), con más de 4000 ha instaladas provenientes de la costa (Nolte & Moore, 2017). Las especies de arándanos se agrupan comúnmente de acuerdo con su estatura y se les conoce como lowbush (0.3-0.6m), highbush (1.8-2.5 m) y rabbiteye (2.0-4.0 m) (Kole, 2012). A pesar de que no se han reportado estos grupos en Perú, las variedades más cultivadas son O'Neal, Star, Biloxi, Legacy y Misty. Estas tres últimas son las que mejor se adaptan en Perú.

En cuanto al rendimiento promedio mundial, de 4.8 T ha⁻¹, el Perú alcanzó sólo 1.8 T ha⁻¹ (FAO, 2016a). Los bajos rendimientos están asociados al tipo de variedad cultivada y su ubicación (Jaisli *et al.*, 2019). A pesar que Perú presenta potencialidades para masificar el cultivo de arándano, esta actividad representa grandes desafíos, debido al clima, suelo y topografía. Estrada *et al.*, (2017) menciona que estos son factores que restringen el crecimiento, desarrollo y la calidad del rendimiento en la producción del arándano; por lo que la búsqueda de un ambiente óptimo para el cultivo de arándano mediante mapas de identificación de zonas potenciales (idoneidad) son necesarias. En este sentido, MINAM (2013) reconoce la importancia de la zonificación y de la diversidad genética en los planes de desarrollo para la puesta de valor de recursos, tal es el caso de especies silvestres de arándano distribuido en zonas altoandinas.

Actualmente con fines de exportación, empresas como Z-Group y Arandina vienen cultivando arándano en Chachapoyas (Cuelcho y Leymebamba), desconociendo tierras con mayor aptitud para un cultivo de alto rendimiento y productividad. Por consiguiente, aspectos como distribución espacial de las especies de arándano en Amazonas son de gran importancia para un aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

Según la FAO (2013), la pérdida de la diversidad genética reduce las opciones para la gestión sostenible de una agricultura resiliente ante entornos adversos y condiciones meteorológicas que fluctúan rápidamente. En consecuencia, la pérdida de la biodiversidad, el inadecuado aprovechamiento de los recursos naturales (Jankava *et al.*, 2017) y la falta de planificación para el uso del territorio ha permitido la degradación de tierras y la baja competitividad y sostenibilidad (Janie, Roopnarine, Riccardo, & Monica, 2017). En la actualidad no existen estudios de diversidad genética en arándano que permitan definir molecularmente a las especies o variedades con las que se vienen generando cultivos. Por el contrario, existe una caracterización morfológica (INDESCES, 2017) donde se registró las siguientes variedades silvestres en los distritos de Chachapoyas: Pushgay (Leymebamba), Mullaca (Molinopampa), Godilla (Chachapoyas y Huancas) y Olchoj (Levanto y Mayno). Sin embargo, no se especifican las especies de arándanos. Tampoco existe información relacionado a la identificación de zonas potenciales de cultivos para el manejo sostenible del recurso genético y de ordenamiento territorial en la región Amazonas.

En este sentido, el objetivo de este estudio busca caracterizar molecularmente la diversidad de los arándanos silvestres e identificar zonas potenciales para su cultivo en la provincia de Chachapoyas. Se utilizó un marcador molecular de origen plastidial (*rbcL*) (Schwery *et al.*, 2015) para la identificación de la diversidad inter específica (Jiang, 2017). La identificación de zonas potenciales estuvo enmarcada a la zonificación, conceptualizada como herramienta de gestión del territorio, que determinó la idoneidad del uso del suelo en una base SIG y una técnica de Evaluación Multicriterio (EMC) denominado proceso de jerarquía analítica (AHP) (Rono & Mundia, 2016). Otro rasgo importante Mediante un modelamiento con la herramienta MaxEnt (Maximum Entropy) se modeló la distribución potencial del género *Vaccinium* spp, de una manera integrada con AHP a fin de determinar zonas potenciales de distribución bajos escenarios del cambio climático (Qin, 2017), Por ello, el presente trabajo tiene como fin contribuir en el

desarrollo de nuevas políticas y decisiones municipales en uso sostenible de recursos genético y de la tierra en función a su aptitud dentro de la provincia de Chachapoyas.

1.1. Formulación del Problema

Desconocimiento de la diversidad de especies de arándano y de zonas potenciales para su cultivo en la provincia de Chachapoyas, Amazonas.

1.2. Justificación

El incremento en las exportaciones y consumo de arándano debido a sus propiedades nutricionales resalta la importancia y potencialidad de este cultivo (Sandler, 2018). Sin embargo, el bajo rendimiento de producción (1.8 T ha^{-1} ; FAO, 2016b) asociado al desconocimiento del tipo de variedad cultivada de arándano (Abolins *et al.*, 2009) y ausencia de prácticas de cultivo en territorios idóneos generan una gran limitante para el aprovechamiento sustentable de este recurso. En este sentido, la caracterización de la diversidad de especies de arándano mediante marcadores moleculares contribuirá con el planteamiento de estrategias para la conservación y aprovechamiento sustentable de estos recursos genéticos (Kane *et al.*, 2012). Así mismo, la evaluación de la aptitud de la tierra para la distribución espacial del cultivo de arándano identificará zonas potenciales para maximizar su uso sostenible (Maleki *et al.*, 2017). El presente trabajo contribuirá en el desarrollo de nuevas políticas y decisiones municipales de uso sostenible de los recursos genéticos y de la tierra en función a su aptitud. Al mismo tiempo se espera la dinamización de la economía mediante el fomento del cultivo de arándano.

II. OBJETIVOS

General:

-Caracterizar la diversidad genética del arándano e identificar zonas potenciales para su cultivo en la provincia de Chachapoyas.

Específicos:

-Identificar la diversidad de especies de arándano en la provincia de Chachapoyas.

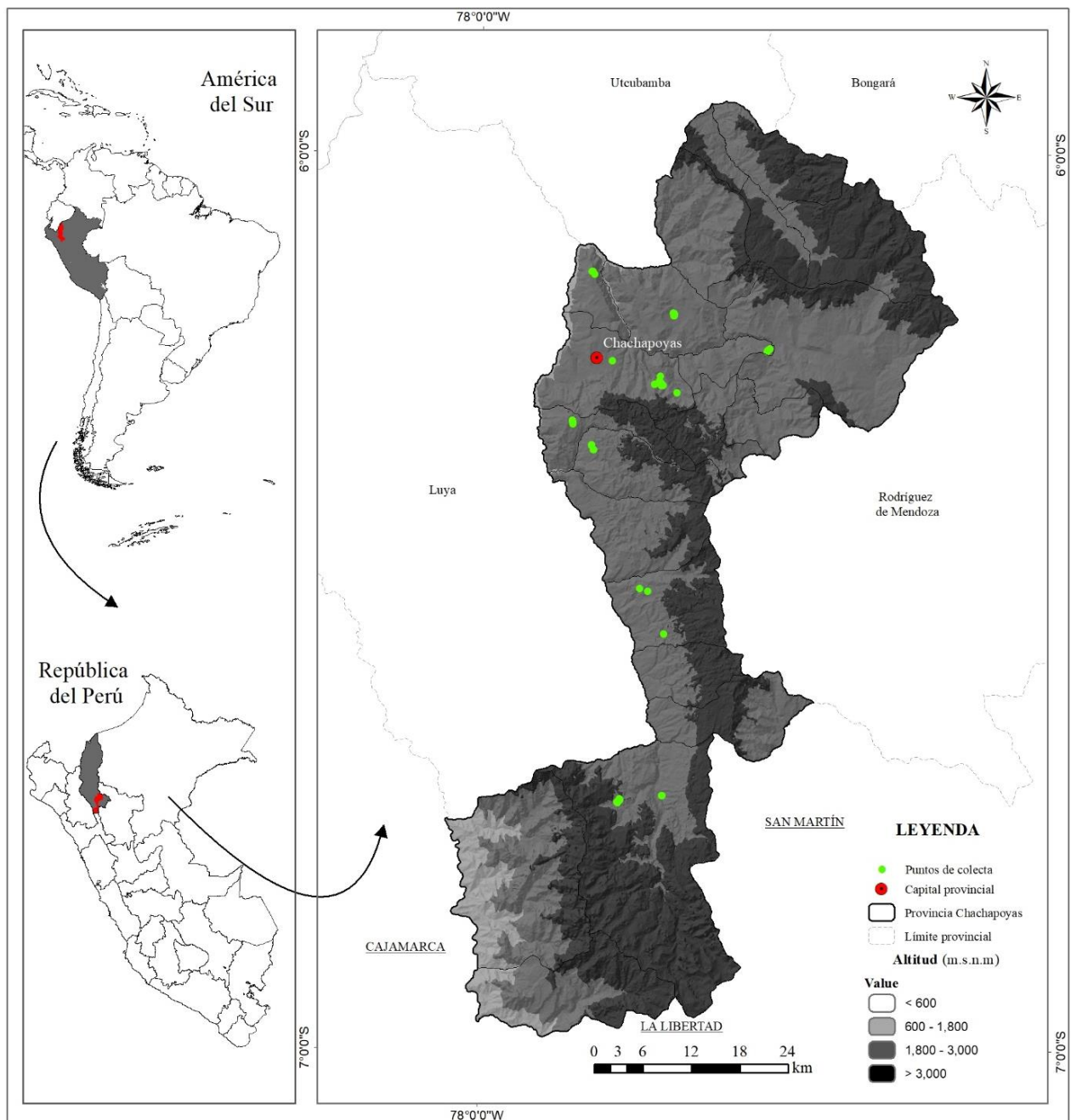
-Determinar zonas potenciales para el cultivo de arándano.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la provincia de Chachapoyas, ubicado en la parte nor-oriental del Perú, a una altitud de 2334 m.s.n.m., con superficie total estimada de 2980 km², temperatura de 15.6 °C y precipitación anual promedio de 811 mm (Figura 1.).

Figura 1. Ubicación de la provincia de Chachapoyas, Amazonas (Perú).



Fuente: Elaborado a partir de datos espaciales del INEI (INEI-2007)

3.2. Materiales, equipos y programa

Los materiales empleados para el desarrollo de la investigación se categorizaron en función a los dos objetivos específicos: *i)* caracterización molecular y *ii)* determinación de zonas potenciales para el cultivo de arándano (Tabla 1).

Tabla 1 Materiales, equipo y programa

Categoría	Descripción
Objetivo específico 01	
Materiales	-Disco duro 1TB; cuaderno de campo; Set de pipetas (10 μ L, 20 μ L, 200 μ L, 1000 μ L); NucleoSpin [®] Microbial DNA; tips 10, 200 y 1000 μ L; microtubo con tapa de 1.5 mL; tubos PCR 0.2 ml; agarosa 500 g; TAE buffer 10X, 1 L; SYBR Safe DNA Gel Stain, 400 μ L; DNA ladder, 50 μ L; Dye PCR Green Master Mix - tubo 200 reacciones; mascarilla, guantes (nitrilo y látex) y papel toalla blanco, caja 18 pack x 200 unidades, racks para tubos PCR, racks para microtubos 1.5 mL y papel aluminio.
Equipos	-Cámara Digital (CANON 750); Autoclave (BIOBASE); microscopio (Olympus); balanza analítica (Nimbus [®] Analytical Balances - Adam Equipment USA); centrífuga (PRISM); vortex (Labnet); termociclador (SimpliAmp/Thermal Cycler); cámara de electroforesis y GPS navegador (Garmin Montana 650)
Programa	-Programa Chromas 2.6.5, MEGA7 y Microsoft Office 2013.
Objetivo específico 02	
Materiales	-Imagen satelital Landsat 7 / año 2017; Hojas 14g, 12h, 13h, 14h y 13i de la Carta Nacional del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1:100 000; capas en formato GRID de la base de datos WordClim (http://worldclim.org/) y de Soil Grids (https://soilgrids.org/) y áreas naturales protegidas (http://geo.sernanp.gob.pe/geoserver/principal.php)
Equipos	Laptop CORE i5- 08 GB de RAM
Programa	-Programa QGIS 2.16; ArcGIS 10.5; SAS Planet, MaxEnt v 3.4; infoStat/Libre y Google Earth Pro;

3.3. Diseño metodológico

El diseño metodológico se basó en la caracterización molecular y la determinación de zonas potenciales para el cultivo de arándano, como se puede observar en el flujograma (Figura 3). Asimismo, previo al desarrollo metodológico, se realizó una pre-zonificación de áreas con mayor probabilidad de ser encontrar muestras de arándano silvestre para el desarrollo de la caracterización molecular; por ello se generó un mapa de altitudes (Figura 1) para establecer puntos de colecta.

3.3.1. Muestreo

Para la colecta de muestras de arándano se empleó un muestreo no probabilístico denominado “método bola de nieve” (Snijiders, 1992; Godman, 1961) para determinar los posibles puntos de muestras en la caracterización molecular y para el herbario. Dónde el investigador identifica a un solo actor clave, mientras que el segundo designa al tercer actor clave, con la misma probabilidad de ser elegido (Eland-Goossensen *et al.*, 1997 y Etikan *et al.*, 2016;). Debido a que es una especie silvestre aún no registrada, se ajusta a metodologías empleadas para identificar plantas (Van Meter, 1990; Machín *et al.*, 2011; López-Gutiérrez *et al.*, 2014; Ortiz *et al.*, 2017). Las muestras distribuidas en la provincia de Chachapoyas registraron un total de 53 puntos colectados (Figura 1. y 2)



Figura 2. Proceso de colecta de muestras de arándano para el análisis molecular y para destinar al herbario.

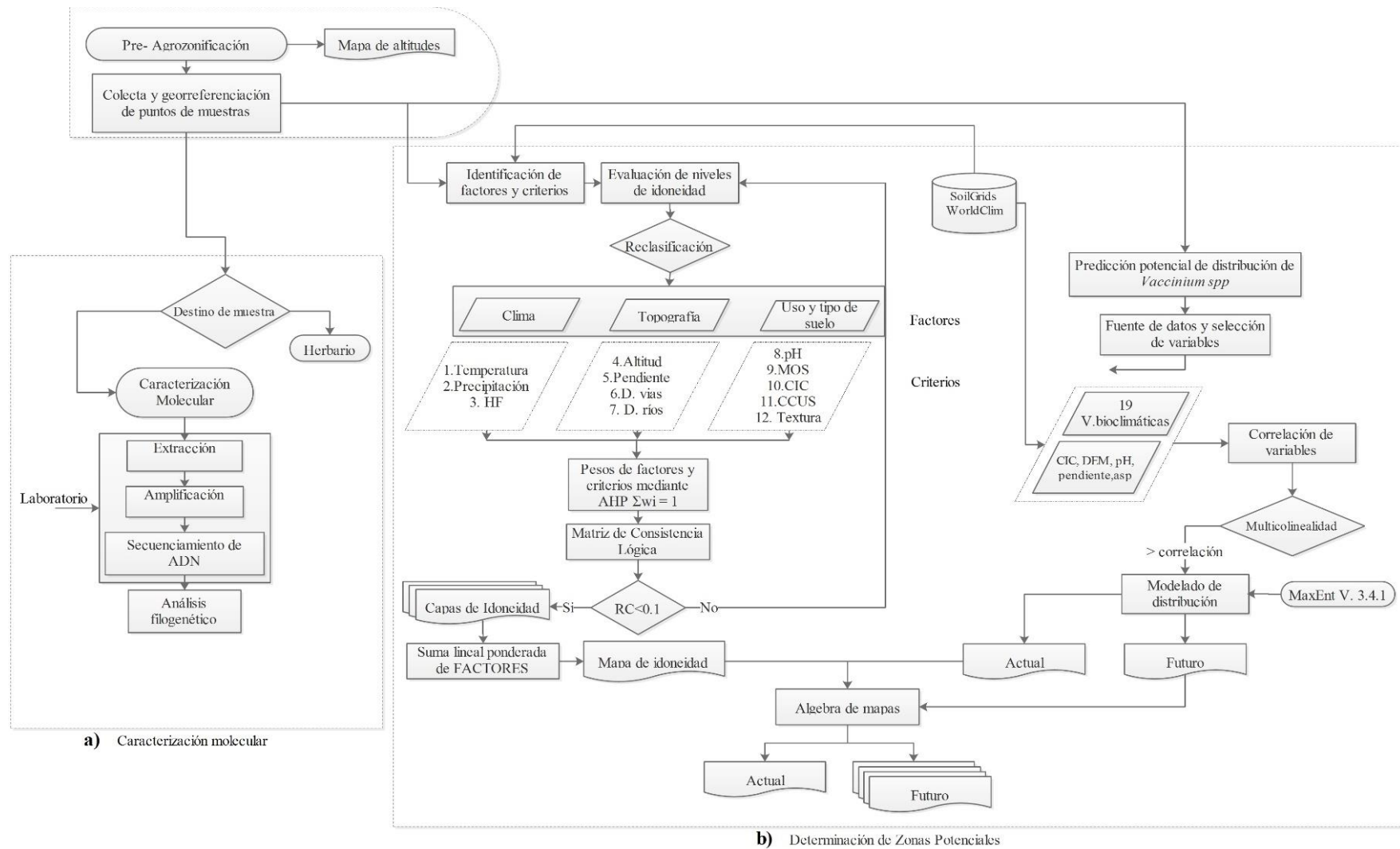


Figura 3. Flujograma metodológico de caracterización molecular desarrollado a partir de Bustamante *et al.* (2012) y determinación de zonas potenciales mediante AHP y MaxEnt a partir de Maleki *et al.* (2017) & Abdelaal *et al.* (2019)

3.4. Caracterización molecular

3.4.1. Extracción de ADN

Las 53 muestras colectadas fueron herborizadas y depositadas en el Herbario del INDES-CES. Además, se tomaron hojas adicionales para la extracción de ADN. Previo a la extracción del ADN, las hojas fueron limpiadas a fin de remover organismos epífitos u otro tipo de materia adherida a la superficie de las hojas, haciendo uso de un microscopio estereoscópico (ver Figura 4.). El ADN genómico total se logró extraer usando el kit NucleoSpin Plant II (Macherey-Nagel, Düren, Alemania) según las instrucciones del fabricante y las modificaciones hechas por Bustamante *et al.* (2012, 2013).

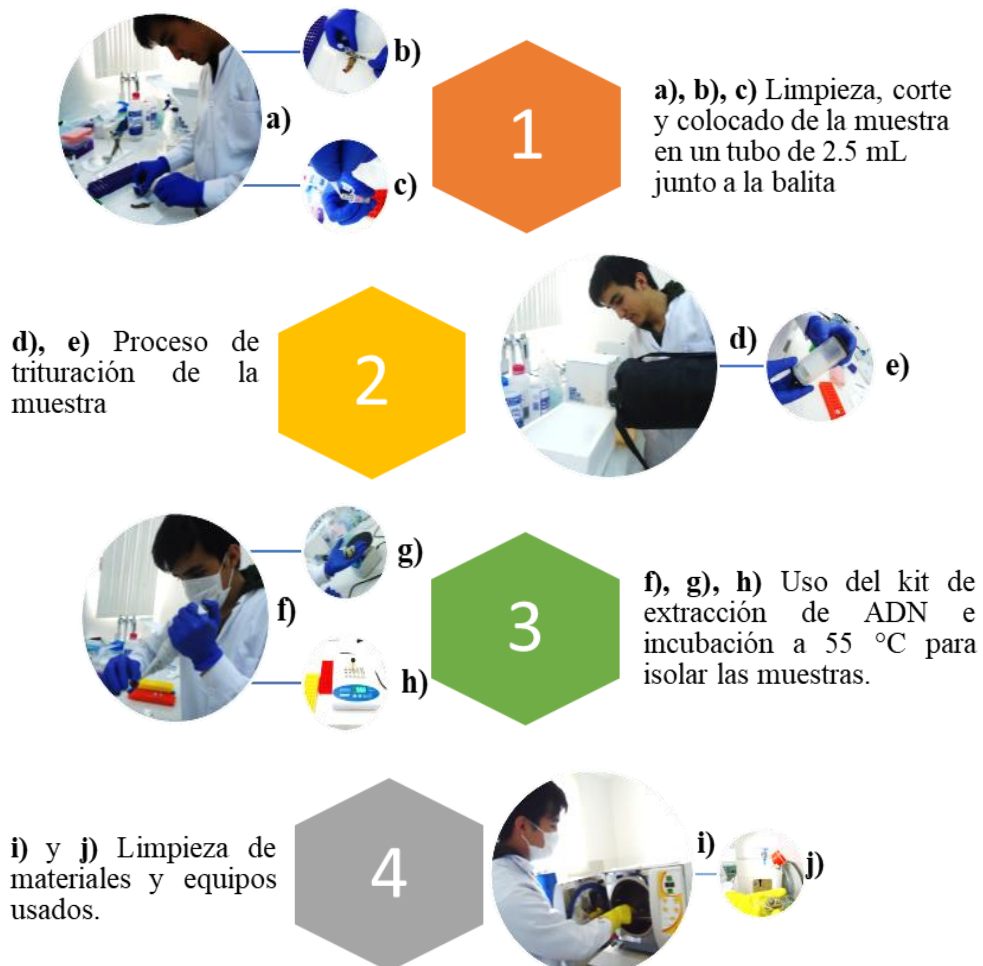


Figura 4. Proceso de extracción de ADN

3.4.2. Amplificación y secuenciamiento del ADN

El gen de origen plastidial *rbcL* fue amplificado del ADN extraído de las muestras de arándano mediante los primers utilizados por Powell & Kron (2002) y Schwery *et al.* (2015). El loci fue amplificado en PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa) usando reactivos Bioneer (Bioneer, Daejon, Corea) en la siguiente mezcla de reacción de 20 μ L: 2 μ L de 10 mM dNTP mix; 2 μ L de 10 \times buffer de reacción; 1 μ L de primers sentido y antisentido de 5–1 μ M y 0.2 μ L de polimerasa TOP DNA y 3 μ L of ADN genómico.

El protocolo de PCR para el gen *rbcL* empleado cumplió con los siguientes parámetros para uso del termociclador: pre-denaturación y activación de enzimas a 95°C durante 60 s seguido de 35 ciclos de 95°C durante 30 s (denaturación), 50°C durante 60 s (annealing) y 68 °C durante 60 s (extensión) y una extensión final a 68°C por 5 min.

Los productos de PCR fueron corridos mediante electroforesis en geles de agarosa al 1.6%, en un medio buffer TAE 0.5X (Tris-borato 0.045M; EDTA 0.001M) durante 15 minutos a 120 voltios; para luego ser purificados utilizando el kit de limpieza NucleoSpin Gel y PCR clean-up (Macherey-Nagel, Düren, Alemania) de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Las secuencias de la cadena delantera (*forward*) y reversa (*reverse*) del gen *rbcL* fueron secuenciadas comercialmente (Macrogen, Daejeon, Corea). Los electroferogramas de cada una de los amplificados, se editaron utilizando el programa Chromas v2.6.5.

3.4.3. Análisis filogenético

Las secuencias fueron alineadas manualmente y/o usando el algoritmo MUSCLE implementado en el programa MEGA 7 (Kumar *et al.*, 2017). Para el análisis filogenético se utilizó *Enkianthus campanulatus*: (GenBank Voucher: KC960550) y *Enkianthus campanulatus* (GenBank Voucher: KC960551) como grupo externo.

El análisis evolutivo para determinar el mejor modelo disponible para los datos *rbcL*, se realizó mediante análisis de máxima verosimilitud utilizando el modelo GTR + I + G. El análisis de *Bootstrap* se realizó para búsquedas de máxima probabilidad con adición aleatoria paso a paso de secuencias utilizando las condiciones de

búsqueda descritas anteriormente. Se aplicó 1000 “bootstrap” de réplica para datos *rbcL*. Con respecto a las distancias evolutivas, se obtuvo mediante el método de distancia *p* empleado por Saitou & Nei (1987).

3.5. Determinación de zonas potenciales

3.5.1. Zonas potenciales mediante AHP

La metodología empleada, AHP es parte de la EMC, es referente a la toma de decisiones ya que comprende un conjunto de técnicas que permiten evaluar alternativas de elección (Satty, 1980; Franco-Maass *et al.*, 2009). Este proceso requiere de factores, criterios e incluso subcriterios, según el nivel de detalle del proyecto. Para este estudio se utilizaron los siguientes factores: climáticos, topográficos y de suelo, según investigaciones realizadas en cultivos de maíz, papa, manzana, naranja y azafrán (Leung, 2001; Amini, 2015; Wali, 2016 & Maleki 2017).

Para ello, se construyó un modelo jerárquico AHP basado en una escala de nueve puntos (Saaty, 1980; Tabla 2 y 3) que incluye factores, criterios y alternativas para ponderar los factores que afectan al cultivo del arándano (Figura 2.). El objetivo fue determinar zonas potenciales para cultivo del arándano mediante un análisis de idoneidad del uso de la tierra, y los criterios incluyeron características del factor climático, topográfico y suelo. Se invitó a 10 expertos en cultivo de arándano a completar una tabla de comparación por pares de los factores mencionados para determinar la relación importancia relativa de los criterios (datos sin procesar para el modelo AHP).

Tabla 2. Escala establecida para la asignación de los juicios de valor.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extrema	Fuerte	Moderada	Igual	Moderada	Fuerte	Extrema		
Menos importante				Más importante				

Fuente: Saaty, (1980).

Tabla 3. Escala de evaluación AHP

Valor	Escala de Saaty (1980) Significado
9	A es extremadamente más importante que B
7	A es mucho más importante que B
5	A es más importante que B
3	A es levemente más importante que B
1	A y B tienen la misma importancia
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes

3.5.1.1. Datos para modelo AHP

Para la generación de los modelos de idoneidad de la tierra fue necesario construir la siguiente Tabla 4 de revisión bibliográfica dónde se tomó en cuenta los posibles factores y criterios de mayor importancia, con sus respectivos intervalos de idoneidad.

Tabla 4. Designación de factores y criterios durante el análisis de idoneidad de tierra para el cultivo del arándano en Chachapoyas, Perú.

Factores/ Criterios	Muy adecuado (5)	Moderadame nte adecuado (4)	Marginalmen te Adecuado (3)	Actualmen te no apto (2)	No apto (1)
Factor Climático					
Temperatura (°C)	10-16	16-20	20-25	25-30	<10 >30
Precipitación (mm)	1200- 1400	1100-1200 1400-1500	900-1100 1500-1700	700-900	<700 >1700
Horas de frío (D y E)	400-800	800-1000 200-400	1000-1800	---	>1800 <200
Factor Topográfico					
Altitud (msnm)	1800- 2300	2300-2800	800-1800	---	>2800 <800
Pendiente (%)	0-10.5	10.5-17.5	17.5-34.5	34.5-66	>66
Distancia a vías de acceso (km)	<5	5-8	8-15	15-34	>34
Distancia a la red de hídrica (km)	<3	3-7	7-12	12-30	>30
Factor del suelo					
pH	4.5-5.5	5.5-6.5	6.5-7.2	---	>7.2
MOS (%)	>3	--	--	---	<3
CIC (cmol+)/kg)	8-15	15-30	30-35 5-8	35-40	>40 <5
CCUS	Pastos y cultivos	Suelo Desnudo	Pajonal y arbustal	Bosque	-Área Urbana -Cuerpos de agua
Textura	Franco arenosa	Franco	Franco limo arenoso	---	Arcilla

Fuente: Adaptado a partir de García *et al.* (2018); Morales *et al.* (2017); Vera *et al.* (2016); MINAGRI (2016); Li *et al.* (2015); Tavera *et al.* (2013); Ruiz Corral *et al.* (2013); Bukalo *et al.* (2013); Gasto *et al.* (2002)

Los intervalos para la determinación del grado de idoneidad para el cultivo del arándano fueron adoptados según la (Tabla 4), donde “muy adecuado” estuvo dentro de los intervalos de: temperatura media (10 a 16°C), precipitación (1,200-1,400 mm), horas de frío (200-700), los niveles de altitud (entre 1,800 y 2,300 msnm), las pendientes (< a 10.5°), distancia a vías de acceso (< 5 km), distancia a la red de Hídrica (< 3 km), pH (4.5-5.5), CIC (8 a15 cmol(+)/kg) y un CUS (pastos y cultivos). Su procesamiento y representación espacial permitieron evaluar los tres factores principales para el análisis de idoneidad del arándano: climático, topográfico y suelo.

a) *Datos climáticos*

Los datos de precipitación anual, temperatura promedio, precipitación, y Horas de Frío (HF), se consideraron como criterios climáticos que afectan la idoneidad del arándano. Para este propósito, se elaboraron mapas temáticos utilizando los SIG (programa ArcGIS 10.5). Se utilizaron los datos climáticos simulados a partir de la base de datos de WorldClim (<http://worldclim.org/>) de un periodo de 1960 a 2000 dentro del área de estudio objetivo. Así mismo, se hizo una distribución espacial basada en la trama de los parámetros climáticos (Tabla 4) según la metodología de Maleki *et al.* (2017). Las capas fueron interpoladas y/o reclasificadas según los requerimientos del cultivo, estos parámetros se presentan en las Tabla 4.

Con respecto al cálculo de HF se empleó la ecuación de Weinberger (Ortiz, 1987), el cual relaciona el número de horas frío acumuladas con el promedio de las temperaturas medias, mediante la siguiente ecuación i:

$$HF = 2124.1 - 28.52X_i \dots \dots \dots (i)$$

Dónde: X_i es el promedio de las temperaturas (°C), medias de diciembre y enero.

b) *Datos topográficos*

Un modelo digital de elevación (DEM) de 30 × 30 m de resolución, junto con los límites políticos actualizados por el INEI (2007), fueron utilizados. Se obtuvo los criterios de altitud, pendiente; mediante, funciones de análisis de superficie en SIG. Así mismo, para las variables de distancia a fuentes hídricas y vías de acceso, se hizo uso de la herramienta distancia euclidiana (*Euclidean distance*) (Figura 10.).

c) *Datos de uso, cobertura y tipo de suelo*

Los criterios del suelo (es decir: de pH, CIC y textura) fueron descargados y procesados en formato ráster del servidor Soil Grids (<https://soilgrids.org/>) para la provincia de Chachapoyas a una profundidad de 0.3 m según los requerimientos del arándano (Morales *et al.*, 2017). Consecuentemente, para uso de CUS (Cobertura y Uso de Suelo) se empleó una imagen satelital Landsat 7 del año 2017 y técnicas de reclasificación supervisada. En referencia a textura se empleó la clase textural dada por USDA (1993) y procesada en el programa QGIS 2.16. Asimismo, para el contenido de materia orgánica del suelo (MOS), capa descargada de Soil Grids; se utilizó la fórmula aplicada por la FAO, que es: $MOS = \text{Carbono orgánico total (\%)} \times 1.72$. La distribución espacial de las características del suelo se mapeó en ArcGIS utilizando los métodos de interpolación, reclasificación antes mencionados para los factores climáticos (Tabla 5). Los mapas generados para el factor suelo, se muestran en la Figura 10.

3.5.1.2. Generación de Mapas de Criterio utilizando SIG

Se generaron mapas según los doce sub-criterios (Tabla 5- Figura. 7.). Se generaron mapas de temperatura, precipitación, horas de frío (HF), capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH, MOS, textura, distancia a ríos y vías; con respecto a pendiente y altitud se derivaron utilizando datos ASTER de 30 m de resolución. La CUS se generó usando Landsat 7 de 30 m resolución espacial, metodología empleada por Briceño *et al.* (2019)

a) Estandarización de criterios y subcriterios

Todos los criterios están expresados en unidades diferentes; ante ello, para realizar la ponderación de superposición se requiere estandarizar las unidades. La estandarización en unidades uniformes, permite que las puntuaciones cambien su dimensión junto con su unidad de medida a una común. Para ello, cada criterio se estandarizó en cinco niveles de idoneidad, es decir, “muy adecuado”, “moderadamente adecuado”, “marginamente adecuado”, “actualmente no apto” y “no adecuado”, con una puntuación de 5, 4, 3, 2 y 1 respectivamente (Tabla 5). Las capas se reclasificaron para la entrada a la ponderación superposición que finalmente dio el mapa de idoneidad. Herramienta de reclasificación en *Spatial Analyst* de ArcGIS estandariza los valores de todos los criterios para realizar la suma de ponderación.

b) *Determinación de pesos de importancia de criterios y subcriterios utilizando AHP*

Los pesos reflejan la importancia relativa de cada criterio y, por lo tanto, debe seleccionarse cuidadosamente. AHP se aplica para hacer comparaciones por pares entre los criterios y, por lo tanto, reduce la complejidad (Saaty, 1980). Deriva los pesos comparando por pares la importancia relativa de los criterios. A través de una matriz de comparación por pares, el AHP calcula la ponderación para cada criterio tomando el vector correspondiente al mayor valor propio de la matriz y luego normalizando la suma de los componentes (Feizizadeh *et al.*, 2014). Una vez realizado la matriz por pares, se calcularon los vectores de ponderación y sus propios pesos relativos. Los pesos obtenidos permitieron asignar un valor adecuado para cada unidad de mapeo de los sitios potenciales.

Para verificar la precisión de la comparación de AHP, se realiza por medio de la Relación de Consistencia (CR) (Saaty, 1980; Trong Due, 2006), que se estima de acuerdo a la formula.

$$CR = \frac{CI}{RI} \dots\dots\dots(ii)$$

CR representa una medida del error cometido por el decisor e indica la probabilidad de que en los juicios matriciales se generaron al azar (Martinez *et al.*, 2019 & Saaty, 1980). El CR depende del Índice de Consistencia (CI) y el Índice Aleatorio (RI).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \dots\dots\dots(iii)$$

Dónde el CI está en función de donde λ_{max} es el valor propio más grande o principal de la matriz, y n es el orden de la matriz (Tabla 4). RI es el promedio del índice de consistencia resultante dependiendo del orden de la matriz dado por Saaty (1980) que se muestra en la Tabla 4. Si el $CR < 0.10$, entonces la matriz de comparación por pares es aceptable y los valores de peso son válidos.

Tabla 5 La escala fundamental para la comparación por pares (Saaty, 1980).

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.46	1.49

c) *Generación del modelo de idoneidad*

El modelo de idoneidad se generó utilizando ArcGIS 10.5 mediante la herramienta Superposición ponderada (*Weighted Overlay*), dónde se colocaron los pesos obtenidos de la matriz de ponderación (Tabla 6) y así combinar todos los mapas de las variables de interés siguiendo los pasos dados por Mishra *et al.* (2015). De esta manera, los pesos (W_1 , W_2 y W_3) resultantes del promedio del panel de expertos fueron multiplicados por cada uno de los valores (a nivel de pixel) de cada factor mencionado en la Tabla 5 y, finalmente se sumó los nuevos valores para tener como resultante el mapa de idoneidad, como se puede observar de manera representativa en la Figura 4. y 9.

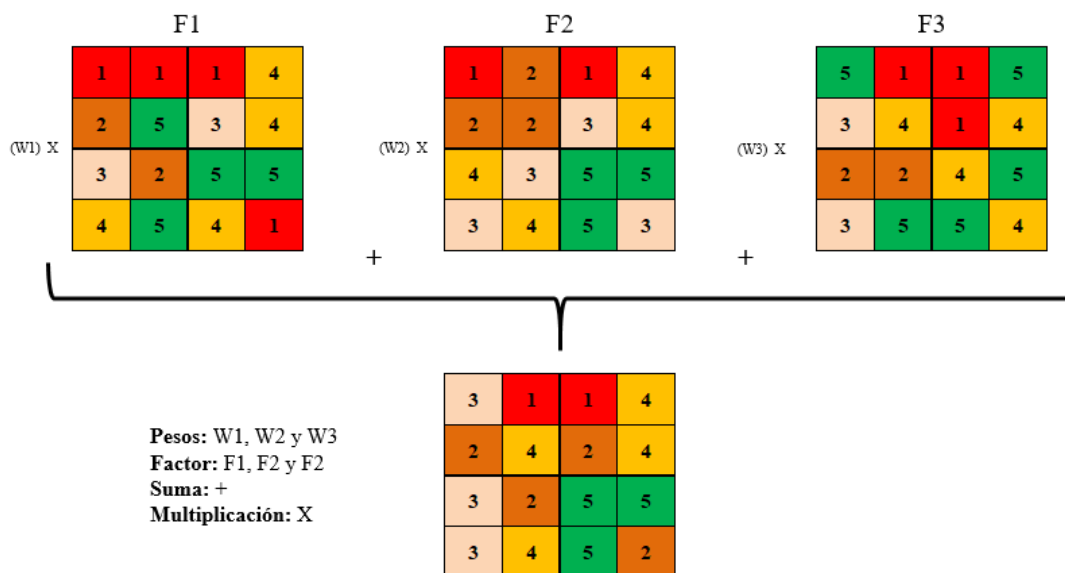


Figura 5. Generación del modelo de idoneidad mediante el uso de la herramienta *Weighted Overlay*.

3.5.2. Distribución potencial con MaxEnt

3.5.2.1. Descripción del modelo MaxEnt

El modelo MaxEnt a igual que otros modelos como: CLIMEX, DOMAIN, BIOP y BIOCLIM son empleados para predecir distribución de especies; sin embargo, MaxEnt alberga ventajas como de libre acceso, realizando predicciones aceptables con 4 registros de presencia como mínimo (Hernández *et al.*, 2012).

Se obtuvieron 59 registros (ver Anexo 2.4) de presencia de arándano en el área de estudio (ver Anexo 3.2), 53 tomados durante la colecta de muestras y 6 adicionales

posteriormente. Para la predicción se empleó el proceso metodológico realizado por Abdelaal *et al.* (2019).

3.5.2.2. Fuente de datos y selección de variables

Los datos fueron descargados de las bases de SoilGrids y WorldClim Versión 1.4, el primero relacionado a variables del suelo y el segundo a variables bioclimáticas respectivamente, de acceso libre. Estos datos cuentan con una resolución de 0.4 km² y 1 km² en formato ráster.

Para reducir la multicolinealidad entre las 19 variables bioclimáticas y variables de pH, radiación solar, pendiente, elevación y aspecto, se empleó el PCA (Análisis de Componente Principales) donde al igual que Cruz-Cárdenas *et al.* (2014) empleó para reducir el número de variables en el programa InfoStat. Para ello, a) se extrajo los valores por pixel de cada una de las variables en función a los puntos georreferenciados, b) correlación de Pearson, c) Análisis Multivariado para elegir las variables de interés (gráfico biplot y al 95% de acumulación)

3.5.2.3. Modelado de distribución potencial actual y futura (2050 y 2070)

Siguiendo la guía dada por Phillips *et al.* (2005), se realizó el modelamiento, en tres condiciones: a) actuales (1960-1990), b) futuras para el año 2050 y 2070, estas condiciones futuras según el V. informe de la IPCC (Pachauri *et al.*, 2014). Se consideró 10 repeticiones en cada “corrida” y un 10% del total de los puntos de presencia se utilizó para validar el modelo. Se utilizó el modelo CCSM4 ya que, es una de las proyecciones climáticas globales, de vías de Concentración de Carbono Representativa (rcp): rcp 2.6, rcp 4.5, rcp 6.0 y rcp 8.5 para el año 2050 y 2070, más eficientes que predice la influencia de futuros cambios climáticos en la distribución de especies de plantas, comprobado por Abdelaal *et al.* (2019) y Qin *et al.* (2017). Para evaluar la eficiencia del modelo se utiliza el área bajo la curva del operador receptor (AUC) valor que oscila entre 0 y 1, mientras más se aproxime a 1, la discriminación es perfecta. Todas las capas modeladas se reclasificaron en: 1-No apto (<0.2), 2- bajo (0.2-0.4), 3-Moderado (0.5-0.6) y 4-Alto (>0.6.)

3.5.3. Integración AHP y MaxEnt

Para lograr la integración de AHP y MaxEnt se transformó el mapa de idoneidad de formato ráster a vector en el programa ArcGIS 10.5; de igual manera se procedió

para el mapa actual y de las proyecciones futuras 2050 y 2070. La herramienta empleada fue *geoprocessing*.

IV. RESULTADOS

4.1. Caracterización molecular

Se realizaron las 53 extracciones de ADN de las muestras colectadas dentro de los distritos de la provincia de Chachapoyas. La longitud de la secuencia de ADN alcanzó una longitud aproximada de 400 bp como se puede apreciar en la Figura 5.

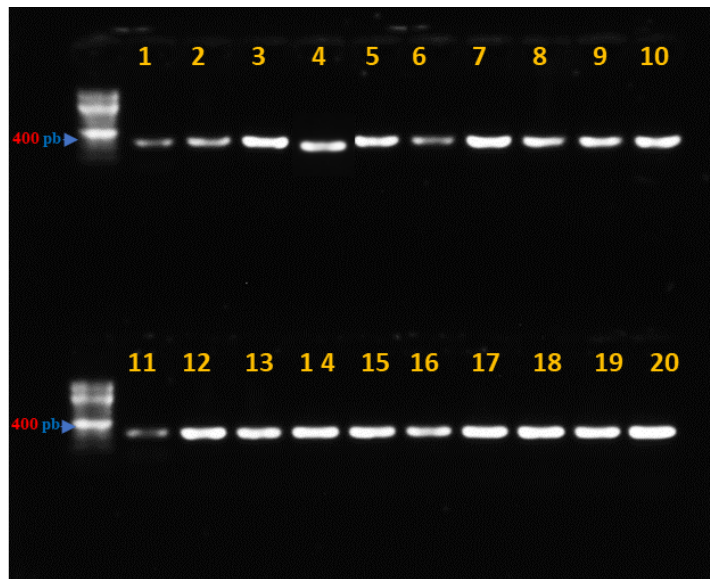


Figura 6. Amplificación de las muestras colectadas del proceso de PCR.

Las extracciones de ADN de las muestras fueron secuenciadas comercialmente en Macrogen, Daejeon, Corea. Estas secuencias, de la cadena *forward* y *reverse* del gen *rbcL* se editaron manualmente utilizando el programa Chromas v. 2.6.5 (Figura 7.)

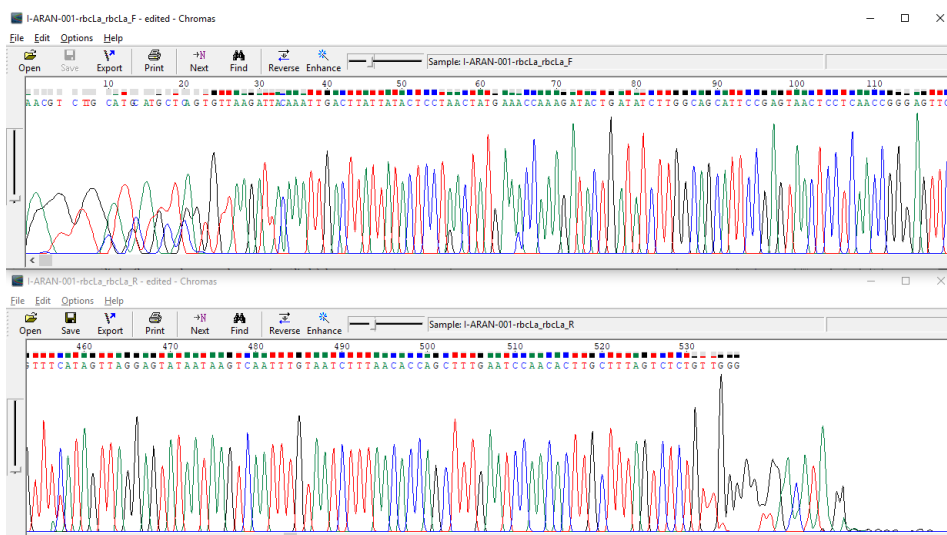


Figura 7. Edición de electroferogramas en el programa Chromas v. 2.6.5.

Las muestras colectadas de arándano se agruparon en 2 géneros de la familia Ericaceae, (*Vaccinium* sp. y *Gaultheria* sp.) Así mismo, estas se agruparon en 7 clados (ver Figura 7) según el árbol filogenético realizado.

Dentro del primer clado, las muestras I ARAN 046, I ARAN 050, I ARAN I ARAN 032, I ARAN 028, I ARAN 018 e I ARAN 006 son especies hermanas del género *Satyria warszewiczii*. Las muestras de I ARAN 038, I ARAN 037, I ARAN 024, I ARAN 022, I ARAN 015, I ARAN 011 e I ARAN 003 forman el clado 2 y se agrupan con *Vaccinium stamineum* y *Vaccinium uliginosum*, además este clado es conespecífico con el género *Gaylussacia bigeloviana*. Algo similar sucede con las muestras del clado 3: I ARAN 039, I ARAN 030, I ARAN 025 e I ARAN 002 colectadas de los distritos de Chachapoyas, Huancas, La Jalca y Leymebama respectivamente y que se encuentran en conespecificidad a *Vaccinium arboreum*. Por otro lado, la muestras I ARAN 013, I ARAN 009, I ARAN 010 y I ARAN 019 que forman el clado 4, son especies hermanas del género *Vaccinium ovatum* y del clado 5. Adicionalmente, las especies del clado 5, colectadas de los distritos de Maino (I ARAN 051), Leymebamba (I ARAN 004 y I ARAN 007), Molinopampa, Chachapoyas (I ARAN 020 y I ARAN 036), Huancas (I ARAN 031) y la Jalca (I ARAN 026) son especies hermanas a *Vaccinium ovatum* y a su vez conespecíficas a *Vaccinium meridionales*. Las especies del clado 6, I ARAN 047 e I ARAN 041, de los distritos de Maino y Levanto, respectivamente, son conespecíficas a *Gaultheria shallon*. Finalmente, las especies del clado 7 (I ARAN 27, I ARAN 040, I ARAN 023, I ARAN 017, I ARAN 005) distribuidas en los distritos de La Jalca, Chachapoyas, Chachapoyas, Molinopampa y Leymebamba respectivamente, son especies hermanas a *Gaultheria procumbens*.

En la Figura 8 y 9, se observa que los distritos que albergan mayor número de especies son Chachapoyas y Leymebamba con 6 especies por distrito. Entre la diversidad de especies identificadas se encuentran *Satyria warszewiczii*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium arboreum*, *Vaccinium ovatum*, *Vaccinium meridionales*, *Gaultheria shallon*, *Gaultheria* sp.

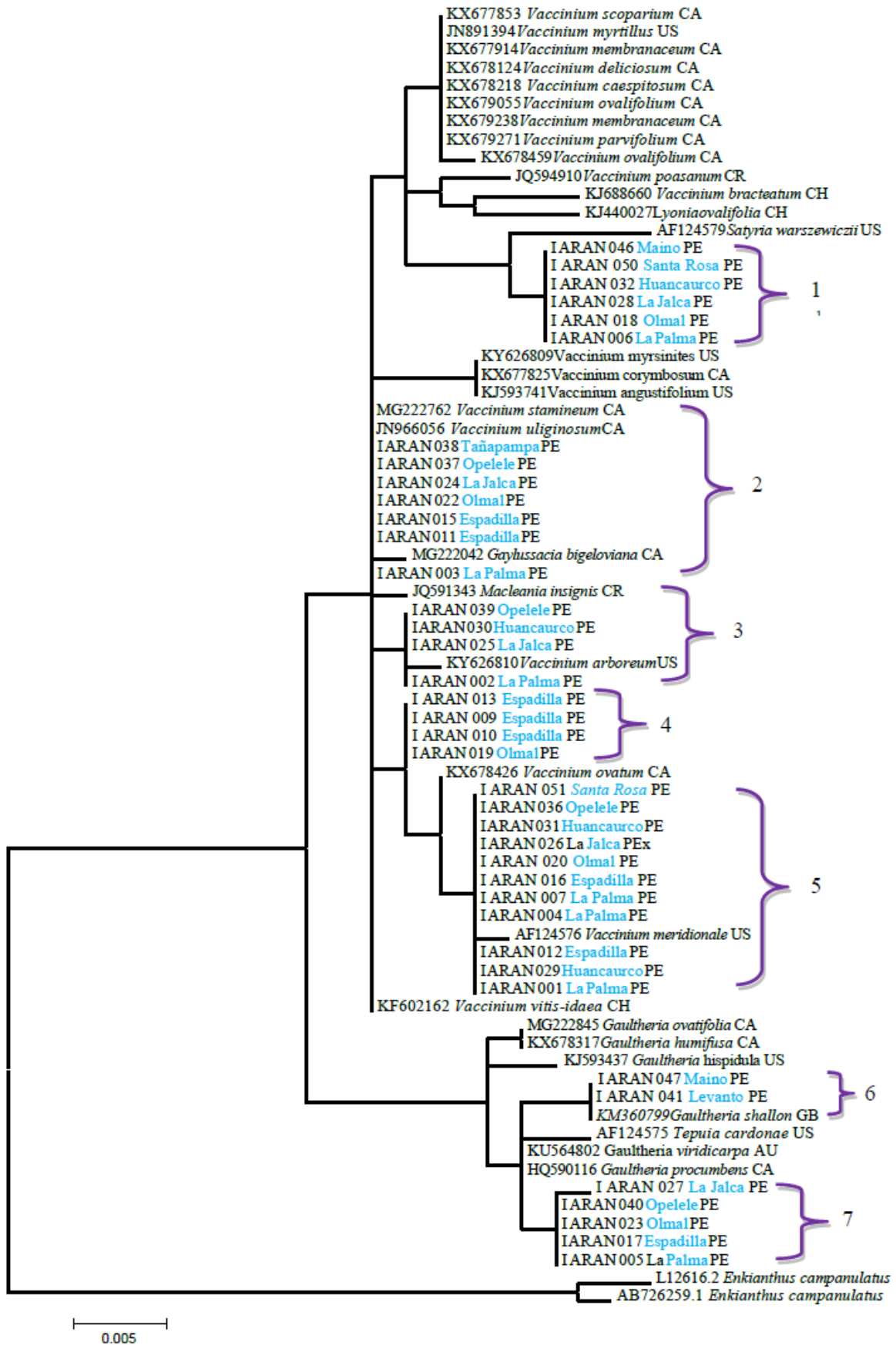


Figura 8. Árbol filogenético basado en máxima verosimilitud compuesta (MCL) del gen *rbcL* para arándanos silvestres.

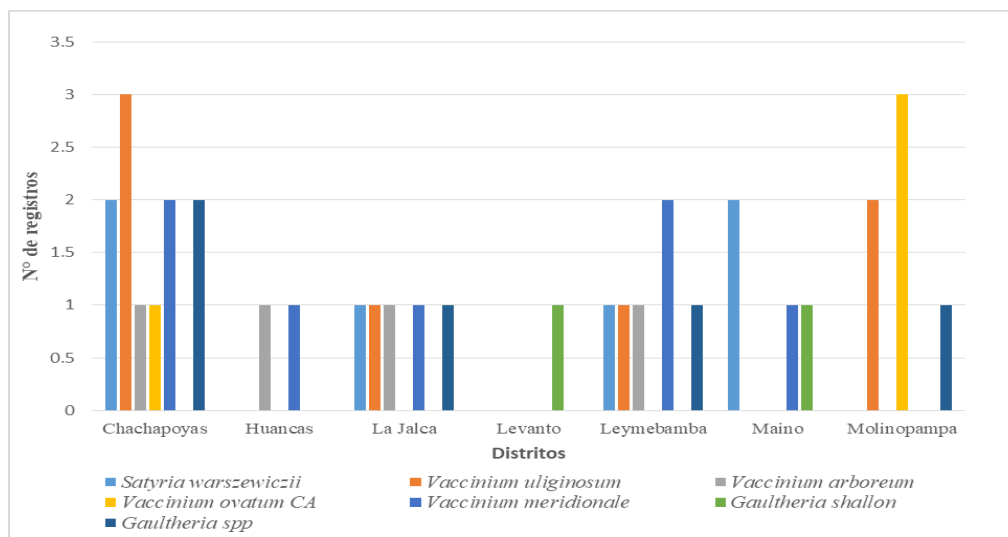


Figura 9. Número de registros de especies identificadas en los principales distritos de la provincia Chachapoyas.

4.2. Determinación de zonas potenciales

4.2.1. Análisis Jerárquico Múltiple (AHP)

El mapa de idoneidad de zonas potenciales se alcanzó mediante la sobreposición espacial de los mapas de idoneidad de clima, topografía y suelo (Tabla 6, Fig. 5.). Esta sobreposición contó con cada uno de los pesos respectivos promediados de las encuestas realizadas a los expertos por cada factor y su criterio respectivo como se muestra en la Tabla 7. Asimismo, estos fueron validados según el análisis de consistencia aplicado en el estudio por Mahdy & Bahaj (2018). En efecto, los expertos demostraron un promedio de relación de consistencia de 0.0281 el cual fue aceptable para la generación de mapas de idoneidad de los criterios en primer lugar y partir de estos los modelos para los factores (Figura 9.)

Tabla 6. La distribución del grado de idoneidad de la tierra para el cultivo del arándano en la provincia de Chachapoyas.

Grado de Idoneidad	Área (km ²)	Área total de tierras agrícolas (%)
Muy adecuado (5)	70.66	2.37
Moderadamente adecuado (4)	2,437.12	81.82
Marginalmente Adecuado (3)	404.13	13.57
Actualmente no apto (2)	66.22	2.22
No apto (1)	0.61	0.02
TOTAL	2,978.75	100

Tabla 7. Pesos de los criterios y subcriterios en el análisis de idoneidad de la tierra para cultivo del arándano en la provincia de Chachapoyas.

Principal Factor	Peso de Factor	Ranking	Criterio	Peso del criterio	Ranking
Climático	0.47	1	Temperatura (°C)	0.41	1
			Precipitación (mm)	0.37	2
			Horas De Frío	0.22	3
Topográfico	0.12	3	Altitud (msnm)	0.46	1
			Pendiente (%)	0.16	3
			Distancia a vías de acceso (km)	0.11	4
			Distancia a la red de hídrica (km)	0.27	2
			pH	0.51	1
Suelo	0.41	2	MOS (%)	0.19	2
			CIC (cmol(+)/kg)	0.13	3
			CUS	0.11	4
			Textura	0.06	5
				0.0281*	

CR*: Relación de consistencia

4.2.2. Idoneidad de la tierra

Según el equipo de expertos determinaron que la temperatura dentro del factor climático representa una importancia de un 37% seguido por la precipitación (27%). Dentro del factor topográfico y de suelo se determinó que la altitud y el pH son criterios claves para la producción del arándano proporcionando importancias de 46% y 40% respectivamente.

La Figura 10. Muestra la idoneidad de la tierra para el cultivo de arándano en calidad de “muy adecuado” (5) del 2.4% del espacio geográfico de la provincia de Chachapoyas, que equivale a 70.7 km². La mayor concentración de zonas potenciales se ubica en los distritos de Molinopampa, Leymebamba y Soloco. Por otro lado, “no apto” (1) y “actualmente no apto” (2) representa el 2.5%, es decir 66.8 km².

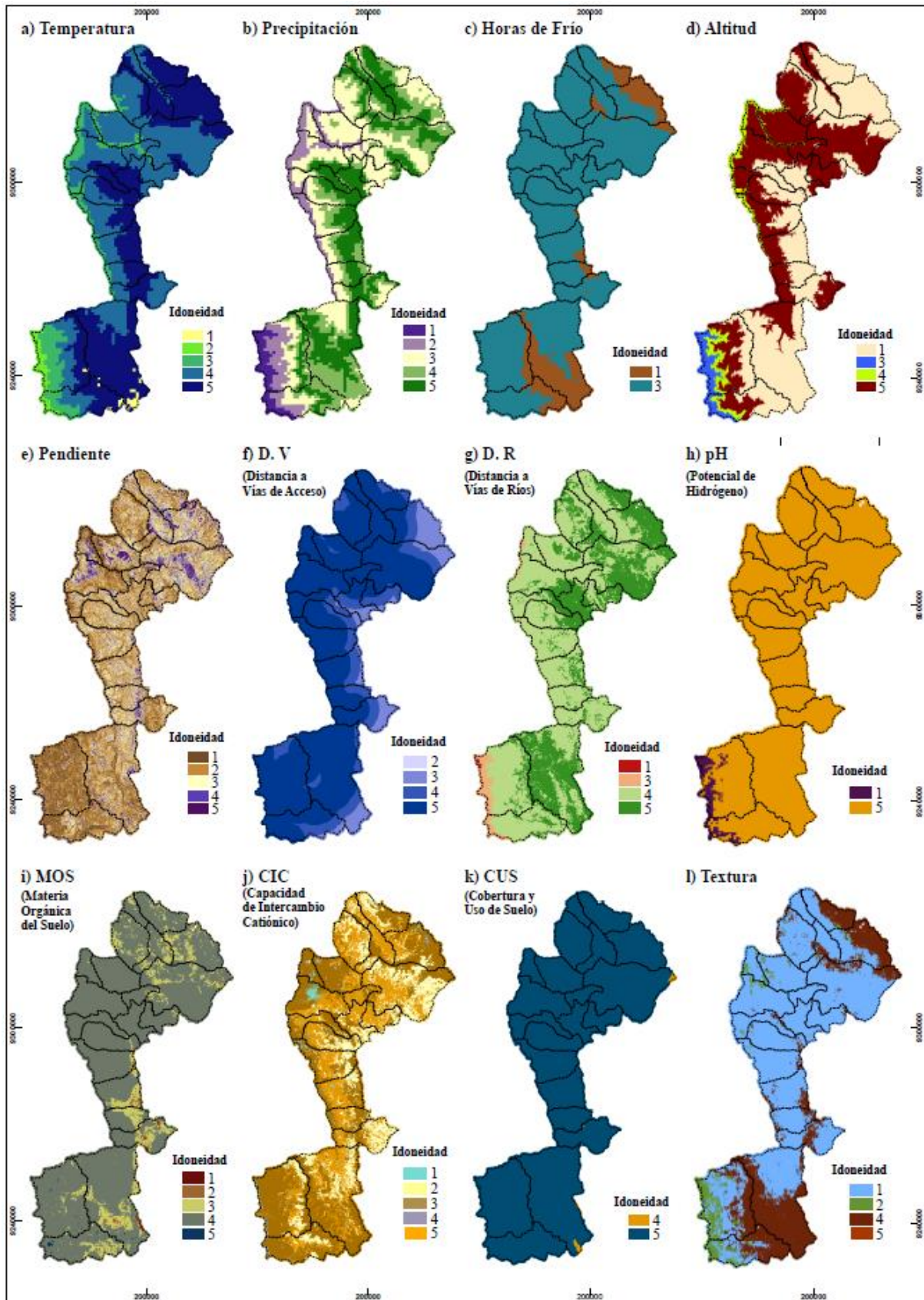


Figura 10. Criterios potenciales para el modelo AHP, para determinar idoneidad de la tierra para el cultivo del arándano en la provincia de Chachapoyas, Perú. Donde 1, 2, 3, 4 y 5 son los niveles de idoneidad de menos óptimo a más óptimo (Tabla 5.)

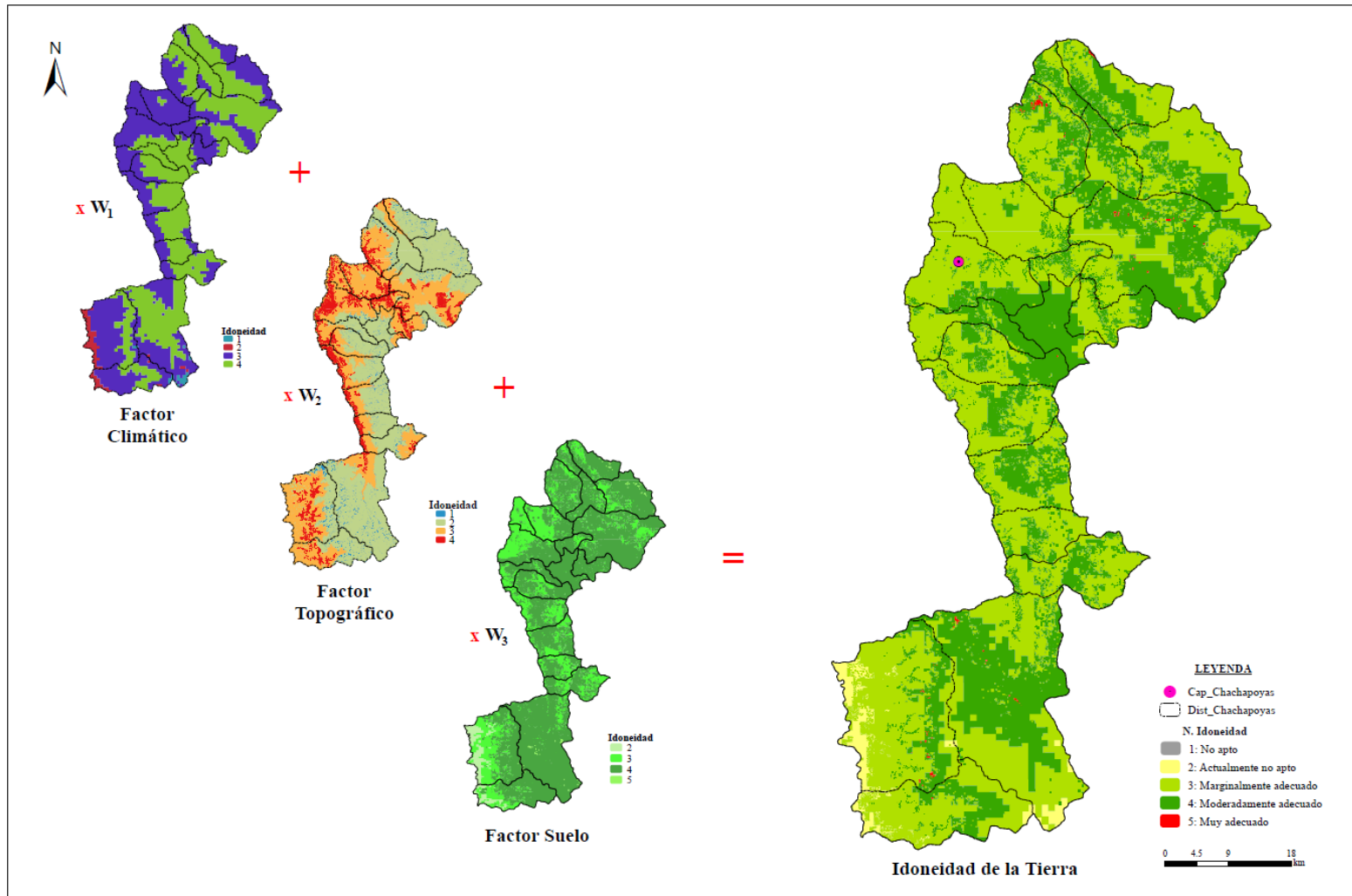


Figura 11. Mapa de idoneidad de la tierra para el cultivo de arándano en la provincia de Chachapoyas, mediante AHP. Donde se realizó la suma de ponderación lineal de los 03 factores: Climático, topográfico y suelo con sus respectivos pesos de importancia (W_1 , W_2 y W_3)

4.2.3. MaxEnt

4.2.3.1. Selección de variables y modelamiento

La elección de variables productoras resultó 10 de las 26 para los modelos, mediante la elección de un $r > 0.95$ que proporcionó 10 ejes (Anexo 2.3). Estas variables incluyeron el rango de temperatura diurna media (Bio2), rango anual de temperatura entre la diferencia de Bio5 - Bio6 (Bio7), estacionalidad de precipitación (Bio15), precipitación del barrio más húmedo (Bio16), precipitación del barrio más seco (Bio17), precipitación del barrio más frío (Bio19), aspecto, DEM (Altitud), pH y pendiente. En el gráfico de la Figura 12. Se puede observar el efecto de multicolinealidad cuando dos o más variables explican similar o igual al modelo.

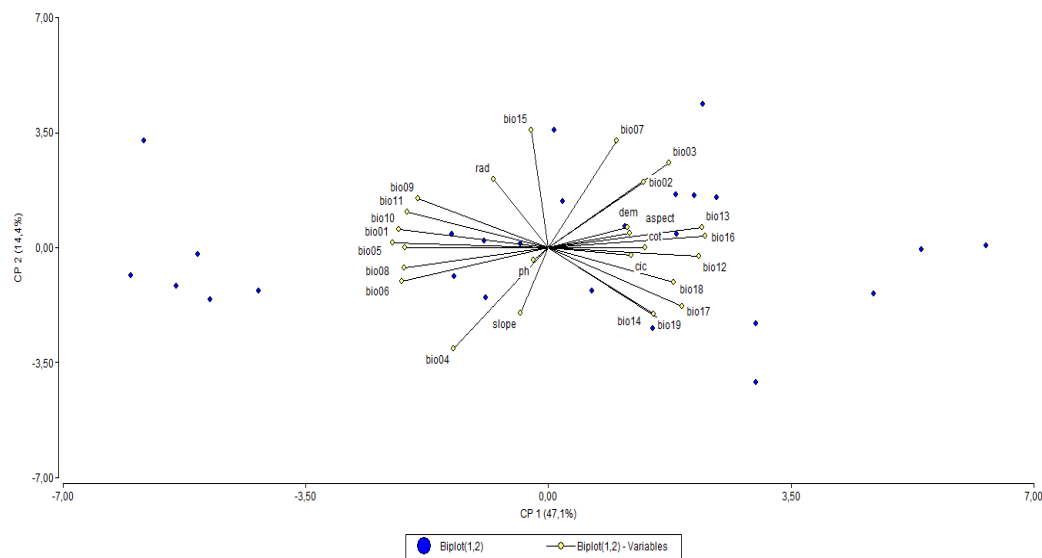


Figura 12. Análisis de PCA, aplicado para reducir la multicolinealidad de variables.

El modelo de MaxEnt para distribución del arándano generó resultados satisfactorios, con un valor de AUC de 0.96 (± 0.013). Siendo la altitud que contribuyó más al modelo, seguido por el rango diurno medio (Bio2) (Figura 13.)

La prueba de *Jackknife* evalúa la importancia relativa de las variables ambientales dentro del área de estudio. De manera individual el DEM es la variable que más aporta al modelo de distribución de MaxEnt con 40.9% según el modelo de distribución de arándano.

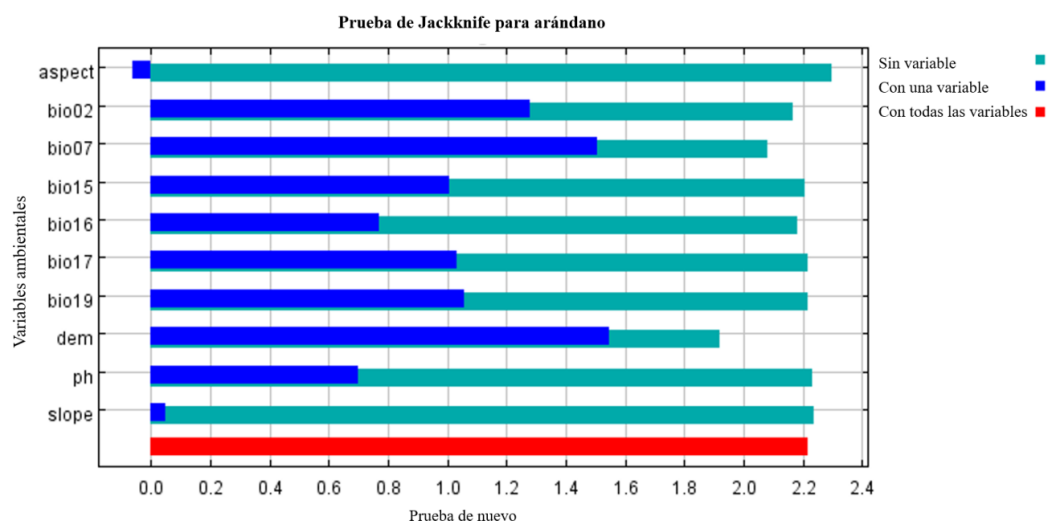


Figura 13. Prueba de *Jackknife*, empleada para evaluar la importancia relativa de las variables seleccionadas mediante el análisis de PCA.

4.2.3.2. Áreas de distribución potencial actual prevista

El tamaño de la distribución potencial según el modelamiento estima 457.4 km² de zona óptima. (Tabla 8, Figura 15.)

4.2.3.3. Distribución potencial futura prevista para 2050 y 2070

De manera global bajo los periodos de 2050 y 2070, existe un decrecimiento de las áreas de distribución para ambos periodos. En todas las proyecciones bajo los escenarios de concentración de CO₂ se observa una fluctuación en la distribución de pérdida de idoneidad de tierra, representada en un intervalo de 42% a 49%.

Mediante el rcp 4.5 y rcp 8.5 climático, los modelos mostraron una disminución de más del 42% de área potencial actual prevista. Para el escenario rcp 4.5, el modelo predice 253.8 km² de hábitat óptimo en 2050 y 284.8 km² de hábitat óptimo en 2070. Para el escenario rcp 8.5, el modelo predice 254.5 km² de hábitat óptimo en 2050 y 254.5 km² ha de hábitat óptimo en 2070. (Figura 17 y la Tabla 8.)

Tabla 8. Distribución potencial futura prevista para 2050 y 2070 con MaxEnt

Periodo	rcp 4.5	rcp 8.5
Actual	497.9	
2050	253.8	255.9
▲	244.1	242
	-49%	-48.6%
2070	284.8	254.5
▲	213.1	243.4
	-42.8%	-48.9%

▲ : Variación

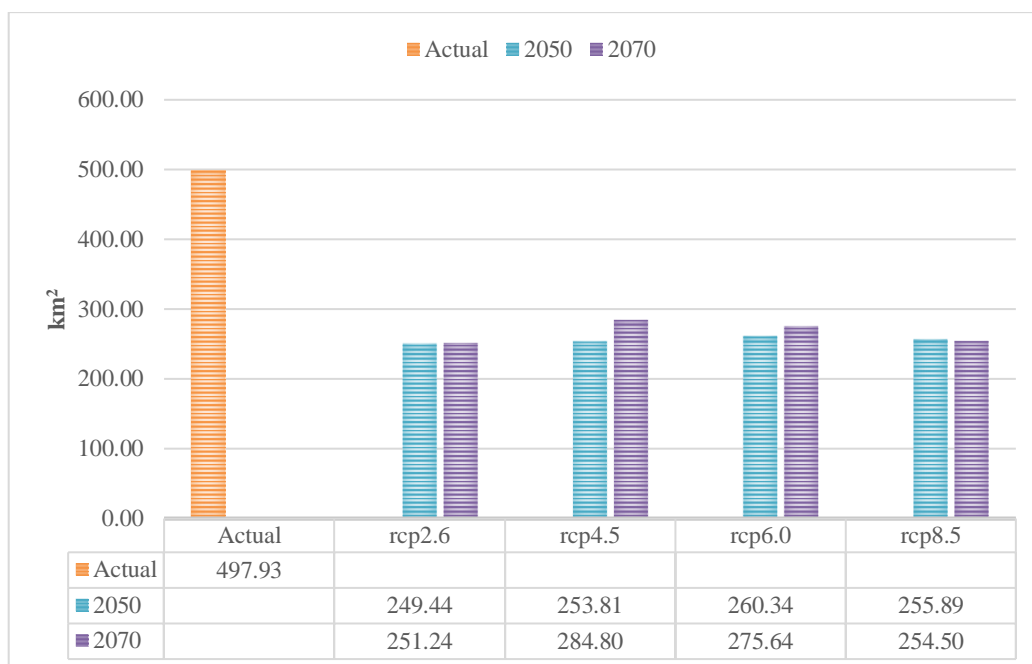


Figura 14. Distribución del área (km²) potencial en Chachapoyas para el cultivo del arándano, en los escenarios rcp 2.6, rcp 4.5, rcp 6.0, rcp 8.5; proyectados al 2050 y 2070 con MaxEnt.

4.2.4. Integración AHP y MaxEnt

La integración de zonas potenciales entre la metodología AHP y la distribución potencial de mediante MaxEnt resultó una significativa disminución de zonas potenciales para el arándano, en las proyecciones a futuro. De esta manera, la Figura 17 y la Tabla 9. indica que la integración realizada para el escenario rcp 4.5, el modelo predice 262.37 km² de hábitat óptimo en 2050 y 244.18 km² de hábitat óptimo en 2070. Para el escenario rcp 8.5, el modelo predice 299.77 km² ha de hábitat óptimo en 2050 y 277.39 km² de hábitat óptimo en 2070.

Se puede apreciar en la Figura 15. que a medida que la concentración de CO₂ se incrementa en el planeta, los efectos repercuten en la distribución de áreas idóneas para el cultivo de arándano por ende en el escenario de rcp 8.6 se alcanza una pérdida de -48.6% (242.03 km²) en el 2050 a -48.9% (254.50 km²) en el 2070 de área idónea con respecto al actual.

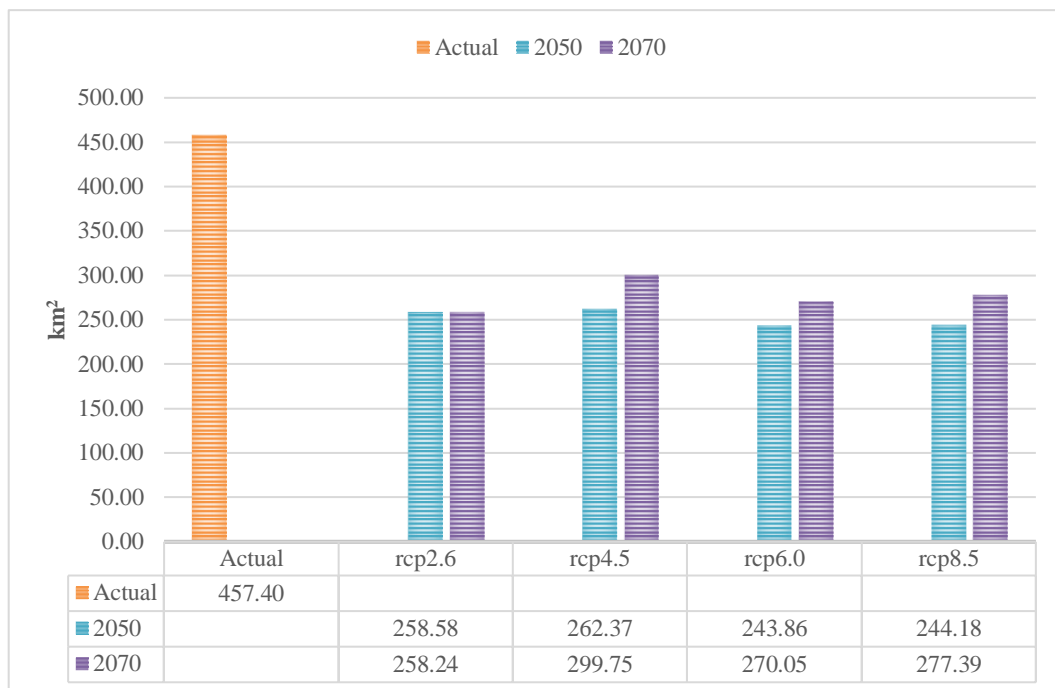


Figura 15. Distribución del área (km²) potencial en Chachapoyas para el cultivo del arándano en los escenarios rcp 2.6, rcp 4.5, rcp 6.0, rcp 8.5; proyectados al 2050 y 2070 con AHP y MaxEnt

Tabla 9. Distribución potencial futura prevista para 2050 y 2070 con MaxEnt y AHP

Periodo	rcp 4.5	rcp 8.5
Actual	457.4	
2050	262.4	244.2
▲	195	213.2
	-42.6%	-46.6%
2070	299.8	277.4
▲	157.7	24342.9
	-34.5%	-39.4%

▲: Variación

Se puede apreciar que a medida que la concentración de CO₂ se incrementa bajo los 4 escenarios propuestos en el iv informe de la IPCC, los efectos repercuten en la distribución de áreas idóneas para el cultivo de arándano por ende bajo el escenario de rcp 4.5 para el 2050 se alcanza una pérdida de -42.6% a -46.6% en el 2070 de área idónea con respecto al actual, resultado de la integración 457.39 km². Esto significa que en 2050 y 2070 probablemente se tenga una pérdida de 195 km² y 157.7 km² respectivamente. Según el MINAGRI (2016), en el Perú la producción por hectárea a

nivel mundial alcanzó 4.8 toneladas en el año 2013 y que el precio por kg es de US\$ 9,3/Kg. Es decir, en términos económico la reducción de pérdida de áreas idóneas representa una pérdida de: US\$ 870,597.86 y US\$ 703,745.64 en 2050 y 2070 respectivamente bajo el escenario rcp 4.5, que es el escenario categorizado como de “estabilización” de concentración de CO₂.

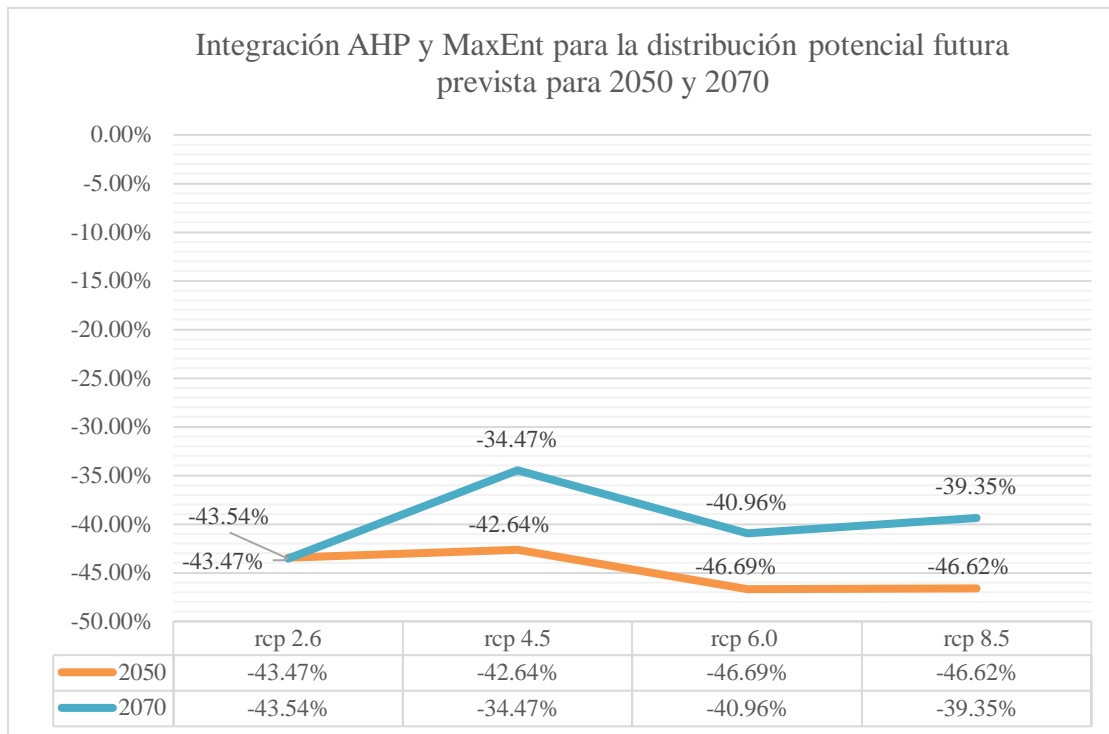


Figura 16. Distribución potencial futura prevista para el cultivo de arándano, mediante la integración de la técnica AHP y el modelado de distribución con MaxEnt bajo cuatro escenarios del cambio climático para los años de 2050 y 2070

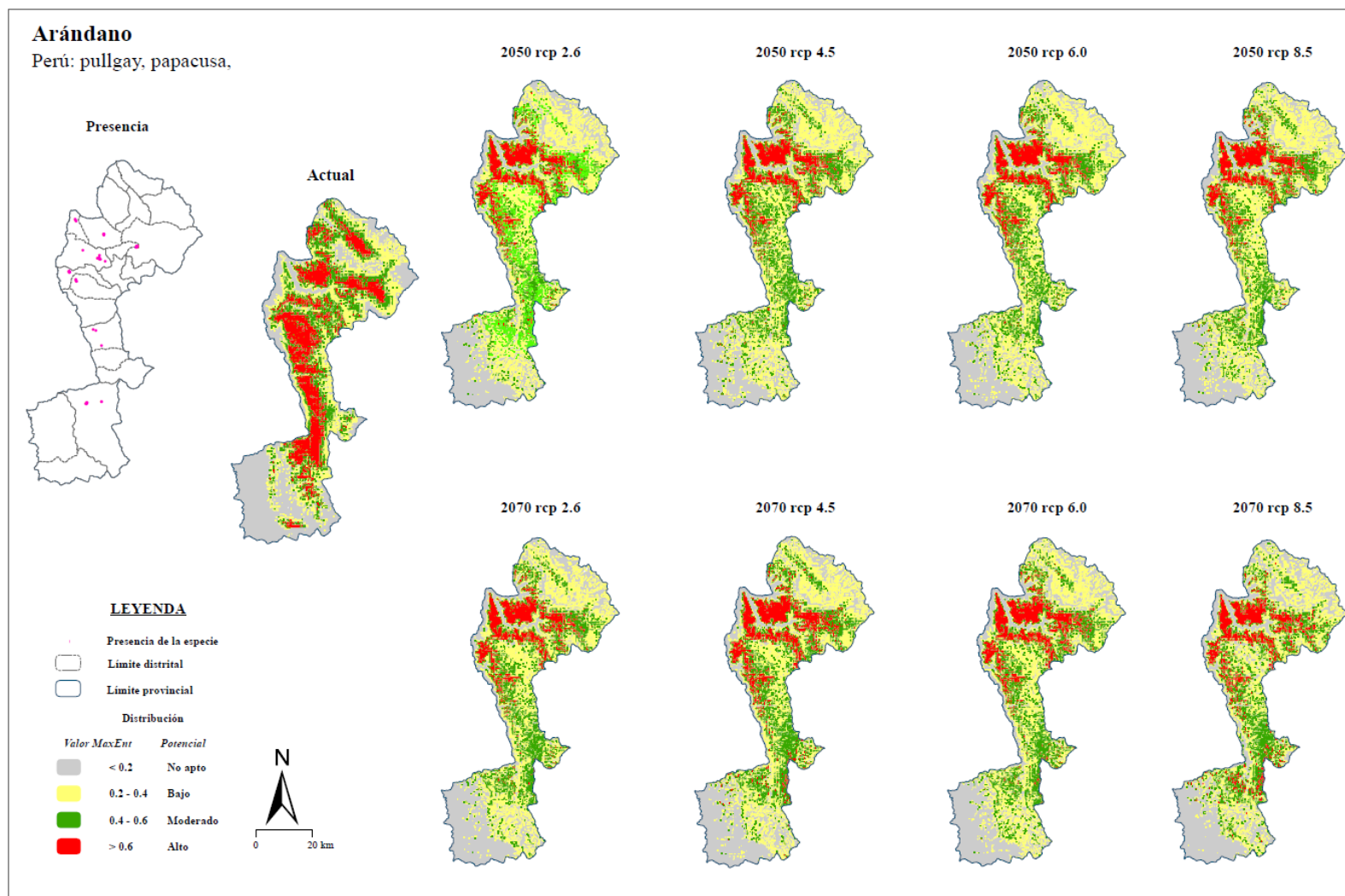


Figura 17. Generación del modelo de distribución de arándano bajos escenarios del cambio climático, representado en concentraciones de CO₂ expresados en rcp 2.6, rcp 4.5, rcp 6.0 y rcp 8.5 utilizando el programa MaxEnt.

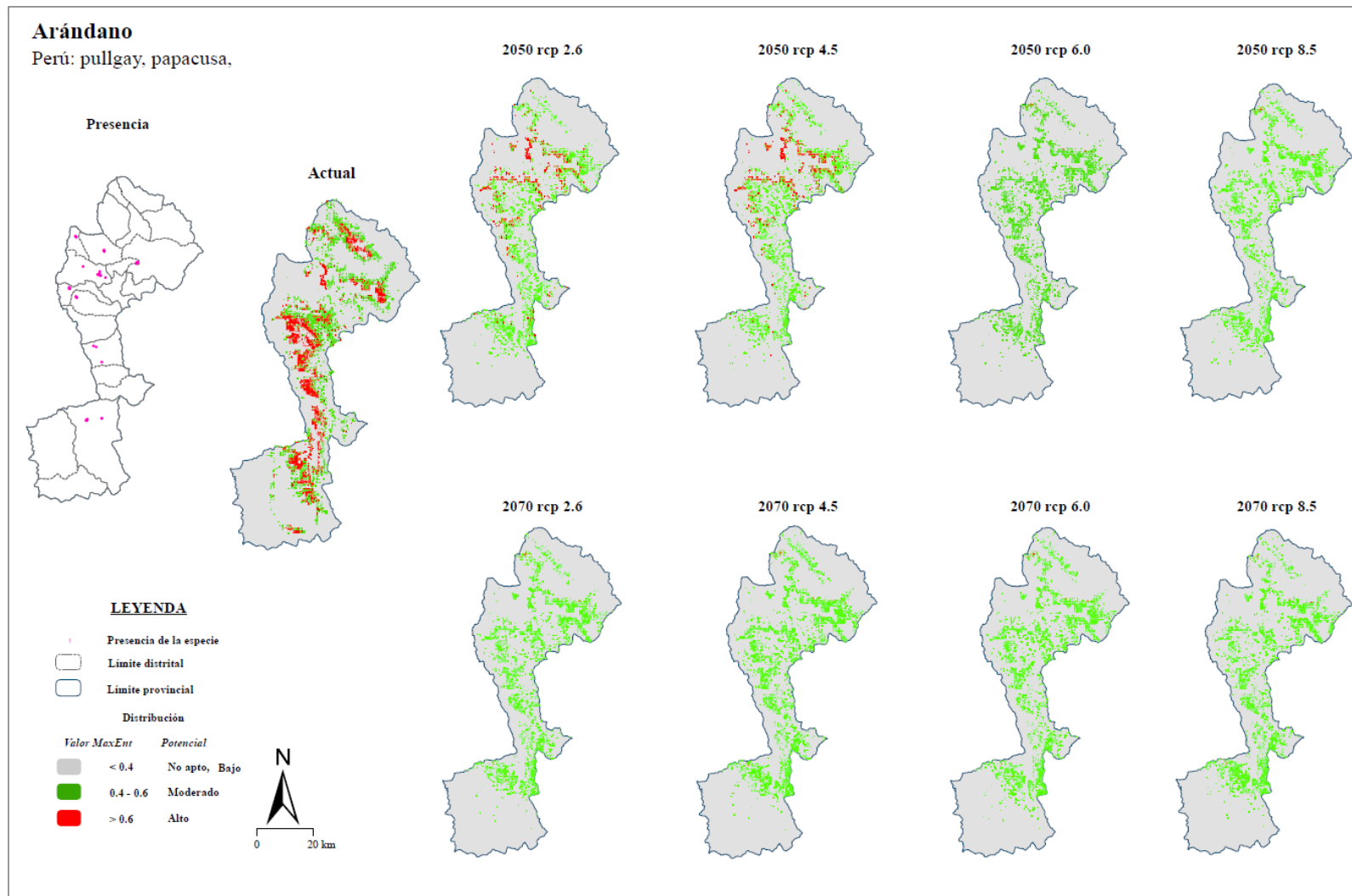


Figura 18. Generación del modelo de idoneidad mediante el uso de la herramienta *Weighted Overlay*, después de la integración de AHP y MaxEnt de áreas óptimas entre ambos métodos de cálculo bajo escenario del cambio climático.

V. DISCUSIONES

El Perú alberga una amplia biodiversidad que requiere ser estudiada (Solano, 2005). Desde tiempos remotos a la actualidad, la caracterización morfológica ha predominado para evaluar la biodiversidad, basado en caracteres que pueden ser altamente heredables, fácilmente observables y expresables; sin embargo, existe limitaciones de distinción al encontrar especies morfológicamente parecidas (Hernández, 2013). Por ello, el uso de marcadores de ADN específicos para la identificación de especies es crucial. En este estudio, se empleó el gen *rbcL* (Powell & Kron, 2002 y Schwery *et al.*, 2015) para determinar la diversidad de especies de arándanos en la Provincia de Chachapoyas.

Pedraza-Peñalosa & Luteyn (2011) reportaron solo 5 especies de arándano para Perú y León *et al.* (2017) previamente identificaron los géneros *Vaccinium* y *Gaultheria* basados en observaciones morfológicas para el departamento de Amazonas. Nuestra caracterización molecular identificó cuatro géneros: *Gaultheria*, *Gaylussacia*, *Satyria* y *Vaccinium*. Estos resultados revelan la limitación de las observaciones morfológicas en comparación a la sistemática molecular al momento de desarrollar estudios de diversidad.

El género *Gaultheria* se encuentra distribuido en los departamentos de Amazonas, Ayacucho, Cajamarca y San Martín (León, 2010). En nuestros análisis moleculares identificamos a *Gaultheria shallon* en los distritos de Levanto y Maino. Reportes de Vásquez & Peláez (2015) sugieren que pobladores de Bagua utilizan la *Gaultheria procumbens* como planta medicinal. El presente estudio no puede determinar si estas dos especies son conspecíficas, por lo que colectas con material adicional de ambas especies permitiría confirmar su parentesco. Según Floyd (2002), el género *Gaylussacia* sp es ampliamente distribuida en Norteamérica y comprende 63 especies. *Gaylussacia bigeloviana* es una de las pocas especies de este género que se encuentra distribuidas entre Perú y Ecuador (Romão, 2011). El análisis molecular permitió la confirmación de esta especie para la región Amazonas ubicada en Leymebamba. En referencia al género *Satyria*, León (2006) reporta su distribución en el norte del país, en la cuenca del Marañón. Los reportes de *Satyria* para la región son los primeros confirmados molecularmente ubicado en Chachapoyas, La Jalca, Leymebamba y Maino. Para el género *Vaccinium*, nuestro análisis molecular identificó 5 especies (*Vaccinium stamineum*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium arboreum*, *Vaccinium ovatum*, *Vaccinium meridionales*) distribuidos en Chachapoyas, La Jalca, Leymebamba y Molinopampa. A pesar que Pedraza-Peñalosa & Luteyn (2011) describió morfológicamente *Vaccinium*

youngii, *Vaccinium ortizii*, *Vaccinium continuum*, *Vaccinium urubambensis* y *Vaccinium amazonicum*, como nuevas especies de los andes peruanos; ninguna de ellas fue reportada para este estudio. Esto sugiere que análisis moleculares de muestras colectadas de las localidades tipo serían fundamentales para evaluar el parentesco de las especies de *Vaccinium* en Perú.

En relación a la determinación de zonas potenciales para el cultivo, Bukalo (2013) mediante el uso de los SIG reportó que la altitud es la variable más importante para la identificación de zonas potenciales para el cultivo de arándano. Asimismo, Álvarez-Bravo *et al.* (2019) resalta la importancia de estas zonas potenciales debido a la acumulación de horas de frío. De esta manera, dentro del factor topográfico, la altitud juega un papel importante para la determinación de zonas potenciales para el cultivo de arándano con un aporte de 46% (Tabla 6). Antunes & Raseira (2006) y Dal Molin (2014) determinaron que el factor limitante más importante para la producción de arándano es el factor climático. Esto se corrobora con los resultados del panel de los 6 expertos encuestados al dar un 47% de importancia para el modelo de idoneidad en el cultivo de arándano. Además, la variable temperatura tiene una importancia del 41% con respecto a la precipitación y a la acumulación de horas de frío, al igual que en los estudios realizados con evaluación multicriterio aplicado a la agricultura por Zhang, Wu, & Liang (2015); Abdel-Rahman, Natarajan, & Hegde (2016) y Kazemi & Akinci (2018). Algo semejante ocurre en el factor suelo, donde el pH es un factor limitante para el desarrollo del arándano (Tasa *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2015; Vera *et al.*, 2016; MINAGRI, 2016), lo cual es confirmado en nuestro estudio al tener una dominancia de 51% ante los criterios de MOS, CIC, CUS y textura.

Las zonas potenciales para el cultivo de arándano se establecieron alrededor de un piso altitudinal de 1,700 a 2,800 m.s.n.m, localizado en los distritos de Chachapoyas, Soloco, Leymebamba, Molinopampa, estas altitudes corresponden al intervalo de 1,600 a 4,400 m.s.n.m distribución de arándanos del género *Vaccinium* según Razuri (2015). El modelo de idoneidad utilizando AHP representó solo el 2.4% como “muy adecuado” a diferencia de los estudios realizados por Kamkar, Dorri, & Da Silva (2014); Zolekar & Bhagat (2015) y Zhang *et al.* (2015), donde la idoneidad óptima supera al 11% del área de estudio. Esto probablemente sea consecuencia de los accidentes geográficos que presenta las zonas altoandinas de la provincia de Chachapoyas (Torres & Kim, 2010),

donde el acceso a vías y medios de mecanización de la agricultura son insipientes, a diferencia de los estudios anteriores que fueron realizados en zonas costeras.

El cambio climático tiene efectos sobre los seres vivos, con efectos en animales y vegetales (Gonzales *et al.*, 2009). Según los modelos generados, el arándano modificaría su distribución potencial de idoneidad para los periodos del 2050 y 2070 de manera decreciente, en especial el género *Vaccinium* sp. una especie dominante en zonas de páramo (Quesada-Quirós *et al.*, 2014). Para la modelación de la distribución de arándano en la provincia de Chachapoyas solamente se emplearon siete variables bioclimáticas de la base de datos Worldclim basados en un análisis previo de PCA, a diferencia de Quesada-Quirós *et al.* (2014) que emplearon 19 variables bioclimáticas para la modelación ante el cambio climático en los periodos de 2050 y 2070 en la distribución de *Vaccinium consanguineum* en Costa Rica, sin haber evaluado los problemas de multicolinealidad de variables (Cavalcante *et al.*, 2019).

Desde el punto de vista de la conservación, las predicciones son muy desfavorables para los arándanos en la proyección de rcp (Figura. 17), con disminuciones que llegan a valores de 46.7% en pérdida de área con respecto al escenario actual. Esto es explicado por Hernández-Ruíz *et al.* (2016) y Veintimilla (2013), en sus modelos proyectados a futuro, en donde las especies disminuyen su distribución, desde un área continua a un área fragmentada y distribuidas en montañas altas. Sería preciso de nuevos análisis con metodologías diferentes a MaxEnt tales como Garp y BioClim (Palma-Ordaz & Delgadillo-Rodríguez, 2014), para evaluar la confianza de las futuras proyecciones de distribución potencial del arándano ante efectos del cambio climático con la adición de otras variables como los índices de vegetación (NDVI, SAVI y otros), para aumentar la eficiencia y exactitud del modelo (Castillo, 2015).

VI. CONCLUSIONES

La caracterización molecular demostró que 35 de las muestras colectadas e identificadas en la provincia de Chachapoyas se agruparon en 7 clados distribuidos en 4 géneros de la familia Ericaceae (*Gaultheria*, *Gaylussacia*, *Satyria*, *Vaccinium*). Asimismo, en los distritos de Chachapoyas y Leymebamba, se encontró la mayor diversidad de especies de arándano.

El AHP en combinación con un SIG fue muy útil para la identificación adecuada de las zonas con potencial de cultivo para el arándano. Asimismo, esta idoneidad representó

un total de 70.7 km², es decir el 2.4% del espacio geográfico de la provincia de Chachapoyas. Por otro lado, la investigación reveló que, aproximadamente el 81.8% (2,437 km²) es “moderadamente adecuado”, 13.6% (404.1 km²) “marginamente adecuado” y 2.2% (66.8 km²) es “actualmente no apto”.

La integración de AHP y MaxEnt en un entorno SIG, demostraron ser eficientes para la determinación de zonas potenciales en un periodo actual y futuro, bajo escenarios del cambio climático. A través, del uso de 59 registros de presencia, una adecuada selección de variables y la generación de modelos de idoneidad en el programa MaxEnt. Por otro lado, AHP y MaxEnt demostró un escenario pesimista para la distribución de áreas idóneas en el cultivo de arándano, con una estimación promedio en pérdida de 44.9% y 39.6% para el 2050 y 2070, respectivamente, con respecto al escenario actual.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda aplicar análisis del tipo molecular a otros cultivos de importancia económica, social y ambiental; u otros relacionados a la preservación y conservación de especies de flora y fauna que puedan ser modelados bajo escenarios del cambio climático, debido a la diversidad que nos permite detectar los marcadores moleculares.

A pesar de encontrar una mayor numero de especies con la amplificación de gen *rbcL* en comparación a estudios de carácter morfológico, se recomienda el uso de otros marcadores moleculares tales como *matK* para la identificación y contrastación de especies silvestres de arándano.

La metodología empleada de AHP se puede aplicar para otras provincias de la región Amazonas, como Luya que, según Rodríguez *et al.* (2010) presenta condiciones edafoclimáticas muy similares a la provincia de Chachapoyas. Asimismo, esta metodología se puede aplicar para otros cultivos que cuenten importancia nutricional, económica y ambiental.

Se recomienda continuar desarrollando estudios a mayor profundidad dentro de la línea de cambios en distribución geográfica y desplazamiento de poblaciones para cultivos de interés ante escenarios de cambio climático dentro de la región de Amazonas.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelaal, M., Fois, M., Fenu, G., & Bacchetta, G. (2019). Using MaxEnt modeling to predict the potential distribution of the endemic plant *Rosa arabica Crép.* in Egypt. *Ecological informatics*, 50, 68-75.
- Abdel-Rahman, M. A., Natarajan, A., & Hegde, R. (2016). Assessment of land suitability and capability by integrating remote sensing and GIS for agriculture in Chamarajanagar district, Karnataka, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 19, 125-141.
- Abolins, M., Sausserde, R., Liepniece, M., & Sterne, D. (2009). Cranberry and Blueberry Production in Latvia. *Latvian Journal of Agronomy*, 12, 7-13.
- Akıncı, H., Özalp, A. Y., & Turgut, B. (2013). Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. *Computers and electronics in agriculture*, 97, 71-82.
- Álvarez-Bravo, A., Bugarín-Montoya, R., & Arellano-Figueroa, M. E. (2019). Acumulación de horas frío para la producción de arándano en Nayarit, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12, 175-185.
- Amini, S., & Ravandeh, H. (2015). Determinación de los índices de energía para la producción de banano y presentación de una solución para el desarrollo agrícola utilizando AHP. *En Biological Forum*, 7, 817-829.
- Antunes, L. E. C., & Raseira, M. (2006). Cultivo do mirtilo (*Vaccinium spp*). EMBRAPA, Clima Temperado-Sistema de Produção. Brasil. INFOTECA-E. (pp. 1-52)
- Bassil, N., Oda, A., & Hummer, K. E. (2008). Los marcadores microsatélites de arándano identifican los cultivares de arándano. *En el IX Simposio Internacional de Vacunio*, (pp. 181-187).
- Bukalo, E., Behlulovic, D., Salcinovic, A., & Tomic, M. (2013). Use of Ecological Characteristic of Soil for Making the Suitability Maps for Growth and Cultivation of Species of the Genus *Vaccinium* Using Gis Tools. In Fourth International Scientific Symposium "Agrosym 2013", Jahorina, Bosnia and Herzegovina, *Faculty of Agriculture, University of East Sarajevo*. (pp. 938-944).
- Bustamante, D. E., Won, B. Y., & Cho, T. O. (2013). *Neosiphonia baliana* sp. nov. and *N. silvae* sp. nov. (*Rhodomelaceae, Rhodophyta*) from Bali, Indonesia. *Botanica marina*, 56, 515-524.
- Bustamante, D. E., Won, B. Y., Ramírez, M. E., & Cho, T. O. (2012). *Neosiphonia peruviensis* sp. nov. (*Rhodomelaceae, Rhodophyta*) from the Pacific coast of South America. *Botanica marina*, 55, 359-366.
- Castillo, S. C. P. (2015) Modelo de distribución de *Leontochir ovallei* utilizando variables ambientales bioclimáticas, topográficas y de percepción remota. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil*, (pp. 1-34).
- Cavalcante, R. A. D. S., Nascimento, F. A. O. D., Pereira, M. A. S. B. F., Souza, D. P. D., Fontana, A. P., Cotarelli, V. M., ... & Moura Júnior, E. G. D. (2019). Ampliação do conhecimento

- biogeográfico de *Pleurophora pulchra* (Lythraceae) com enfoque em biologia da conservação. *Rodriguésia*, 70, 78-89.
- Colak, N., Primetta, A. K., Riihinen, K. R., Jaakola, L., Grúz, J., Strnad, M.,... & Ayaz, F. A. (2017). Phenolic compounds and antioxidant capacity in different-colored and non-pigmented berries of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). *Food Bioscience*, 20, 67-78.
- Cruz-Cárdenas, G., López-Mata, L., Villaseñor, J. L., & Ortiz, E. (2014). Modelado de la distribución potencial de especies y el uso del análisis de componentes principales como variables predictoras. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 188-199.
- Dal Molin, S. J., Dal Magro, T., Pagot, E., Soldatelli, P., Michelon, M. F., & Serro, I. (2014). Fenologia e aptidão de cultivares de mirtilo (*Vaccinium* sp). *VII Seminário Brasileiro sobre Pequenas Frutas*. Brasil, (pp. 1-31)
- Deng, F. Li. X., Wang, H., Zhang, M. Li R., & Li. X. (2014). GIS-based assessment of land suitability for alfalfa cultivation: a case study in the dry continental steppes of northern China. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 12, 364-375.
- Eland-Goossensen, M. A. M., Goor, L. V. D., Vollemans, E. C., Hendriks, V. M., & Garretsen, H. F. L. (1997). Muestreo de bolas de nieve aplicado a adictos a los opiáceos fuera del sistema de tratamiento. *Investigación de adicciones*, 5, 317-330.
- Estrada, L. L., Rasche, L., & Schneider, U. A. (2017). Modeling land suitability for *Coffea arabica* L. in Central America. *Environmental modelling & software*, 95, 196-209.
- Etikan, I., Alkassim, R., & Abubakar, S. (2016). Comparación de muestreo de bola de nieve y técnica de muestreo secuencial. *Biometrics & Biostatistics International Journal*, 3, 1-2.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2013). Sustainable Agriculture for Biodiversity. Tanzania, 1-48. Obtenido de: <http://www.fao.org/3/a-i6602e.pdf>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2016a). El estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Roma, 1-28. Obtenido de: <http://www.fao.org/3/a-i6132s.pdf>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2016b). FAOSTAT (Data on Food and Agriculture). Obtenido de: <http://www.fao.org/faostat/es/>.
- Floyd, J. W. (2002). Patrones filogenéticos y biogeográficos en *Gaylussacia* (Ericaceae) basados en la variación morfológica, del ADN nuclear y del ADN del cloroplasto. *Botánica sistemática*, 2, 99-115.
- Gil, A. M. L. (2003). La evaluación del medio para la práctica de actividades turístico-deportivas en la naturaleza. *Cuadernos de Turismo*, 12, 131-150.
- González-Elizondo, M., Jurado, Y. E., González-Elizondo, S., Aguirre-Calderón, Ó. A., Jiménez-Pérez, J., & Nívar-Cháidez, J. D. J. (2003). Cambio climático mundial: origen y consecuencias. *Ciencia UANL*, 6, 77-91.
- Goodman, L. A. (1961). Snowball sampling. *The annals of mathematical statistics*, 148-170. Visto en: <https://www.jstor.org/stable/2237615>.

- Graham, C. H. (2004). New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends Ecology Evolution*, 19: 497-503.
- Hamzeh, S., Mokarram, M., & Alavipanah, S. K. (2014). Combination of Fuzzy and AHP methods to assess land suitability for barley: Case Study of semi-arid lands in the southwest of Iran. *Desert*, 19, 173-181.
- Hernandez, D. A. C., Delfin, H., & Mel, A. Ñ. V. (2012). Predictive models review of species in biological control. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15, 121-132.
- Hernández, V, A. E. (2013). Caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. *Revista Bio Ciencias*, 2, 1-12.
- Hernández-Ruíz, J., Herrera-Cabrera, B. E., Delgado-Alvarado, A., Salazar-Rojas, V. M., Bustamante-Gonzalez, Á., Campos-Contreras, J. E., & Ramírez-Juarez, J. (2016). Distribución potencial y características geográficas de poblaciones. *Journal of Tropical Biology*, 64, 235-246.
- INDES-CES (Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva). (2017). Estudio de Línea Base Proyecto: “Comportamiento Productivo de Variedades de Arándano Provenientes de la Propagación in Vitro por Pisos Altitudinales-Provincia De Chachapoyas. (pp. 1-30).
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). (2007). Base de datos Cartográficos del Perú, límites regional, provincial y distrital. Lima. Obtenido de: <https://www.inei.gov.pe>.
- Iturralde, R. B. (1991). Revisión del género *Vaccinium* L. en las Antillas. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 2, 23-38
- Jaisli, I., Laube, P., Trachsel, S., Ochsner, P., & Schuhmacher, S. (2019). Suitability evaluation system for the production and sourcing of agricultural commodities. *Computers and Electronics in Agriculture*, 161, 170-184.
- Janie, R., Roopnarine, R., Riccardo, B., & Monica, P. (2017). Land Degradation Assessment in Small Island Developing States (SIDS). *Rome*. 8, 37-48
- Jankava, A., Berzina, M., Didrihsone, D., Platonova, D., & Palabinska, A. (2017). Assessment of Land Degradation for Sustainable Development of Municipality Territories, *Economic Science for Rural Development*, 44, 69-75.
- Jiang, G. (2017). Molecular Markers. Encyclopedia of Applied Plant Sciences. Virginia State University, Petersburg, USA. *El Sevier*, 2, 207-2014
- Kamkar, B., Dorri, M. A., & Da Silva, J. A. T. (2014). Assessment of land suitability and the possibility and performance of a canola (*Brassica napus* L.) soybean (*Glycine max* L.) rotation in four basins of Golestan province, Iran. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 17, 95-104.
- Kane, N., Sveinsson, S., Dempewolf, H., Yang, J. Y., Zhang, D., Engels, J. M. M., & Cronk, Q. (2012). Ultra-barcoding in cacao (*Theobroma* spp, *malvaceae*) using whole chloroplast genomes and nuclear ribosomal DNA. *American Journal of Botany*, 99, 320-329.

- Kazemi, H., & Akinci, H. (2018). A land use suitability model for rainfed farming by Multi-criteria Decision-making Analysis (MCDA) and Geographic Information System (GIS). *Ecological engineering*, 116, 1-6.
- Kole, C. (2012). Genetics, Genomics and Breeding of Berries. Department of Genetics and Biochemistry Clemson University Clemson, SC USA. Serie: ISBN 978-1-57808-707-5. (pp. 1-220).
- Kron, K. A., & Judd, W. S. (1997). Systematics of the (Andromedeae, Ericaceae) and the use of species as terminals in higher-level cladistic analyses. *Systematic Botany*. 3, 479-492.
- Kumar, S., Stecher, G., & Tamura, K. (2016). MEGA7: molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets. *Molecular biology and evolution*. 33, 1870-1874.
- Lara Estrada, L., Rasche, L., & Schneider, U. A. (2017). Modeling land suitability for *Coffea arabica* L. in Central America. *Environmental Modelling and Software*. 95, 196-209.
- León, B. (2006). Ericaceae endémicas del Perú. *Revista Peruana de Biología*. 13, 285-293.
- León, B., Young, K. R., Roque, J., & Cano, A. (2010). Nuevos registros de plantas de la zona alta del Parque Nacional Rio Abiseo, Perú. *Arnaldoa*, 17, 51-83.
- León, J. M., González, T. R., & Rivero, A. E. G. (2017). Fitogeografía y morfología de los *Vaccinium* (Ericaceae) “arándanos nativos” del Perú. *INDES Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 3, 43-52.
- Leung, LC & Cao, D. (2001). Sobre la eficacia de modelar problemas de decisión de múltiples atributos usando AHP y Sinarchy. *European Journal of Operational Research*, 132, 39-49.
- López-Gutiérrez, B., Pérez-Escandón, B., & Villavicencio Nieto, M. (2014). Aprovechamiento sostenible y conservación de plantas medicinales en Cantarranas, Huehuetla, Hidalgo, México, como un medio para mejorar la calidad de vida en la comunidad. *Botanical Sciences*, 92, 389-404.
- Machín, M. P., Oyarzun, M. L. S., Cárdenas, M. D. L. Á. B., Rodríguez, F. M., Faz, E. M., Rivas, M. R., & Mosquera, D. M. G. (2011). Estudio etnobotánico de las plantas más utilizadas como diuréticas en la Provincia de Villa Clara, Cuba. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 10, 46-55.
- Maleki, F., Kazemi, H., Siahmarguee, A., & Kamkar, B. (2017). Development of a land use suitability model for saffron (*Crocus sativus* L.) cultivation by multi-criteria evaluation and spatial analysis. *Ecological Engineering*. 106, 140-153.
- Martínez, M. Á. Q., Hernández, J. M. G., & Veintimilla, S. S. O. (2019). Análisis comparativo para seleccionar una herramienta de reconocimiento de emociones aplicando el modelo AHP. *Uniandes Episteme*, 6, 453-463.
- Martínez, M. C., Tamayo, M. P., & Hopp, H. E. (2007). Identificación molecular de patrones genéticos en distintas muestras de arándano (*Vaccinium sp.*). *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 36, 3-15.

- Mendoza, A. C., Castillo, D. R., Rios, G. R., Tadeo, P. S., Velásquez, L. V., Calderón, F. E., & Inga, A. D. (2018). Familias botánicas y algunas especies de interés económico en los valles de Pativilca, Huaura y Huaral. *Big Bang Faustiniiano*, 4,45-46.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego) (2016). El Arándano en el Perú y el mundo. Ministerio de Agricultura y Riego. 1, 1-42.
- MINAM (Ministerio del Ambiente) (2013). Quinto Informe Nacional ante el Convenio sobre la Diversidad Biológica, 1, 198-200.
- Mishra, A. K., Deep, S., & Choudhary, A. (2015). Identification of suitable sites for organic farming using AHP & GIS. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18, 181-193.
- Morales A, C. G., González G, A., Riquelme S, J., France I, A., Uribe C, H., Robledo M, P., Becerra B, C. (2017). Manual de manejo agronómico del arándano. BOLETÍN INIA / N° 06.
- Nolte, G. E., & Moore, E. (2017). Peruvian Blueberry Production Blooming. Chile. Editorial CABI
- Ortiz, G. O. C., Cordero, W. D. J. A., & Morales, R. R. (2017). Médicos tradicionales mayas y el uso de plantas medicinales, un conocimiento cultural que continúa vigente en el municipio de Tzucacab, Yucatán, México. *Teoría y Praxis*, 21, 67-89.
- Ortiz, S. C. A. (1987). Elementos de agrometeorología cuantitativa: con aplicaciones en la República Mexicana. (Elements of quantitative agrometeorology: with applications in the Mexican Republic). Universidad Autónoma Chapingo: Departamento de Suelos. Texcoco, Mexico.
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., ... & Dubash, N. K. (2014). Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. (p. 151)
- Palma-Ordaz, S., & Delgadillo-Rodríguez, J. (2014). Distribución potencial de ocho especies exóticas de carácter invasor en el estado de Baja California, México. *Botanical Sciences*, 92, 587-597.
- Pedraza-Peñalosa, P., & Luteyn, J. L. (2011). *Vaccinium* andino (Ericaceae: *Vaccinieae*): Siete nuevas especies de América del Sur. *Brittonia*, 63, 257-275.
- Phillips, S. J., y Dudík, M. (2008). Modelado de distribuciones de especies con Maxent: nuevas extensiones y una evaluación integral. *Ecografía*, 31, 161-175.
- Phillips, S. J. (2005). Un breve tutorial sobre Maxent. *Revista técnica AT&T Bell Labs* .
- Polashock, J. J., & Vorsa, N. (1996). Evaluación de técnicas de huellas digitales para la diferenciación de variedades de arándano y arándano. En el VI Simposio internacional sobre cultivo de vacunas. (pp. 239-242).

- Powell, E. A., & Kron, K. A. (2002). Hawaiian blueberries and their relatives a phylogenetic analysis of *Vaccinium* sections *Macropelma*, *Myrtillus*, and *Hemimyrtillus* (Ericaceae). *Systematic Botany*, 27, 768-780.
- Qin, A., Liu, B., Guo, Q., Bussmann, R. W., Ma, F., Jian, Z., ... & Pei, S. (2017). MaxEnt modeling for predicting impacts of climate change on the potential distribution of *Thuja sutchuenensis* Franch., an extremely endangered conifer from southwestern China. *Global Ecology and Conservation*, 10, 139-146.
- Quesada-Quirós, M., Acosta-Vargas, L. G., Arias-Aguilar, D., & Rodríguez-González, A. (2017). Modelación de nichos ecológicos basado en tres escenarios de cambio climático para cinco especies de plantas en zonas altas de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14, 01-12.
- Razuri, G. T. (2015). *Taxonomía, ecogeografía, potencial agroindustrial y distribución geográfica del Vaccinium en el Perú*. Tesis (pregrado). Universidad Nacional de Trujillo. Obtenido de: <http://www.dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/4504>.
- Romão, G. O. (2011). *Revisión taxonómica de Gaylussacia Kunth (Ericaceae) y estudios de filogenia do gênero*. Tese (doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, Campinas. Obtenido de: <http://www.repositorio.unicamp.br>.
- Rono, F., & Mundia, C. C. (2016). GIS based suitability analysis for coffee farming in Kenya. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 6, 1722-1733.
- Saaty, T.L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process: setting priorities in health care, Symposium on Planning, Priority Setting, Resource Allocation, statistical bases for public health decision making*: New York, NY. McGraw-Hill.
- Saitou, N. & Nei, M. (1987). El método de unión de vecinos: un nuevo método para reconstruir árboles filogenéticos. *Biología molecular y evolución*, 4, 406-425.
- Sandler, H. A. (2018). Weed Management in Cranberries: A Historical Perspective and a look to the Future. *Agriculture*, 8, 127-138.
- Schwery, O., Onstein, R. E., Bouchenak-Khelladi, Y., Xing, Y., Carter, R. J., & Linder, H. P. (2015). As old as the mountains: the radiations of the Ericaceae. *New Phytologist*, 207(2), 355-367.
- Shimizu, K., Ono, M., Imoto, A., Nagayama, H., Tetsumura, N., Terada, T., ... & Nishinaka, T. (2019). El arándano atenúa la progresión de la enfermedad del hígado graso no alcohólico inducida por una dieta alta en grasas en ratones. *Boletín Biológico y Farmacéutico*, 207, 355-367.
- Snijders, T. A. (1992). Estimation on the basis of snowball samples: how to weight. *Bulletin of Sociological Methodology/ Bulletin de Méthodologie Sociologique*, 42, 1295-1302.
- Solano, P. (2005). *La esperanza es verde: áreas naturales protegidas en el Perú*. Perú. Editorial REMAR.
- Stevens, P.F. (1985). Notas sobre *Vaccinium* y *Agapetes* (Ericaceae) en el sudeste asiático. *Diario del Arboreto de Arnold*, 66, 471-490.

- Tasa, T., Starast, M., Vool, E., Moor, U., & Karp, K. (2012). Influencia del tipo de suelo en la productividad de arándanos de medio arbusto. *Ciencias Agrícolas y alimentarias*, 21, 409-420.
- Torres, R. E., & Kim, A. J. A. Q. (2010). Zonificación Ecológica y Económica del Departamento de Amazonas. IIAP. pp. 1-87. Obtenido de: <http://repositorio.iiap.org.pe/handle/IIAP/294>.
- Trong Due, T., (2006). Using GIS and AHP technique for land use suitability analysis. *In International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences*. (pp. 1-6).
- USDA, (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) (1993). *Soil Survey Manual*. U.S. Govt. (pp. 1-2)
- Vander, K. S. P., & Dickinson, T. A. (2009). A subgeneric classification of the genus *Vaccinium* and the metamorphosis of V. section *Bracteata* Nakai: more terrestrial and less epiphytic in habit, more continental and less insular in distribution. *Journal of plant research*, 122, 253-268.
- Vargas, A. L. L., Portilla, E. P., Solano, V. M. C., & Cárdenas, S. D. (2012). Diversificación productiva café–plantas ornamentales en La Sidra, Atzacan, Veracruz. *Revista de Geografía Agrícola*, 4, 39-50.
- Vásquez, M. G., & Peláez, F. P. (2015). Especies vegetales utilizadas por pobladores de Berlín, Bagua Grande (Amazonas, Perú). *Revista Rebiolest.*, 2, 61-75.
- Vitali, M. S., & Katinas, L. (2015). Modelado de distribución de las especies argentinas de *Smallanthus (Asteraceae)*, el género del “yacón”: un cultivo potencial para la agricultura familiar. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 62, 921-934.
- Wali, E., Datta, A., Shrestha, R. P., & Shrestha, S. (2016). Desarrollo de un modelo de adecuación de la tierra para el cultivo de azafrán (*Crocus sativus* L.) en la provincia de Khost en Afganistán utilizando técnicas SIG y AHP. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 27, 285-293.
- Watters, A. (2018). *Canadian Processed Cranberry Exports Double in Five Years*. pp. 1-15. Obtenido de: <https://bit.ly/38SK4IL>.
- Zhang, J., Su, Y., Wu, J., & Liang, H. (2015). GIS based land suitability assessment for tobacco production using AHP and fuzzy set in Shandong province of China. *Computers and Electronics in Agriculture*, 114, 202-211.
- Zolekar, R. B., & Bhagat, V. S. (2015). Multi-criteria land suitability analysis for agriculture in hilly zone: Remote sensing and GIS approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 300-321.

ANEXOS

Anexo 1. Caracterización Molecular

Anexo 1.1 Base de datos para confirmar la amplificación de la especie

U.S. National Library of Medicine
National Center for Biotechnology Information

BLAST⁺ » blastn suite » results for RID-VYR9VWBX014

Job Title: Nucleotide Sequence
RID: VYR9VWBX014
Program: BLAST⁺
Database: nt
Query ID: Icl|Query_25145
Description: None
Molecule type: dna
Query Length: 566

Filter Results
Organism: only top 20 will appear
Type common name, binomial, taxid or group name
+ Add organism

Percent Identity: [] to []
E value: [] to []
Query Coverage: [] to []

Sequences producing significant alignments

Description	Max Score	Total Score	Query Cover	E value	Per Ident	Accession
Vaccinium guaiartesoides ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase large subunit gene, partial cds - chloroplast	1036	1036	99%	0.0	99.82%	KY602135.1
Gaylussacia brasiliensis isolate RGC555 ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase large subunit (rbcl) gene, partial cds - chloroplast	1033	1033	99%	0.0	99.65%	MG833497.1
Vaccinium oldhamii elaeoidi complete genome	1027	1027	99%	0.0	99.47%	NC_042713.1
Vaccinium oldhamii elaeoidi complete genome	1027	1027	99%	0.0	99.47%	MG84937.1
Vaccinium membranaceum isolate DNAS-2ED-231805 ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase large subunit (rbcl) gene, partial cc	1027	1027	99%	0.0	99.47%	MH926946.1
Vaccinium stamineum voucher FLAS Malau 4664 ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase large subunit (rbcl) gene, partial cds - ct	1024	1024	98%	0.0	99.82%	KY626864.1
Vaccinium arboreum voucher FLAS Malau 4669 ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase large subunit (rbcl) gene, partial cds - chb	1024	1024	98%	0.0	99.82%	KY626815.1

Anexo 1.2 Análisis filogenético, captura de pantalla del programa MEGA 7.

M7: Analysis Preferences

Options Summary

Option	Selection
Analysis	Phylogeny Reconstruction
Statistical Method	Maximum Likelihood
Phylogeny Test	
Test of Phylogeny	Bootstrap method
No. of Bootstrap Replications	1000
Substitution Model	
Substitutions Type	Nucleotide
Genetic Code Table	Not Applicable
Model/Method	Tamura-Nei model
Rates and Patterns	
Rates among Sites	Uniform rates
No. of Discrete Gamma Categories	Not Applicable
Data Subset to Use	
Gaps/Missing Data Treatment	Complete deletion
Site Coverage Cutoff (%)	Not Applicable
Select Codon Positions	<input checked="" type="checkbox"/> 1st <input checked="" type="checkbox"/> 2nd <input checked="" type="checkbox"/> 3rd <input checked="" type="checkbox"/> Noncoding Sites
Tree Inference Options	
ML Heuristic Method	Nearest-Neighbor-Interchange (NNI)
Initial Tree for ML	Make initial tree automatically (Default - NJ/BioNJ)
Initial Tree File	Not Applicable
Branch Swap Filter	None
System Resource Usage	
Number of Threads	1

Help Compute Cancel

Anexo 1.3. Puntos de Colecta de muestras e identificación de especies

Puntos de muestreo

Item	Clado	Código	x, y, z	SP	Localidad/Distrito
1	c1	I-ARAN-028	187858,9282106,2764	<i>Satyria warszewiczii</i>	(--)/ La Jalca
2	c1	I-ARAN-006	185450,9255848,2934	<i>Satyria warszewiczii</i>	La Palma/Leymebamba
3	c1	I-ARAN-046	179367,9302550,2794	<i>Satyria warszewiczii</i>	Maino/Maino
4	c1	I-ARAN-018	191717,9315885,2506	<i>Satyria warszewiczii</i>	Olmal/Chachapoyas
5	c1	I-ARAN-032	189987,9307760,2572	<i>Satyria warszewiczii</i>	Opelele/Chachapoyas
6	c1	I-ARAN-050	181692,9299806,2598	<i>Satyria warszewiczii</i>	Santa Rosa/Maino
7	c2	I-ARAN-024	190863,9276567,2851	<i>Vaccinium uliginosum/Gaylussacia bigeloviana</i>	(--)/ La Jalca
8	c2	I-ARAN-011	203415,9311750,2502	<i>Vaccinium uliginosum/Gaylussacia bigeloviana</i>	Espadilla/Molinopampa
9	c2	I-ARAN-015	203300,9311586,2538	<i>Vaccinium uliginosum/Gaylussacia bigeloviana</i>	Espadilla/Molinopampa
10	c2	I-ARAN-003	185353,9255767,2887	<i>Vaccinium uliginosum/Gaylussacia bigeloviana</i>	La Palma/Leymebamba
11	c2	I-ARAN-022	191611,9316184,2509	<i>Vaccinium uliginosum/Gaylussacia bigeloviana</i>	Olmal/Chachapoyas
12	c2	I-ARAN-037	192207,9306348,2625	<i>Vaccinium uliginosum/Gaylussacia bigeloviana</i>	Opelele/Chachapoyas
13	c2	I-ARAN-038	184172,9310240,2372	<i>Vaccinium uliginosum/Gaylussacia bigeloviana</i>	Tañapampa/Chachapoyas
14	c3	I-ARAN-025	190891,9256573,2855	<i>Vaccinium arboreum</i>	(--)/ La Jalca
15	c3	I-ARAN-030	181494,9321237,2727	<i>Vaccinium arboreum</i>	Huancaurco/Huancas
16	c3	I-ARAN-002	185409,9255691,2906	<i>Vaccinium arboreum</i>	La Palma/Leymebamba
17	c3	I-ARAN-039	189399,9307382,2827	<i>Vaccinium arboreum</i>	Opelele/Chachapoyas
18	c4	I-ARAN-009	203643,9256139,2399	<i>Vaccinium ovatum</i>	Espadilla/Molinopampa
19	c4	I-ARAN-010	203558,9311833,2462	<i>Vaccinium ovatum</i>	Espadilla/Molinopampa
20	c4	I-ARAN-013	203366,9311644,2519	<i>Vaccinium ovatum</i>	Espadilla/Molinopampa
21	c4	I-ARAN-019	191721,9316079,2514	<i>Vaccinium ovatum</i>	Olmal/Chachapoyas
22	c5	I-ARAN-026	190898,9256574,2857	<i>Vaccinium meridionale</i>	(--)/ La Jalca
23	c5	I-ARAN-031	181842,9320870,2699	<i>Vaccinium meridionale</i>	Huancaurco/Huancas
24	c5	I-ARAN-004	185400,9255767,2906	<i>Vaccinium meridionale</i>	La Palma/Leymebamba
25	c5	I-ARAN-007	185716,9256011,3019	<i>Vaccinium meridionale</i>	La Palma/Leymebamba
26	c5	I-ARAN-020	191727,9316092,2494	<i>Vaccinium meridionale</i>	Olmal/Chachapoyas
27	c5	I-ARAN-036	190185,9307569,2626	<i>Vaccinium meridionale</i>	Opelele/Chachapoyas
28	c5	I-ARAN-051	181695,9299729,2597	<i>Vaccinium meridionale</i>	Santa Rosa/Maino
29	c6	I-ARAN-041	179364,9302435,2720	<i>Gaultheria shallon</i>	Levanto/Levanto
30	c6	I-ARAN-047	179377,9302384,2770	<i>Gaultheria shallon</i>	Maino/Maino
31	c7	I-ARAN-027	188830,9281779,2837	<i>Gaultheria sp.</i>	(--)/ La Jalca
32	c7	I-ARAN-017	203281,9311572,2542	<i>Gaultheria sp.</i>	Espadilla/Molinopampa
33	c7	I-ARAN-005	185399,9255767,2912	<i>Gaultheria sp.</i>	La Palma/Leymebamba
34	c7	I-ARAN-023	191697,9315822,2496	<i>Gaultheria sp.</i>	Olmal/Chachapoyas
35	c7	I-ARAN-040	189408,9307387,2827	<i>Gaultheria sp.</i>	Opelele/Chachapoyas
36	ND	I-ARAN-012	203371,9311671,2515	<i>Vaccinium sp.</i>	Espadilla/Molinopampa
37	ND	I-ARAN-014	203310,9311581,2536	<i>Vaccinium sp.</i>	Espadilla/Molinopampa
38	ND	I-ARAN-016	203269,9311564,2544	<i>Vaccinium sp.</i>	Espadilla/Molinopampa
39	ND	I-ARAN-029	181635,9321213,2680	<i>Vaccinium sp.</i>	Huancaurco/Huancas
40	ND	I-ARAN-001	185456,9255682,2942	<i>Vaccinium sp.</i>	La Palma/Leymebamba
41	ND	I-ARAN-008	185649,9256139,3058	<i>Vaccinium sp.</i>	La Palma/Leymebamba
42	ND	I-ARAN-042	179319,9302622,2818	<i>Vaccinium sp.</i>	Levanto/Levanto
43	ND	I-ARAN-043	179328,9302634,2818	<i>Vaccinium sp.</i>	Levanto/Levanto
44	ND	I-ARAN-044	179295,9302829,2832	<i>Vaccinium sp.</i>	Maino/Maino
45	ND	I-ARAN-045	179303,9302721,2823	<i>Vaccinium sp.</i>	Maino/Maino
46	ND	I-ARAN-021	191651,931631,2507	<i>Vaccinium sp.</i>	Olmal/Chachapoyas
47	ND	I-ARAN-034	190173,9307244,2627	<i>Vaccinium sp.</i>	Opelele/Chachapoyas
48	ND	I-ARAN-035	190128,9308404,2533	<i>Vaccinium sp.</i>	Opelele/Chachapoyas
49	ND	I-ARAN-048	181920,9299214,2572	<i>Vaccinium sp.</i>	Santa Rosa/Maino
50	ND	I-ARAN-049	181933,9299198,2582	<i>Vaccinium sp.</i>	Santa Rosa/Maino
51	ND	I-ARAN-033	190446,9307243,2618	<i>Vaccinium sp.</i>	Tañapampa/Chachapoyas
52	ND	I-ARAN-052	184379,9310097,2337	<i>Vaccinium sp.</i>	Vivero INDES-CES
53	ND	I-ARAN-053	184378,9310096,2337	<i>Vaccinium sp.</i>	Vivero INDES-CES

Dónde: ND: No Definido; c: Clado; x: coordenada ESTE; y: Coordenada NORTE y z: Altitud (m.s.n.m) y (--) : localidad no identificada.

Anexo 2. Determinación de zonas potenciales

Método de Análisis Jerárquico

Anexo 2.1 Matrices de la primera jerarquía de AHP, ejemplo de llenado para la primera jerarquía.

Matriz de comparación por pares (MCP)

FACTORES (F)	(F1)	(F2)	(F3)
Climáticos (F1)	1	3	2
Topográficos (F2)	1/3	1	1/2
Suelo (F3)	1/2	2	1
SUMA	1.8333	6	3.5
1/SUMA	0.5455	0.1667	0.2857

Matriz normaliza de MCP

FACTORES (F)	(F1)	(F2)	(F3)	V.P
Climáticos (F1)	0.5455	0.5	0.5714	0.54
Topográficos (F2)	0.1818	0.1667	0.1429	0.16
Suelo (F3)	0.2727	0.3333	0.2857	0.30
V.P: Vector de Priorización				
SUMA	1	1	1	1
			Sum	Sum/V. P
0.538961039	0.4913	0.5945	1.6248	3.014726
0.17965368	0.1638	0.1486	0.4921	3.004405
0.269480519	0.3276	0.2973	0.8943	3.008495
			Sum.	9.027626
		L	Prom.	3.009209

Cálculo de la Relación de Consistencia (RC)

$CI=L-n/n-1$	CI	0.0046
$CR=CI/RI$	RC	0.0079
0.58		
n= 3		

Anexo 2.2 Relación de consistencia y pesos de importancia de las matrices del panel de expertos

Relación de Consistencia (RC) lógica del panel de expertos

PRIMERA JERARQUÍA	RC						Prom
	1	2	3	4	5	6	
	0.008	0.025	0.021	0.047	0.021	0.046	0.02811

Pesos de importancia para el cultivo del arándano

FACTORES (F)	1	2	3	4	5	6	Pro
Climáticos (F1)	0.54	0.58	0.33	0.21	0.57	0.59	0.47
Topográficos (F2)	0.16	0.08	0.10	0.13	0.10	0.16	0.12
Suelo (F3)	0.30	0.34	0.57	0.66	0.33	0.25	0.41
SUMA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Distribución potencial con MaxEnt

Anexo 2.3 Selección de variables bioclimáticas y otras, mediante PCA en el programa infoStat

Variables de mayor aporte al modelo de distribución del arándano.

Variable s	Ejes									
	e1	e2	e3	e4	e5	e6	e7	e8	e9	e10
bio08	-0.245	-0.071	0.189	-0.022	0.215	0.107	0.065	0.192	-0.145	0.307
bio07	0.116	0.384	0.134	0.079	-0.097	-0.225	0.067	0.051	0.426	0.047
bio06	-0.249	-0.119	0.170	0.019	0.206	0.108	0.033	0.040	-0.096	0.268
bio05	-0.244	0.002	0.245	0.089	0.175	0.028	0.051	-0.024	0.172	0.238
bio04	-0.162	-0.363	0.072	0.101	0.118	0.037	0.180	-0.301	-0.185	-0.127
bio03	0.204	0.304	-0.022	-0.001	-0.077	-0.174	0.158	0.180	-0.070	0.075
bio12	0.256	-0.031	-0.172	-0.098	-0.091	-0.006	0.151	-0.193	-0.090	-0.100
bio13	0.262	0.073	-0.123	-0.098	-0.036	0.049	0.083	-0.057	-0.188	0.014
bio14	0.201	-0.273	-0.185	0.018	-0.044	-0.084	0.209	-0.140	-0.047	0.266
bio15	-0.029	0.422	0.171	-0.160	0.098	0.248	0.048	0.236	-0.228	0.018
bio16	0.266	0.041	-0.083	-0.054	0.061	0.077	0.056	-0.032	-0.144	0.191
bio17	0.227	-0.211	-0.068	0.076	-0.107	-0.066	0.041	0.054	0.059	0.558
bio01	-0.265	0.017	0.074	-0.001	-0.251	-0.089	0.001	-0.023	0.058	-0.124
bio02	0.161	0.234	0.098	-0.097	0.368	0.145	0.430	-0.006	-0.049	0.058
bio10	-0.255	0.066	0.028	0.030	-0.272	-0.155	0.099	-0.038	-0.018	-0.043
bio11	-0.239	0.129	-0.006	0.041	-0.310	-0.120	0.167	-0.056	-0.090	0.127
aspect	0.134	0.073	0.130	0.194	-0.336	0.610	0.065	-0.283	0.170	0.065
bio09	-0.221	0.174	-0.068	0.105	-0.294	-0.029	0.264	-0.058	-0.085	0.218
bio18	0.213	-0.124	0.259	-0.114	0.000	0.103	-0.356	0.180	0.108	-0.107
bio19	0.179	-0.237	0.180	0.216	-0.101	-0.190	0.002	0.389	0.230	0.177
cic	0.140	-0.027	0.248	0.475	0.154	-0.073	0.320	0.026	0.099	-0.270
cot	0.165	0.002	0.427	0.177	0.084	-0.203	0.077	-0.355	-0.091	-0.105
dem	0.138	0.053	0.435	-0.014	-0.285	0.142	-0.322	-0.176	-0.230	0.181
ph	-0.025	-0.046	-0.263	0.530	-0.082	0.409	0.019	0.372	-0.109	-0.146
rad	-0.094	0.245	-0.289	0.205	0.323	0.094	-0.281	-0.379	0.404	0.213
slope	-0.047	-0.234	0.094	-0.469	-0.120	0.289	0.368	0.063	0.487	-0.098

Anexo 2.4 Puntos georreferenciados del arándano para uso en el programa MaxEnt

Puntos de ubicación de presencia de arándano

N°	Genero	Ubicación (x, y)	N°	Genero	Ubicación (x, y)
1	<i>Arándano</i>	-77.716175,-6.011729	31	<i>Arándano</i>	-77.806731,-6.25853
2	<i>Arándano</i>	-77.635393,-6.055619	32	<i>Arándano</i>	-77.597446,-6.237205
3	<i>Arándano</i>	-77.643941,-6.04796	33	<i>Arándano</i>	-77.781508,-6.268052
4	<i>Arándano</i>	-77.633872,-6.06404	34	<i>Arándano</i>	-77.897666,-6.302776
5	<i>Arándano</i>	-77.699582,-6.123564	35	<i>Arándano</i>	-77.898063,-6.301085
6	<i>Arándano</i>	-77.876237,-6.133235	36	<i>Arándano</i>	-77.897981,-6.300977
7	<i>Arándano</i>	-77.877509,-6.133011	37	<i>Arándano</i>	-77.898269,-6.299213
8	<i>Arándano</i>	-77.874386,-6.136344	38	<i>Arándano</i>	-77.898203,-6.300189
9	<i>Arándano</i>	-77.785478,-6.181858	39	<i>Arándano</i>	-77.897633,-6.301738
10	<i>Arándano</i>	-77.785433,-6.180105	40	<i>Arándano</i>	-77.897551,-6.303238
11	<i>Arándano</i>	-77.785378,-6.179988	41	<i>Arándano</i>	-77.876777,-6.326645
12	<i>Arándano</i>	-77.786054,-6.177996	42	<i>Arándano</i>	-77.876753,-6.327341
13	<i>Arándano</i>	-77.786421,-6.179151	43	<i>Arándano</i>	-77.874747,-6.332005
14	<i>Arándano</i>	-77.785661,-6.182426	44	<i>Arándano</i>	-77.874631,-6.33215
15	<i>Arándano</i>	-77.677984,-6.218322	45	<i>Arándano</i>	-77.813212,-6.489876
16	<i>Arándano</i>	-77.678755,-6.219022	46	<i>Arándano</i>	-77.821976,-6.486873
17	<i>Arándano</i>	-77.68005,-6.219766	47	<i>Arándano</i>	-77.795108,-6.53707
18	<i>Arándano</i>	-77.680451,-6.220478	48	<i>Arándano</i>	-77.845038,-6.725489
19	<i>Arándano</i>	-77.680497,-6.220722	49	<i>Arándano</i>	-77.845462,-6.725406
20	<i>Arándano</i>	-77.681006,-6.221288	50	<i>Arándano</i>	-77.845964,-6.724716
21	<i>Arándano</i>	-77.681096,-6.221243	51	<i>Arándano</i>	-77.84554,-6.724719
22	<i>Arándano</i>	-77.681377,-6.22144	52	<i>Arándano</i>	-77.845549,-6.724719
23	<i>Arándano</i>	-77.681268,-6.221368	53	<i>Arándano</i>	-77.845083,-6.723989
24	<i>Arándano</i>	-77.801485,-6.255188	54	<i>Arándano</i>	-77.842671,-6.722531
25	<i>Arándano</i>	-77.797366,-6.259881	55	<i>Arándano</i>	-77.84327,-6.721371
26	<i>Arándano</i>	-77.799831,-6.259859	56	<i>Arándano</i>	-77.795873,-6.717722
27	<i>Arándano</i>	-77.800181,-6.249376	57	<i>Arándano</i>	-77.795809,-6.717714
28	<i>Arándano</i>	-77.799707,-6.256923	58	<i>Arándano</i>	-77.883178,-6.711931
29	<i>Arándano</i>	-77.853868,-6.232498	59	<i>Arándano</i>	-77.898986,-6.709226
30	<i>Arándano</i>	-77.806813,-6.258575	<i>x: Este, y: Norte</i>		