



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



INSTITUTO DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS**

“Modelación de la distribución geográfica del hábitat del cactus *Echinopsis pachanoi* (Britton y Rose) Friedrich y G.D. Rowley, en el norte de los Andes ecuatorianos”

**Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Magíster en
Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas**

DIRECTOR:
Blgo. Galo Pabón MSc

AUTORA:
Ing. Magaly Tituaña Armas

IBARRA - ECUADOR

2017

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Grado, presentado por la Ingeniera Magaly Lisseth Tituaña Armas, para optar por el grado de Magister en Gestión Integral de cuencas Hidrográficas, doy fe de que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación (pública o privada) y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 19 días del mes de septiembre de 2017.



MSc. Galo Jacinto Pabón Garcés

C.C. 100178492-3

APROBACIÓN DEL JURADO

“Modelación de la distribución geográfica del hábitat del cactus *Echinopsis pachanoi* (Britton y Rose) Friedrich y G.D. Rowley, en el norte de los Andes ecuatorianos”

Autora: Magaly Lisseth Tituaña Armas

Trabajo de Grado de Magister, aprobado en nombre de la Universidad Técnica del Norte, por el siguiente Jurado, a los 19 días del mes de septiembre de 2017.

MSc. Mónica León
CC: 040140705-1

MSc. Paul Arias
CC: 100294354-4

MSc. Oscar Rosales
CC: 040093352-9

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Magaly Lisseth Tituaña Armas, Maestrante del Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica del Norte, declaro que el presente trabajo de investigación titulado: "Modelación de la distribución geográfica del hábitat del cactus *Echinopsis pachanoi* (Britton y Rose) Friedrich y G.D. Rowley, en el norte de los Andes ecuatorianos", es de mi autoría, que no ha sido presentado para ningún grado o calificación profesional.



Magaly Lisseth Tituaña Armas

C.C. 1003155312



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
INSTITUTO DE POSGRADO
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**



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

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003155312		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Tituaña Armas Magaly Lisseth		
DIRECCIÓN:	Carrera Los Galeanos, sector la Floresta		
EMAIL:	magy.irnr2012@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	062 630 619	TELÉFONO MÓVIL:	0986038589

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Modelación de la distribución geográfica del hábitat del cactus <i>Echinopsis pachanoi</i> (Britton y Rose) Friedrich y G.D. Rowley, en el norte de los Andes ecuatorianos”
AUTORA:	Tituaña Armas Magaly Lisseth
FECHA: AAAAMMDD	2017/09/19

SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Magíster en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas
ASESOR /DIRECTOR:	MSc. Galo Pabón Garcés

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Magaly Lisseth Tituaña Armas, con cédula de ciudadanía Nro. 1003155312, en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 19 días del mes de septiembre de 2017

LA AUTORA:



Magaly Lisseth Tituaña Armas
C.C.: 1003155312



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR
DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Magaly Lisseth Tituaña Armas, con cédula de ciudadanía Nro. 1003155312 manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autora del trabajo de grado denominado: "Modelación de la distribución geográfica del hábitat del cactus *Echinopsis pachanoi* (Britton y Rose) Friedrich y G.D. Rowley, en el norte de los Andes ecuatorianos", que ha sido desarrollado para optar por el título de: Magíster en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Magaly Lisseth Tituaña Armas

C.C. 1003155312

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis a mis padres, Sasquia Armas y Edwin Tituaña quienes con su amor y ejemplo de trabajo honesto y perseverancia me han demostrado día a día que todos los sueños y metas propuestas son posible lograrlas.

Magaly Tituaña A.

RECONOCIMIENTO

Al finalizar la investigación quiero dejar constancia de mi agradecimiento.

A la Universidad Técnica del Norte, Instituto de Posgrado y su planta docente, por las orientaciones brindadas a favor de mi formación profesional y en el desarrollo de la investigación.

Al Blgo. Galo Pabón, en calidad de Director de Tesis, por confiar en el tema propuesto y en el desarrollo del mismo.

A mi hermana Joselyn Tituaña, por su apoyo incondicional y colaboración en los aspectos socio históricos de la investigación.

A mis amigos, quienes desinteresadamente aportaron a la elaboración de la investigación.

A todos ellos mi eterna gratitud.

Magaly Tituaña A.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
INSTITUTO DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

“Modelación de la distribución geográfica del hábitat del cactus *Echinopsis pachanoi* (Britton y Rose) Friedrich y G.D. Rowley, en el norte de los Andes ecuatorianos”

Autor: Ing. Magaly Tituaña
Tutor: Blgo. Galo Pabón MSc.
Año: 2017

RESUMEN

El centro de origen de *Echinopsis pachanoi* es compartido entre el sur de Ecuador y el norte de Perú; fue también registrado históricamente como planta enteógena por la cultura Inca quienes adoptaron el uso de la especie para influenciar a las culturas dominadas, dentro de aquellas se incluyen a las culturas prehispánicas ecuatorianas gobernadas aproximadamente durante cien años. El desconocimiento de la distribución actual y potencial de *E. pachanoi* en el norte de los andes ecuatorianos, la existencia o no de poblaciones naturales y su relación con las sociedades prehispanicas del norte de Ecuador, limitan investigaciones futuras entorno al principio activo de la planta. En este sentido la investigación tuvo como fin modelar la distribución geográfica del hábitat del cactus como un aporte al manejo de la especie. El área de estudio comprendió las cuencas hidrográficas distribuidas en la zona norte de los andes, considerándose aquellas que están sobre la línea equinoccial, mismas que se caracterizan por la presencia de vegetación xerofítica; en estas cuencas hidrográficas se establecieron sociedades prehispánicas relacionadas con el uso de *E. pachanoi*. Para modelar la distribución potencial de *E. pachanoi* se usó el programa MaxEnt el cual requirió de datos de presencia de la especie, en total 63 hallazgos y datos de variables bioclimáticas. Se documentó nuevos registros de la especie en la provincia del Carchi e Imbabura, como un aporte a la flora del Ecuador. Las variables precipitación media anual y vegetación son las condicionales para predecir la distribución potencial de la especie. El área potencial predicha para el manejo de la especie constituye 459.64 km² del territorio en estudio. La vegetación intervenida presenta alta probabilidad de presencia de *E. pachanoi*, por lo tanto esta especie posiblemente fue introducida por las culturas prehispánicas en la zona, adaptándose exitosamente en vegetación xerofítica del norte de los andes ecuatorianos, evidenciándose en dos hallazgos en condiciones naturales.

Palabras claves: *Echinopsis pachanoi*, San Pedro, enteógena, Inca, distribución, potencial, MaxEnt.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
INSTITUTO DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

“Modelación de la distribución geográfica del hábitat del cactus *Echinopsis pachanoi* (Britton y Rose) Friedrich y G.D. Rowley, en el norte de los Andes ecuatorianos”

Autor: Ing. Magaly Tituaña
Tutor: Blgo. Galo Pabón MSc.
Año: 2017

ABSTRACT

The center of origin *Echinopsis pachanoi* shared between southern Ecuador and northern Peru; also historically registered as an entheogenic plant by the Inca culture who adopted the use of the species to influence the dominated cultures, within which they include the Ecuadorian prehispanic cultures ruled for approximately a hundred years. The lack of knowledge of the current and potential distribution of *E. pachanoi* in the north of the Ecuadorian Andes, the existence or not of natural populations and its relation with the prehispanic societies of northern Ecuador, limit future research around the active principle of the plant. In this sense, the research designed to model the geographical distribution of the cactus habitat as a contribution to the management of the species. The study area comprised the watersheds distributed in the northern zone of the Andes, considered those that are on the equinoctial line, which characterized by the presence of xerophytic vegetation; in these watersheds, prehispanic societies were established related to the use of *E. pachanoi*. To model the potential distribution *E. pachanoi*, the MaxEnt program used, which required species presence data, in total 63 findings and data of bioclimatic variables. New records of the species documented in the province of Carchi and Imbabura, as a contribution to the flora of Ecuador. The variables annual mean rainfall and vegetation are the conditional ones to predict the potential distribution of the species. The potential area predicted for the management of the species constitutes 459.64 km² of the territory under study. The intervened vegetation presents a high probability *E. pachanoi* presence, therefore this species possibly introduced by the prehispanic cultures in the zone, successfully adapting in xerophytic vegetation of the north of the Ecuadorian Andes, evidencing in two findings in natural conditions.

Key words: *Echinopsis pachanoi*, San Pedro, entheogenic, Inca, distribution, potential, MaxEnt.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Preguntas Directrices	4
CAPÍTULO II	5
MARCOS DE REFERENCIA.....	5
2.1. Modelado de la Distribución de Especies	5
2.2. Modelamiento de Máxima Entropía (MaxEnt) para Determinar la Distribución Geográfica de Especies.....	7
2.2.1. Ventajas y Desventajas del modelo MaxEnt.....	8
2.2.2. Modelación MaxEnt con SIG.....	10
2.2.3. Formatos de Salida de los Resultados de MaxEnt	11
2.2.4. Evaluación del Modelo MaxEnt.....	11
2.3. Familia Cactácea en el Ecuador	11
2.4. Género <i>Echinopsis</i> en el Ecuador	12
2.4.1. <i>Echinopsis pachanoi</i>	12
2.5. <i>Echinopsis pachanoi</i> , recurso ancestral	15
2.6. Cuencas Hidrográficas en Relación con Sociedades Prehispánicas	16
2.6.1. Sociedades prehispánicas del norte de los andes ecuatorianos.....	18
2.7. Vegetación Xerofítica de las Cuencas Hidrográficas del Norte de los Andes	20
2.8. Marco Legal	22
2.8.1. Constitución de la República de Ecuador 2008.....	22
2.8.2. Plan Nacional para el Buen Vivir año 2013 – 2017	23
CAPÍTULO III.....	24
MARCO METODOLÓGICO	24
3.1. Ubicación del Área de Estudio.....	24
3.2. Diseño Metodológico	25

3.3.1.	Fase de campo	25
3.3.2.	Fase de gabinete.....	26
CAPÍTULO IV		30
RESULTADOS		30
4.1.	Área de Estudio	30
4.1.1.	Cuenca Hidrográfica del Río Guayllabamba.....	30
4.1.2.	Cuenca Hidrográfica del Río Mira	31
4.1.3.	Cuenca Hidrográfica del Río Carchi	31
4.1.4.	Cuenca Hidrográfica del Río San Juan.....	32
4.2.	Distribución Actual de <i>Echinopsis pachanoi</i> en las cuencas hidrográficas del norte de los andes ecuatorianos	33
4.3.	Distribución de <i>Echinopsis pachanoi</i> basado en el mapa de vegetación del MAE	38
4.4.	Distribución Potencial de <i>Echinopsis pachanoi</i> en las cuencas hidrográficas del norte de los andes ecuatorianos	40
4.5.	Evaluación del Modelo de Distribución Potencial de <i>Echinopsis pachanoi</i>	49
4.5.1.	Prueba de importancia y contribución de variables (Jackknife)	49
4.5.2.	Tasa de omisión y área predicha.....	51
4.5.3.	Área total bajo la curva (AUC).....	52
4.6.	Relación de la Distribución Actual de <i>Echinopsis pachanoi</i> con la Ubicación Histórica de Sociedades Prehispánicas del Norte de los Andes Ecuatorianos	52
4.7.	Aportes del estudio de <i>E. pachanoi</i> al conocimiento socio-ambiental de las cuencas hidrográficas	58
CAPÍTULO V		60
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		60
5.1.	Conclusiones	60
5.2.	Recomendaciones.....	61
CAPÍTULO VI.....		62
BIBLIOGRAFÍA.....		62
ANEXOS		

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Estructura poblacional del cactus del género <i>Echinopsis sp.</i>	14
Cuadro 2.2 Registros de <i>E. pachanoi</i> en Ecuador.....	14
Cuadro 3.1 Variables predictivas para el modelo MaxEnt	27
Cuadro 4.1 Nuevas localidades para el manejo de <i>E. pachanoi</i>	43
Cuadro 4.2 Análisis de contribución de las variables	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Esquema de flujo de trabajo para la realización y validación de modelos de distribución de especies.....	6
Figura 2.2 <i>Echinopsis pachanoi</i> en jardinera	13
Figura 2.3 Flor de <i>Echinopsis pachanoi</i>	13
Figura 2.4 Modelo dinámico de las provincias incas en el Chinchaysuyu septentrional	18
Figura 3.1 Mapa de ubicación de las cuencas hidrográficas en estudio	24
Figura 4.1 Panorámica Río Guayllabamba	30
Figura 4.2 Panorámica Río Chota, perteneciente a la Cuenca del Río Mira.....	31
Figura 4.3 Panorámica Río Carchi	32
Figura 4.4 Panorámica Río San Juan	32
Figura 4.5 Espécimen en borde de carretera, Tumbabiro, cantón Urququí	33
Figura 4.6 Espécimen en terraza del río Chorlaví, Barrio El Milagro, cantón Ibarra	33
Figura 4.7 Espécimen en terraza de la quebrada Tanguarin, Barrio Chorlaví, cantón Ibarra	34
Figura 4.8 Espécimen en el parque central de la parroquia La Concepción, cantón Mira	34
Figura 4.9 Espécimen en vivienda del área urbana del cantón Tulcán	35
Figura 4.10 Mapa de distribución actual de <i>Echinopsis pachanoi</i> en el norte de los andes.....	36
Figura 4.11 Mapa de nuevos registros de <i>Echinopsis pachanoi</i>	37

Figura 4.12 Mapa de distribución actual de <i>E. pachanoi</i> basado en el mapa de vegetación del MAE.....	38
Figura 4.13 Histograma de respuesta de la variable vegetación.....	39
Figura 4.14 Mapa de distribución potencial de <i>Echinopsis pachanoi</i>	41
Figura 4.15 Nuevos lugares predichos para el manejo de <i>Echinopsis pachanoi</i>	42
Figura 4.16 Curva de respuesta de la variable altitud.....	44
Figura 4.17 Histograma de respuesta de la variable contenido de materia orgánica del suelo	45
Figura 4.18 Curva de respuesta de la variable precipitación media anual	46
Figura 4.19 Curva de respuesta de la variable temperatura media anual	47
Figura 4.20 Histograma de respuesta de la variable textura del suelo	48
Figura 4.21 Gráfica de ganancia de entrenamiento	50
Figura 4.22 Curva de Omission	51
Figura 4.23 Curva AUC	52
Figura 4.24 Relación de la distribución actual de <i>E. pachanoi</i> en sociedades prehispanicas.....	57

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El centro de origen de *Echinopsis pachanoi* es compartido entre el sur de Ecuador y el norte de Perú, según el Ministerio del Ambiente de Perú (2013); en el Catálogo de Plantas Vasculares de Ecuador es categorizado como árbol, arbusto nativo andino (Jorgensen y León-Yáñez, 1999), fue también registrado históricamente como planta psicoactiva por la cultura Inca quienes adoptaron el uso de esta planta para influenciar a las culturas dominadas (Kvist y Moraes, 2006). Dentro de las culturas sometidas por los Incas se incluyen a las culturas prehispánicas ecuatorianas gobernadas por los Incas por aproximadamente 100 años en los cuales compartieron la cultura Inca y entre aquello el uso de *Echinopsis pachanoi*, práctica arraigada hasta después de la conquista española quienes prohibieron su uso e intentaron erradicar por completo las poblaciones de esta planta.

Echinopsis pachanoi contiene un principio activo que es la sustancia mescalina que ha sido sujeto de varias investigaciones con fines terapéuticos. Schultes y Hoffman (1982), relacionaron a la mescalina con la noradrenalina, hormona cerebral en el organismo humano; Tartakowsky (2013), uso a la mescalina en tratamientos de trastornos psiquiátricos desde el año de 1920; por lo antes expuesto se conoce el potencial fitofarmacéutico de *Echinopsis pachanoi* y en Ecuador este conocimiento puede ser replicado y profundizado partiendo también desde el conocimiento ancestral entorno a la planta.

El desconocimiento de la distribución actual y potencial de *Echinopsis pachanoi* en el norte de los andes ecuatorianos, la existencia o no de poblaciones naturales y su relación con las sociedades prehispánicas del norte de Ecuador, constituyen el problema abordado por la presente investigación; con la resolución de este problema se fundamentará el planteamiento de investigaciones futuras entorno al principio activo de la planta. En este sentido la presente investigación de la distribución actual y potencial de *Echinopsis pachanoi* contribuirá a definir posteriormente estrategias para la conservación de los saberes entorno a la especie, además que constituirá un aporte para el rescate de la memoria ancestral ecuatoriana y será la línea base para investigaciones futuras de la planta, mediante la cartografía generada en ArcGIS con resultados de la modelación MaxEnt, mapas en los que se describió la distribución actual, la relación entre sociedades prehispánicas con la distribución actual de la especie y también lugares potenciales para su repoblación o cultivo en caso de ser manejado con fines ornamentales y fitofarmacéuticos, como lo hacen en el vecino país de Perú en el cual se exporta la corteza de *Echinopsis pachanoi* en forma pulverizada (Ministerio del Ambiente de Perú, 2013), por sus propiedades medicinales.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Modelar la distribución geográfica del hábitat del cactus *Echinopsis pachanoi* (Britton y Rose) Friedrich y G.D. Rowley, en las cuencas hidrográficas del norte de los andes ecuatorianos para identificar lugares potenciales para el manejo de la especie.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar los tipos de vegetación, en los cuales se distribuye actualmente *Echinopsis pachanoi*, en las cuencas hidrográficas del norte de los andes ecuatorianos.
- Modelar la distribución potencial de *Echinopsis pachanoi* como un aporte al manejo de la especie.
- Relacionar la distribución actual de *Echinopsis pachanoi* con la ubicación histórica de las sociedades prehispánicas del norte de los andes ecuatorianos.

1.3. Preguntas Directrices

¿*Echinopsis pachanoi*, por ser una planta perteneciente a la familia botánica Cactáceae, se adapta y distribuye mayormente en vegetación xerofítica?

¿El modelo MaxEnt, aplicado a la especie *Echinopsis pachanoi*, permite identificar lugares de distribución potencial que pueden ser útiles para aprovechar las características importantes de la especie?

¿La distribución actual de *Echinopsis pachanoi* se relaciona con las ubicaciones históricas de las sociedades prehispánicas del norte de los andes ecuatorianos?

CAPÍTULO II

MARCOS DE REFERENCIA

2.1. Modelado de la Distribución de Especies

La distribución de las especies y los factores bióticos y abióticos que la determinan constituye un tema central en diferentes disciplinas de la biología, como la biogeografía, la ecología y la sistemática, (Sanchez et al., 2001). La respuesta de las distintas especies a las condiciones climático-ambientales y por lo tanto su capacidad para adaptarse a los cambios en su ambiente natural son además importantes para su conservación (Alsos et al., 2009 en Torres y Jayat 2010).

Los modelos que más se han usado en ecología para predecir la distribución de especies podrían dividirse en tres grandes grupos atendiendo a su funcionamiento: los que estiman el rango de tolerancia ecológica, los modelos de tipo correlativo y ordenación multivalente y redes neuronales artificiales, (Seonae y Bustamante, 2001).

Los modelos de distribución de especies son por tanto representaciones cartográficas de la idoneidad de un espacio para la presencia de una especie en función de las variables empleadas para generar dicha representación. La idoneidad no es más que la relación matemática o estadística entre la distribución real conocida y un conjunto de variables independientes que se usan como indicadores, (Mateo et al., 2011).

La construcción de modelos de distribución de especies se realiza en una serie de pasos (Mateo et al., 2011), cada uno de los cuales presenta múltiples alternativas de ejecución que influyen en la calidad del resultado final, en la Figura 2.1 Mateo et al., esquematiza los pasos para la construcción y validación de un modelo.

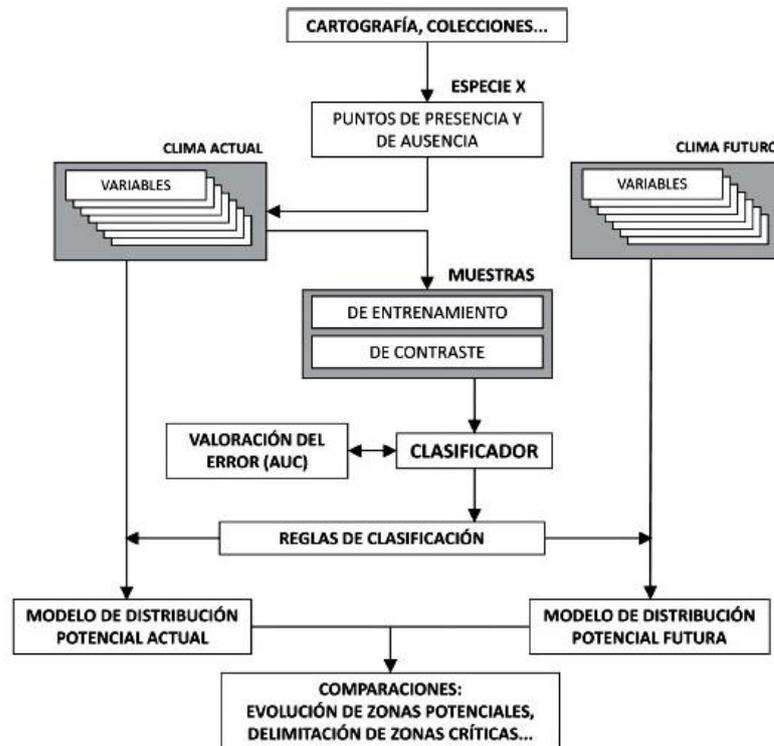


Figura 2.1 Esquema de flujo de trabajo para la realización y validación de modelos de distribución de especies.

Fuente: (Mateo et al., 2011)

Los modelos de distribución de especies indican la idoneidad del hábitat para el desarrollo de poblaciones de una especie concreta o de una comunidad (Ferrier y Guisan 2006, en Benito y Peñas 2007), calculada a partir de observaciones de campo y una serie de variables ambientales que actúan como predictores. La expresión de esta idoneidad del hábitat puede ser binaria, otorgando valor 1 a áreas idóneas y 0 a áreas no idóneas, o continua, según un rango de valores que clasifican el territorio de menor a mayor grado de idoneidad. En la construcción de estos modelos resultan críticos una serie de factores que afectan en gran medida a la precisión del resultado final, (Benito y Peñas 2007).

Entre los modelos más utilizados para predecir la distribución de especies se encuentra el modelo BioClim, que puede usarse para mapear la distribución de cualquier entidad, incluyendo especies de plagas, (Busby, J., 1991); Domain, es un método de distancias ecológicas implementado en DIVA-GIS y estandariza las variables según su rango en todos los puntos de presencia para igualar su contribución al modelo (Carpenter et al., 1993 en Benito y Peñas 2007); ENFA (Ecological Niche Factor Analysis) es un modelo que realiza un análisis de componentes principales sobre las variables ambientales y obtiene como resultado una serie de factores no correlacionados entre sí que tienen significado biológico (Hirzel et al., 2000 en Benito y Peñas 2007), otro modelo frecuentemente usado es GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction), es un sistema heurístico que busca correlaciones no aleatorias entre los puntos de presencia del organismo y las variables ambientales (Stockwell y Peters, 1999 en Benito y Peñas 2007) y por último el modelo MaxEnt, es un método que aplica el principio de máxima entropía para calcularla distribución geográfica más probable para una especie (Phillips et al., 2006 en Benito y Peñas 2007).

2.2. Modelamiento de Máxima Entropía (MaxEnt) para Determinar la Distribución Geográfica de Especies

MaxEnt es un método para hacer predicciones o inferencias de la distribución geográfica de especies a partir de información incompleta (Phillips et al., 2006), el programa utiliza datos de presencia en combinación con datos ambientales para toda la zona de estudio. Este modelo se basa en la mecánica estadística sobre el principio de máxima entropía. La entropía es un concepto fundamental en la teoría de la información, Shannon (1948) en Scholte et al., (2012) describió la entropía como una medida de cuántas opciones están involucradas en la selección de un evento o cuán incierto estamos de su resultado. Por lo tanto, una distribución con mayor entropía implica más opciones (es decir, es menos restringido).

Se han utilizado muchos métodos para el modelado de la distribución potencial de las especies por presencia (Kazuya et al., 2006), entre los más utilizados por biólogos están: BIOCLIM, DOMAIN, GARP, regresión logística y MaxEnt que es un programa nuevo; de estos, algunos métodos utilizan sólo presencias para derivar un modelo como lo hace MaxEnt que estima una distribución de probabilidad objetivo, encontrando la distribución de probabilidad de entropía máxima (que está más extendida, o más próxima a la uniformidad), todo esto sujeto a un conjunto de restricciones que representan información incompleta acerca de la distribución objetivo.

Según Phillips et al., (2006), cuando se aplica MaxEnt para modelar la distribución de especies en función de la presencia, los píxeles del área de estudio constituyen el espacio en el que se define la distribución de probabilidad MaxEnt, los píxeles con registros de ocurrencia de especies conocidas constituyen los puntos de muestreo y las características son variables climáticas como: categoría de suelos, tipo de vegetación u otras variables ambientales, y sus funciones.

Dado un conjunto de muestras (por ejemplo, la presencia de especies) y un conjunto de características (por ejemplo, variables ambientales y climáticas), el modelo MaxEnt estima nichos al encontrar la distribución de probabilidades más cercana a la entropía máxima, limitada por el hecho de que los valores de las características coinciden con su promedio empírico (Scholte et al., 2012).

2.2.1. Ventajas y Desventajas del modelo MaxEnt

Entre las ventajas se incluyen las siguientes (Phillips et al., 2006):

- Requiere solamente datos de presencia, junto con información ambiental para toda el área de estudio.
- Puede utilizar datos continuos (cuantitativos) y categóricos (cualitativos), y puede incorporar interacciones entre diferentes variables.

- Algoritmos determinísticos eficientes para determinar la probabilidad óptima.
- La distribución de probabilidad MaxEnt tiene una definición matemática concisa, y por lo tanto es susceptible de análisis.
- La salida es continua (vectorial), permitiendo distinciones finas entre la idoneidad modelada de diferentes áreas.
- MaxEnt es un enfoque generativo, en lugar de discriminativo, que puede ser una ventaja inherente cuando la cantidad de datos de entrenamiento es limitada.
- Como método estadístico es flexible y general.

Pillips et al., (2006), cita algunos inconvenientes del método:

- Es un método estadístico reciente, por lo que hay menos pautas para su uso en general, y menos métodos para estimar la cantidad de error en una predicción.
- Utiliza un modelo exponencial para las probabilidades, que no está intrínsecamente limitado por encima y puede dar muy grandes valores predichos para condiciones ambientales fuera del rango presente en el área de estudio.
- Se requiere software de uso especial, ya que MaxEnt no está disponible en paquetes estadísticos estándar.

El programa MaxEnt logra resultados robustos en términos de la proyección espacial de la distribución, especialmente cuando se cuenta con pocos datos de presencias, sin embargo, la relevancia de las variables ambientales y su evaluación estadística se mantiene en discusión Peterson *et al.*, (2007), en Pliscoff y Fuentes (2011).

Según Baldwin (2009), estudios recientes indican que MaxEnt es relativamente insensible a los errores espaciales asociados con los datos de

localización, requiere pocos lugares para construir modelos útiles y funciona mejor que otros enfoques de modelado de presencia solamente.

2.2.2. Modelación MaxEnt con SIG

Según Moreno (2011), la integración de las herramientas de MaxEnt y Sistemas de Información Geográfica (SIG) ayudaría a resolver los problemas de la conservación del hábitat de vida silvestre y la planificación forestal. En este contexto Miller y Knouft (2006), utilizaron un enfoque basado en el sistema de información geográfica (SIG) para investigar las diferencias en los factores ambientales que caracterizan la distribución geográfica de las poblaciones cultivadas y silvestres del árbol frutícola mesoamericano *Spondias purpurea* (“ovo”); utilizaron datos de localidad para 86 poblaciones cultivadas y 28 de *S. purpurea silvestre* junto con capas de datos ambientales y MaxEnt, una aplicación de entropía máxima para predecir las distribuciones de especies.

Mediante el uso del programa MaxEnt y sistemas de información geográfica (SIG), Zhang et al., (2011) analizaron las variables ambientales que afectan a la distribución de *Erigeron philadelphicus* y predijeron intuitiva y cuantitativamente sus regiones de distribución potencial en China.

En Ecuador también se han realizado investigaciones con MaxEnt una de ellas es “Distribución y estado poblacional de *Melocactus bellavistensis* (*Caryophyllales: Cactaceae*) de Loja (2008), con notas sobre su proceso de floración y ecología reproductiva en el valle de Catamayo provincia de Loja”, el autor también realizó una sistematización de los resultados de MaxEnt en ArcGIS, lo cual permitió obtener un modelo predictivo acerca de la distribución histórica y actual de esta especie.

2.2.3. Formatos de Salida de los Resultados de MaxEnt

MaxEnt genera tres formatos de resultados para los valores del modelo: crudo, acumulativo y logístico. La salida por defecto es logística, lo cual es más fácil de conceptualizar: proporciona un estimado entre cero y uno de probabilidad de presencia. La salida logística estima la probabilidad de presencia asumiendo que el diseño de muestreo es tal que las localidades de presencia típicas tienen una probabilidad de presencia de alrededor de 0,5 (Phillips, 2005).

2.2.4. Evaluación del Modelo MaxEnt

Según el breve tutorial de MaxEnt elaborado por Phillips (2005), en la cual describe la funcionalidad de las herramientas del programa y los resultados esperados, al correr el programa con los datos de presencia de la especie en estudio y las variables bioclimáticas, MaxEnt genera dos tipos de resultados: los resultados gráficos y resultados del análisis estadístico (curvas de respuesta de cada variable, curva AUC, pruebas de Jackknife) para determinar la importancia y contribución de cada variable bioclimática en la elaboración del modelo de distribución, también permite estimar cuales son las variables más importantes en el modelo y encontrar la probabilidad de distribución en función de los rangos de las variables.

El programa genera estadísticos simples para evaluar la confiabilidad del modelo. La mayor parte de los análisis empleados usan un umbral para hacer una predicción binaria, estando las condiciones adecuadas por arriba de dicho umbral y las inadecuadas por debajo. Se generan tres gráficas:

- La tasa de omisión predicha,
- El área bajo la curva (AUC, por sus siglas en inglés) ROC.

2.3. Familia Cactácea en el Ecuador

La familia Cactácea es endémica de América su distribución comprende todo el continente, con excepción de las zonas alto andinas. Los especialistas han

considerado tradicionalmente a la zona tropical seca de América del Sur como el probable centro de origen de la familia (Bravo, 1978 en Loaiza y Morrone 2011).

A nivel del continente, el Ecuador actualmente está representado por 16 géneros y 43 especies nativas, de las cuales trece especies se reconocen como endémicas (Madsen, 1989; Valencia, et al., 2000; Madsen, 2002; Ulloa & Neill, 1999 – 2004 en Loaiza et al., 2009).

Los estudios realizados sobre las cactáceas del Ecuador han sido abordados en su mayoría bajo un enfoque taxonómico y distribucional, sin analizar detenidamente los procesos y patrones biogeográficos que influyeron en la distribución actual de las especies. Entre algunas de las clasificaciones más recientes de la flora de los bosques secos del Ecuador se destacan los aportes de Aguirre et al., (2006a, 2006b) en Loaiza y Morrone (2011), quienes establecen un sistema de clasificación de las formaciones vegetales basándose en la clasificación propuesta por Sierra (1999) en Loaiza y Morrone (2011). El sistema propuesto por Aguirre y sus colaboradores es de gran interés para el desarrollo de estudios biogeográficos en los bosques secos de Ecuador y Perú (Loaiza y Morrone 2011).

2.4. Género *Echinopsis* en el Ecuador

Es un género de más de 50 especies de los Andes y el centro de América del Sur. Según el Catálogo de Plantas Vasculares de Ecuador (1999), para Ecuador se registra una sola especie de este género, se trata de *Echinopsis pachanoi* (Britton y Rose) Friedrich y G.D. Rowley.

2.4.1. *Echinopsis pachanoi*

Coloniza acantilados a lo largo de los ríos en altitudes de hasta 3000 msnm, y se cultiva como ornamental, a menudo como cobertura, en jardines y parques. Se caracteriza por las flores grandes (Figura 2.3), espinas gruesas y poco visibles.



**Figura 2.2 *Echinopsis pachanoi* en
jardinera**
Fuente: La Autora



Figura 2.3 Flor de *Echinopsis pachanoi*
Fuente: La Autora

Madsen, (1989), caracterizaron a *Echinopsis pachanoi* por presentar una altura de 7 m, ramificado desde la base con 10-30 ramas flexibles; tronco no es evidente. Los tallos de color verde oscuro (Figura 2.2), a menudo glauco cuando son jóvenes, de 5 m de largo, 6 - 11 (-15) cm de ancho. Costillas 6-8, 1-2,5 cm de alto, ancho y redondeado, separadas por surcos agudos. Aerolas subcirculares, 3-6 mm de ancho, 15-27 mm, primero de color marrón-lanate, después gris-blanco, transmitidas por debajo de los pliegues horizontales o en forma de V. Espinas 0-5 (-10) por aréola, 2-8 (-30) mm de largo, 0,25-0,5 (-1) mm de ancho, de color marrón, cilíndricos, extendiéndose en varias direcciones, de manera desigual de largo; plántulas más espinosas que los adultos. Flores de una a cuatro, horizontal debajo ápice del tallo, 20-24 cm de largo, 20 cm de ancho, en forma de embudo, nocturno, fragante; corona de petaloides 13 cm de ancho, acampanado. Frutos 5-6 x 3 cm, oblongas, de color verde oscuro, con un 50 brácteas, amplio y pelos insertados; perianto tardíamente arrojar; pulpa blanca. Semillas 1,5-1,9 x 1,1-1,3 mm, de forma irregular punteado a verrugosas, negro; hilo con más o menos que sobresale strophiole, la mayoría oblicua con respecto al eje principal de las semillas.

Según el Ministerio del Ambiente Perú (2013), el rango etario de *Echinopsis pachanoi* se relaciona con la altura alcanzada como lo indica el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1 Estructura poblacional del cactus del género *Echinopsis* sp.

Rango etario	Características
Adultos (a)	Plantas que alcanzan la medida de 2.50 m de altura y pueden llegar hasta 30 ramas por individuo.
Sub-adultos (sa)	Plantas que alcanzan la media de 2.0 m de altura y pueden llegar hasta 15 ramas por individuo.
Juveniles (j)	Plantas que alcanzan la media de 1.0 m de altura y pueden llegar hasta 3 ramas por individuo.
Plantas o brotes (p)	Plantas que están por debajo 10 cm de altura y sólo presentan 1 rama por individuo.

Fuente: Ministerio del Ambiente Perú (2013)

Según los registros de muestras herborizadas de herbarios y Madsen, (1989), en las provincias de Tungurahua, Chimborazo, Azuay y Loja la especie fue encontrada en forma natural, de preferencia en terrazas de ríos o bordes de caminos.

En el Cuadro 2.2 se detallan las localidades por provincia en las cuales se registró a *Echinopsis pachanoi* (Madsen, 1989):

Cuadro 2.2 Registros de *E. pachanoi* en Ecuador

Provincia	Lugar	Fuente
Imbabura	Al sur de Ibarra, en el jardín Ibarra, ornamentales, 2500 m	BAKER et al. 6216 (QCA) MADSEN 61061 (AAU)
Tungurahua	Ambato, en Río Ambato, 2500-2600 m	MADSEN 50394, 61022 (AAU, QCA)
Chimborazo	Alausí, 0-2 km aguas abajo del Río Chanchán, 2300 2400 m	BAKER et al. 6417 (QCA); MADSEN 50164, 61005 (AAU, QCA), 61047 (AAU).
Cañar	Ingapirca, 2700 m	HOLM-NIELSEN 20886 (AAU).
Azuay	Aldea cerca Cuenca, hedgeplant, 2500 m Santa Isabel-Girón, en el puente. Río Rircay, 1640 m Cuenca-Loja, en Río León, 1800-2000m	MADSEN 36815 (AAU). MADSEN 61076 (AAU). BAKER MADSEN 6464 (QCA); MADSEN 61091, 61152 (AAU), 63969 (AAU, líquida).
	Cuenca Pasaje, cerca de Santa Isabel, 1700 m	PLOWMAN et al. 4592 (GH). Cuenca, SAUNDERS s.n. (K).
Loja	Yangana-Vilcabamba km 8, 1700	Madsen et al. 75739 (AAU). - Perú.

Fuente: Madsen (1989)

2.5. *Echinopsis pachanoi*, recurso ancestral

La distribución *Echinopsis pachanoi* en Ecuador es muy amplia, debido a que ha sido utilizado desde tiempos ancestrales por el ser humano en Perú y Ecuador y es muy probable que haya sido introducida en Colombia y en ciertas zonas de la costa ecuatoriana por alguna cultura ancestral Madsen et al., (2001) en Loaiza y Morrone (2011).

Echinopsis Pachanoi es bien conocido por los ecuatorianos como "Aguacolla" y "San Pedro" y tiene una larga historia en la cultura local, ya que contiene la mescalina alucinógena (Madsen, 1989) en Loaiza y Morrone (2011). Cuando los españoles llegaron a América en 1532, el Imperio Inca había regido por aproximadamente 100 años en las tierras altas de Ecuador, Perú y Bolivia, así como la región de la adyacente costa pacífica de Perú y del sur de Ecuador. Durante ese siglo, han podido influenciar a las culturas dominadas mediante la aplicación de plantas psicoactivas y por consiguiente durante cinco siglos la iglesia católica ha limitado e inclusive erradicado el uso de muchas de esas especies, excepto el tabaco y la coca en el sur de Perú y Bolivia (Kvist y Moraes 2006).

En la actualidad según Armijos et al., (2014), *Echinopsis pachanoi* es una de las plantas sagradas más usadas en la comunidad de Saraguro para limpiar enfermedades y males a través de ceremonias religiosas.

Naranjo (2012) en Bravo (2013), describe parte de la historia mítica de *Echinopsis pachanoi* en la cual dice que en Perú el cacto tiene el nombre vernacular de achuma (quiere decir embriagante) pero en la actualidad es más conocido con el nombre de San Pedro. El nombre científico es *Trichocereus pachanoi*, nombre que honra la memoria del investigador ecuatoriano Abelardo Pachano. [...] Según la mitología, parece que la aguacolla antes de ser planta fue una colla [princesa inca] encantadora. En todo caso, la aguacolla es la planta para rendir tributo a la princesa, a la reina y a la luna.

Según Bravo (2013) a mediados del siglo pasado sí se conocía todavía el uso medicinal del Aguacolla dentro de la curandería, sin embargo no existen registros de su uso ceremonial para el encuentro con el espíritu: ese tipo de prácticas fueron censuradas por la Iglesia católica tildándolas de demoníacas. En la actualidad, en uno de los mercados más frecuentados de la ciudad de Cuenca se puede encontrar a la venta el mencionado cactus en la zona donde se comercian las plantas medicinales.

2.6. Cuencas Hidrográficas en Relación con Sociedades Prehispánicas

Tanto los lagos como los volcanes constituyeron elementos fundamentales de las creencias de las sociedades prehispanicas ecuatorianas y el uso micro vertical de los ecosistemas para su subsistencia fueron aspectos que delimitaban geográficamente los territorios de las sociedades prehispánicas. Según Caillavet (2000) en Morales (2014), en la cosmología andina, es bien sabido que constituyen los hitos primordiales del paisaje sagrado, los volcanes y los lagos.

Luciano (1998) en Morales (2014), considera como delimitación político-territorial del denominado “Pais Caranqui”, una poderosa confederación de cacicazgos o señoríos ubicados entre las cuencas del río Chota-Mira y Guayllabamba, es decir en los territorios que actualmente ocupan la provincia de Imbabura y parte norte de Pichincha. Por los antes citado existieron cinco cuencas hidrográficas importantes para el desarrollo de las sociedades prehispánicas del norte de los andes ecuatorianos las cuales son: río Guayllabamba, río Pisque, río Ambi, río Chota, río Mira, incluyendo los sistemas lacustres como: Mojanda, San Pablo y Yahuarcocha; por estas consideraciones y tomando en cuenta que una cuenca hidrográfica se divide en tres partes: cuenca alta, media y baja con diferentes pisos climáticos podemos conjeturar que las sociedades prehispánicas conscientes de esto se desarrollaron en función del manejo de cada uno de los pisos climáticos dentro de las cuencas hidrográficas por lo general delimitadas por las cumbres, cuencas en las cuales desde la parte alta se manejaba por ejemplo: para el cultivo de papas en la parte media el cultivo de maíz y la parte baja cultivo de algodón y

minería. Las sociedades prehispánicas se organizaron de tal manera que sus sistemas de producción se establecían en los diferentes pisos ecológicos de las cuencas hidrográficas (Luciano, 1998 en Morales, 2014).

Según Gondard y López (1983), los pueblos de los indios no estaban juntos, porque los caciques indios vivían muy separados unos de otros, es decir ocuparon diferentes pisos ecológicos. Además, como otra forma de desarrollo y delimitación geográfica de los territorios de las sociedades prehispánicas se considera a la ceremonia del “matrimonio” prehispánico que consiste a la vez en un rito de iniciación y una toma de posesión del territorio étnico por los jefes étnicos, los cuales adquieren un derecho de posesión sobre “todo lo que (mi) vista alcanzó”, sobre “todo lo que se divise a la redonda” (Caillavet 2000 en Morales, 2014).

Tanto el desarrollo microvertical de los pisos climáticos y la ceremonia del matrimonio como ritual de posesión de tierras, las dos se caracterizan por la inconsciente delimitación de cuencas hidrográficas ya que “todo lo que (mi) vista alcanzó” a la redonda será por lo general hasta las cumbres, y las cumbres son las divisorias de las cuencas hidrográficas y en el uso microvertical de los pisos bioclimáticos con la finalidad de que en un día se recorran todos los pisos bioclimáticos lo cual indica que correspondía a una sola cuenca hidrográfica es decir las sociedades aborígenes del norte de los andes se desarrollaron en función de la diversidad de las cuencas hidrográficas que manejaban.

Para las sociedades prehispánicas la disponibilidad del recurso agua al igual que en la actualidad era indispensable para el desarrollo de sus pueblos, según Fock (1991) en Morales (2014), el “acto no-natural de hacer bifurcar las aguas” diseña la red de riego y designa los pucaros, creando líneas divisorias que marcan territorios étnicos socialmente antagónicos pero que comparten el mismo sistema de creencias.

En la literatura sobre el Chinchaysuyu (zona norte del territorio inca) se ha generalizado una ecuación implícita en términos geográficos, socio-culturales y políticos, de tal forma que por "provincia" inca (wamani) se sobreentiende una

unidad a la vez hidrográfica, cultural y política: un "grupo étnico" radicado en una de las cuencas intercordilleranas, eventualmente redefinida como "provincia" inca (Dillehay y Netherly, 1998). En la Figura 2.4, se esquematiza esta imagen tradicional de la configuración de provincias incas: el Tawantinsuyu avanza sometiendo sucesivamente los grupos étnicos habitantes de las respectivas cuencas interandinas (Dillehay y Netherly, 1998).

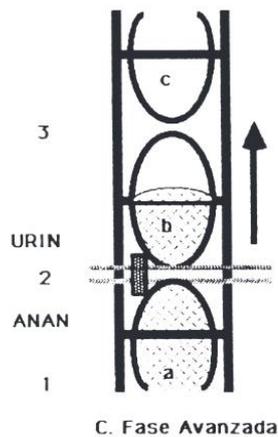


Figura 2.4 Modelo dinámico de las provincias incas en el Chinchaysuyu septentrional.

Fuente: Dillehay y Netherly, 1998

Los rectángulos simbolizan las cuencas interandinas, los óvalos simbolizan los territorios de los grupos lingüísticos culturales o étnicos. La línea doble simboliza la división en sayas o mitades incas (Dillehay y Netherly, 1998).

2.6.1. Sociedades prehispánicas del norte de los andes ecuatorianos

En la Sierra Norte de los Andes Septentrionales, o sea en las provincias de Imbabura y parte de Pichincha, se desarrollaron dos Estados regionales, a los que también se los puede denominar como reinos. Su organización, estructura y funcionamiento debió ser similar a los otros Estados y reinos andinos de los Andes Centrales y Meridionales (Espinoza 1988, en Morales 2014).

En tal aspecto por reino de los Quito se entiende solo al pequeño Estado que se estableció y existió en lo que hoy es la provincia de Pichincha únicamente,

excepto los distritos ocupados por los cantones Cayambe y Tabacundo. Pero una cosa es ser reino y otra es ser Estado Imperial. Y esta categoría jamás la tuvo Quito (Espinoza 1988m en Morales 2014).

Carangue y Cayambe ciñeron como espacio geográfico el ubicado entre las dos cordilleras principales del norte de los Andes. Cieza de León (Espinoza 1988, en Morales 2014) desde luego, no pudo informarse de la existencia de todos los ayllus y sitios del espacio Carangue-Cayambe. El en su vertiginoso recorrido solo pudo percatarse de los siguientes lugares: Carangue, Otavalo, Collaguazo, Cochisquí, Cayambe, Puritaco, los Guancas, Cotocayambe, Guayllabamba.

Pero en las relaciones geográficas y revistas del siglo XVII (Espinoza 1988 en Morales 2014), se completa el panorama: Acpulro, Ambuquí, Cachambicte, Caguasquí, Caangue, Coangue, Cochisquí, Colleguazo, Tontaqui, Las Salinas, Quilca, Intag, Perugache, Cotacachi, Chapi, Chontahuasi, Chuquin, Gualsaquí, Imbaquí, Inraqú, Irubí, Urcuquí, Unsuquí, Tupiangue, San Antonio, Perucho, Lalchipe, Lita, Malchingui, Pilchan, Pilchamborín, Pimampiro, Puritaza, Sarance, Tocachi, Tauriquí, Tullan, Otavalo, San Pablo, Guayllabamba, Puritico, Tumbabiro, Tabacundo, El Huanca, Cayambe, El Quinche.

Hay otros cronistas, como Garcilaso (Espinoza 1988 en Morales 2014), que cuando se refieren a estos grupos les llaman “provincias de Quillasinga, Pastu, Otavallu y Carangue”.

Según Echeverría (2004), en Morales (2014), una gran área cultural Caranqui, Cayambi y Quito parece ir definiéndose conforme avanzan las investigaciones arqueológicas y los estudios etnohistóricos. El límite norte está definido arqueológico y etnohistóricamente por el valle del Chota-Mira como frontera étnica entre Caranquis y Pastos. El extremo sur se ha ampliado como área cultural a raíz de las últimas investigaciones arqueológicas y etnohistóricas, pues se ha superado el límite tradicional del valle Guayllabamba - Pisque hasta proyectarse más allá del área meridional de la actual ciudad de Quito y del Valle de Los Chillos.

Los límites Este y Oeste aún esperan ser definidos con mayor claridad. Tentativamente, se podría incluir la ceja de montaña occidental de la Cordillera Oriental. Igualmente, hacia la Cordillera Occidental dicha área podría extenderse hasta las estribaciones de Intag y las montañas de Pacto, Tambillo, Milpe, Los Cedros, y hasta el sur del Atacazo.

Según Moreno (1988), en Morales (2014), la documentación conocida hasta el momento pone de relieve la importancia de cuatro cacicazgos, todos ellos señoríos a nivel regional, a saber: Caranqui, Cayambi, Cochisquí y Otavalo; los demás curacazgos locales o jefaturas de ayllus estaban subordinados a los señores étnicos regionales. No existe hasta el momento cartografía con la delimitación de los territorios de las sociedades prehispánicas; los relatos y datos recabados por historiadores presentan indicios que permitirían una delimitación aproximada.

Los Pastos vecinos del pueblo Caranqui por el norte, se distribuyeron en la meseta interandina comprendida entre los ríos Guáy tara– Tellez y Chota (Coangue), límites norte y sur, respectivamente. Las cordilleras andinas del este y el oeste constituyeron sus límites oriental y occidental, dejando al interior un altiplano dividido en dos sectores: al norte, la meseta de Nariño atravesada por el río Guáy tara que desagua hacia el occidente en la costa colombiana; y al sur, el sector alto andino de la provincia del Carchi con una extensión aproximada de 430 km² que forma parte de la cuenca hidrográfica del Mira y que igualmente desagua hacia el occidente. Existieron cuatro asentamientos Pastos prehispánicos ubicados al sur del río Carchi: Tulcán, Guacá, Tuza y Mira (Landázuri, 1995).

2.7. Vegetación Xerofítica de las Cuencas Hidrográficas del Norte de los Andes

En el norte de los Andes ecuatorianos se distribuyen las siguientes cuencas hidrográficas: del río Guayllabamba, río Mira, río Carchi y río San Juan (MAGAP, 2012); cuencas hidrográficas caracterizadas por formar parte del callejón interandino en el cual es típico la formación vegetal xerofítica interandina

clasificada por Acosta Solís (1968), como formaciones xerofilicas de los valles secos y semidesérticos de la región interandina, en el valle del Chota, Guayllabamba, Patate y Yunguilla-Jubones, Catamayo Malacatos y Vilcabamba.

Según Sierra (1999), la formación natural Matorral seco montano corresponde a los valles secos entre 1400 y 2500 m.s.n.m. Según Acosta Solís (1977) en Sierra (1999), el promedio anual de precipitación y temperatura están entre los 360 y 600 mm y los 18 y 22 °C. A lo largo de los ríos que atraviesan estos valles la vegetación es más densa y verde y la tierra es apta para la agricultura. En varios sitios se siembra “ovo” (*Spondias mombin*). Cerón y Montesdeoca (1994) reportan que en cuadrantes de 0,01 hectáreas se han encontrado entre 22 y 34 especies de 50 cm o más de alto. La vegetación puede ser espinosa pero las plantas armadas no dominan. Fuera de la zona de influencia de los ríos, la vegetación es verde solamente en las épocas de lluvia. Algunos ejemplos de estos valles son Chota, Guayllabamba, Patate y Yunguilla-Jubones.

Algunos autores, como Valencia et al., (1999) en Sierra (1999) en Loaiza y Morrone (2011), han coincidido en diferenciar los valles secos interandinos del centro-norte de los de la región sur (Loja). Al norte del país, los valles son más altos y se encuentran ubicados en rangos altitudinales entre 1800 y 2600 m. Estos valles son más aislados debido a que ambas faldas (orientales y occidentales) están cubiertas con bosques montanos muy húmedos. Por el contrario, en la región sur las faldas occidentales son relativamente más secas y las montañas más bajas, ocasionando que los bosques secos interandinos se encuentren ubicados desde los 1.300 m hacia arriba, lo que probablemente facilita un mayor intercambio entre los bosques secos de la costa y los bosques secos interandinos (Aguirre et al., 2006 en Loaiza y Morrone, 2011).

Según el Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Ministerio del Ambiente del Ecuador (2013), las cuencas hidrográficas en estudio presentan un ecosistema en común: Arbustal semidecídulo del norte de los Valles (BmMn01), característico en Imbabura en la cuenca del río Mira (Chota),

Parroquia Ambuquí, Pimampiro, El Juncal, Chota, hacia la zona superior de Lita; Pichincha: Guayllabamba, Bosque Protector Jerusalem, San Antonio de Pichincha, Tababela; Tungurahua: Patate, sur de Ambato; Chimborazo: Guano.

Sierra et al., (1999) al ecosistema Arbustal semidecidual del norte de los Valles (BmMn01), lo separaba en otra formación vegetal llamada Espinar seco montano o Matorral seco montano y según Josse et al., (2003) en Chinchero et al., (2013) clasifica a esta formación vegetal como Bosques y arbustales xéricos interandinos montano bajos de los Andes del Norte (CES409.121).

2.8. Marco Legal

En referencia al marco legal vigente del Ecuador la presente investigación se relaciona con saberes ancestrales y el buen vivir, enmarcados en la Constitución de la República y el Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017.

2.8.1. Constitución de la República de Ecuador 2008

Del título VII, régimen del buen vivir, sección octava de la ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, en el artículo 385.- en el marco del respeto al ambiente, la naturaleza, la vida, las culturas y la soberanía, tendrá como finalidad:

Numeral (1). Generar, adaptar y difundir conocimientos científicos y tecnológicos.

Numeral (2). Recuperar, fortalecer y potenciar los saberes ancestrales.

Numeral (3). Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir.

Mediante esta investigación se da por efecto los numerales de este artículo en la generación de conocimientos porque por primera vez se relacionará la ubicación de poblaciones de la especie en estudio con la ubicación de poblados de las sociedades prehispánicas lo cual fortalecerá los saberes ancestrales entorno a la

planta. Art. 387.- Será responsabilidad del Estado: [...] 4. Garantizar la libertad de creación e investigación en el marco del respeto a la ética, la naturaleza, el ambiente, y el rescate de los conocimientos ancestrales.

Con el apoyo de la Universidad Técnica del Norte en el desarrollo de la investigación, el estado apoya y garantiza la investigación en el rescate de los conocimientos ancestrales entorno a *Echinopsis pachanoi* y su relación con sociedades prehispanicas.

2.8.2. Plan Nacional para el Buen Vivir año 2013 – 2017

Del Plan Nacional para el Buen Vivir, Objetivo 7. Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global, de las políticas y lineamientos [...]:

Numeral (7.4). Impulsar la generación de bioconocimiento como alternativa a la producción primario-exportadora.

Numeral (7.4)a. Generar mecanismos para proteger, recuperar, catalogar y socializar el conocimiento tradicional y los saberes ancestrales para la investigación, innovación y producción de bienes ecosistémicos, mediante el diálogo de saberes y la participación de los/las generadores/as de estos conocimientos y saberes.

Numeral (7.4)f. Promover la educación, la formación de talento humano, la investigación, el intercambio de conocimientos y el diálogo de saberes sobre el bioconocimiento.

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación del Área de Estudio

El área de estudio comprendió las cuencas hidrográficas distribuidas a lo largo de los andes del norte ecuatoriano, considerándose aquellas que están sobre la línea equinoccial, mismas que se caracterizan por la presencia de vegetación xerofítica (Figura 3.1) y son: cuenca del río Guayllabamba, cuenca del río Mira, cuenca del río Carchi, y cuenca del río San Juan; en estas cuencas hidrográficas se establecieron sociedades prehispánicas relacionadas con el uso de *Echinopsis pachanoi*.

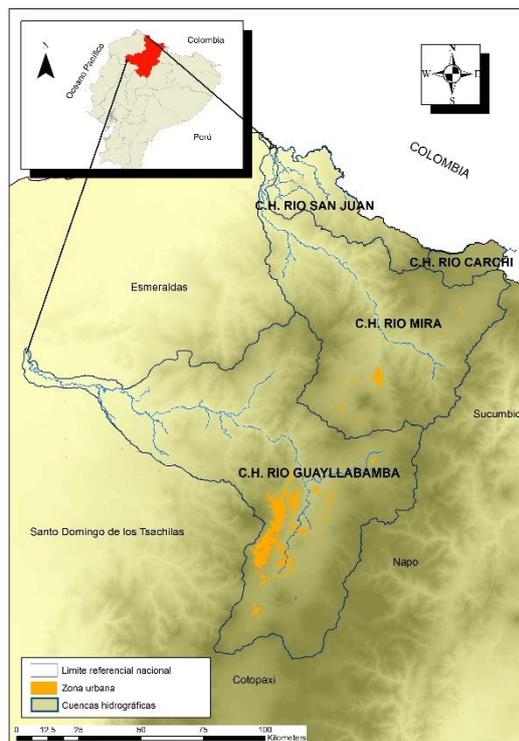


Figura 3.1 Mapa de ubicación de las cuencas hidrográficas en estudio
Fuente: La Autora

3.2. Diseño Metodológico

Para el desarrollo de la investigación se planteó dos fases de trabajo para: campo y gabinete.

3.3.1. Fase de campo

Definida por la etapa de planificación de salidas de campo y la georreferenciación de presencia de la especie en estudio.

3.3.1.1. Determinación de la población objeto y datos sobre la presencia

Las poblaciones o individuos se seleccionaron basándose en dos tipos de criterios (Loaiza y Morrone, 2011): a) Distribución conocida en los bosques secos del Ecuador, y b) Número de registros; datos que se recabaron en los principales herbarios del país y así como también en algunas bases de datos de herbarios internacionales, como el de la Universidad de Aarhus (AAU) y el del Missouri Botanical Garden (MO), entre otros. Información que fue sustentada con recorridos de campo en los lugares registrados para *Echinopsis pachanoi* según Jorgensen y León (1999) para el norte de Ecuador, en las provincias de: Imbabura y Pichincha.

En base a los lugares registrados en los herbarios se realizó la exploración y en cada lugar conocido se consultó a habitantes de la zona sobre la presencia del cactus. También se exploró zonas con vegetación xerofítica como el valle de Guayllabamba y sus alrededores, Bosque protector Jerusalen, valle del Chota y sus alrededores.

Adicionalmente, se realizaron comunicaciones personales con gestores culturales que tienen conocimiento del uso ancestral de *Echinopsis pachanoi* como: Santiago Andrade miembro del grupo Fuego Sagrado Itzachilatlan, Diego Chicaiza miembro del grupo Fuego Sagrado Itzachilatlan, Tuamary Lema propietario Hostal Aya Huma y José Campo curandero de la zona de Perugachi en Otavalo; los cuales

proporcionaron información sobre presencia y uso de la planta en la zona norte de Ecuador.

Las salidas de campo se realizaron durante todo el año 2015 y 2016, la información fue recabada progresivamente en función de registros existentes y comunicaciones personales; en el Anexo 1 se detalla las coordenadas de las localidades visitadas.

3.3.2. Fase de gabinete

La metodología se basó en los criterios de Kumar y Stohlgren, (2009), y se adaptó a las necesidades de la investigación:

3.3.2.1. Selección de variables bioclimáticas

El modelo que se utilizó para predecir la distribución fue MaxEnt (máxima entropía), a diferencia de estudios similares en los cuales usan las variables de WordClim para el modelo en este caso no se utilizaron las variables de WorldClim, Soberón (2012) recomienda la utilización de datos con una escala de mayor detalle a la que propone WorldClim, datos que se disponen en cada país y como no es la excepción Ecuador también cuenta con este tipo de información de acceso libre en las bases de datos de instituciones gubernamentales. El tamaño de celda de las variables de WordClim es de 0,86 km² y el tamaño de celda de las variables nacionales es de 400 m², el tamaño de celda influye en el detalle de la información ingresada al modelo por lo cual se seleccionó variables con datos nacionales para mayor precisión de los resultados; autores como Pliscoff y Fuentes (2011) en un estudio realizado en Chile determinaron que las bases de datos climáticos globales como WordClim, deben ser utilizados criteriosamente ya que en evaluaciones realizadas se ha identificado que poseen problemas en los valores de las variables climáticas, especialmente en aquellas zonas del país donde la cobertura de estaciones meteorológicas es menor lo mismo posiblemente podría ocurrir en Ecuador. También Zimmermann et al., (2007) y Randin et al., (2009) en Pliscoff y

Fuentes (2011), determinaron que el uso de otros tipos de variables como las topográficas o derivadas de imágenes satelitales, como las coberturas de uso de suelo o índices de productividad, pueden ser de gran utilidad para obtener modelos con un mayor ajuste.

Debido a la ausencia de información de los requerimientos agroecológicos para *Echinopsis pachanoi* se utilizó una breve descripción de los requerimientos agroecológicos del género *Echinopsis* disponible en <http://sanpedrolandia.com/cultivo/cultivo-de-trichocereus/> (2014). En función a esta información y de acuerdo al Catálogo de Plantas Vasculares, el cual señala el rango de distribución altitudinal de 1500 a 3000 msnm, se determinó como posibles variables aquellas que se presentan en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1 Variables predictivas para el modelo MaxEnt

Nombre de la variable en el modelo	Fuente	Descripción	Unidades	Tipo
vegetación	MAE	Vegetación del Ecuador	Tipos	Categórica
precipitación	MAGAP	Precipitación anual	media mm	Continua
temperatura	MAGAP	Temperatura anual	media °C	Continua
altitud	MAGAP	Altitud	m.s.n.m.	Continua
mos	MAGAP	Materia orgánica del suelo	Baja, media y alta	Categórica
texturas	MAGAP	Textura del suelo	Baja, media y alta	Categórica

Elaborado por: La Autora

Los datos de las variables fueron descargados del geoportal del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), desde el 2017 renombrado por Ministerio de Agricultura y Ganadería (<http://geoportal.agricultura.gob.ec/geonetwork/srv/spa/catalog.search?node=srv#/home>, 2002) y del geoportal del Ministerio del Ambiente (MAE) (<http://mapainteractivo.ambiente.gob.ec/>, 2013), en formato shapefile a una escala de 1:50000 y después

transformados en formato asc., de igual manera las coordenadas en proyección UTM WGS84 a proyección geográficas, requerimientos para la sistematización en el programa MaxEnt.

3.3.2.2. Determinación de la distribución actual

La distribución actual de *Echinopsis pachanoi* fue elaborada con los registros de presencia de la especie georreferenciados y los perfiles de las cuencas hidrográficas del norte de los andes ecuatorianos en formato shapefile, datos que fueron sistematizados en el programa ArcGIS, en el cual se identificó las localidades en las cuales se distribuye la especie.

Con la información de ubicaciones de la especie en formato shapefile más datos del mapa de vegetación del Ministerio del Ambiente, mediante el programa ArcGIS se relacionaron las dos capas y se logró visualizar los tipos de vegetación en los cuales se distribuye actualmente *E. pachanoi*; posteriormente el mapa producto de esta relación se analizó conjuntamente con la curva de respuesta de vegetación para *E. pachanoi* y se realizó el mapa de vegetación con énfasis en los resultados obtenidos por MaxEnt.

3.3.2.4. Modelamiento de la distribución potencial con MaxEnt

Para modelar la distribución potencial de especies en el programa MaxEnt, se requirió de datos de presencia de *Echinopsis pachanoi* en formato csv., proyección de coordenadas geográficas más capas de las variables predictivas en formato asc., y proyección en coordenadas geográficas para lo cual, las capas predictivas seleccionadas fueron descargadas del geoportal del MAGAP y MAE en formato shapefile con proyección UTM WGS84 información que fue transformada en formato asc., y proyección en coordenadas geográficas. Una vez ingresado al programa los datos de presencia y variables predictivas se sistematizó la información con la configuración por default del programa MaxEnt. Con los resultados obtenidos de la modelación en MaxEnt se elaboró el mapa de áreas

potenciales que consiste en la selección de aquellas áreas predichas por MaxEnt con una probabilidad igual o mayor a 50%, como unidad de superficie de manejo se establecieron aquellas áreas igual o mayor a una hectárea, descartándose por filtros áreas menores a la unidad de manejo mediante el uso de herramientas en ArcGIS.

De los resultados generados por MaxEnt se incluyen las curvas de respuesta de cada variable, mismas curvas que se generan automáticamente por el programa y que a través de ellas se definieron los rangos óptimos y límites de tolerancia para la especie en estudio. También MaxEnt generó estadísticos que permitieron evaluar la confiabilidad del modelo predictivo como: prueba de importancia y contribución de variables (Jackknife), tasa de omisión y área predicha, área total bajo la curva (AUC); estas gráficas fueron muy útiles para determinar la precisión y confiabilidad del modelo propuesto.

3.3.2.5. Relación entre *E. pachanoi* y sociedades prehispánicas ecuatorianas

Con la información recabada por prestigiosos historiadores como: Naranjo (2005), Uribe (1986), Schuller (1976), Athens (1976), Knapp (1981) y Morales (2014), se ubicaron los lugares en los cuales se registraron antiguamente asentamientos humanos de las sociedades prehispánicas del norte de los andes ecuatorianos. La información recabada de señoríos y cacicazgos descritos en el marco teórico fue sistematizada en gráficos por el programa ArcGIS. Para elaborar la delimitación de los territorios prehispánicos de la zona norte, se usó como criterio de delimitación los perfiles de cuencas hidrográficas ya que la divisoria de aguas de una cuenca hidrográfica son las cumbres y es hasta ese punto que un señorío definía su territorio hasta donde alcanzaba su vista (Morales, 2014). En el programa ArcGIS se relacionó la distribución actual y los posibles territorios prehispánicos que permitió identificar y delimitar agrupaciones que fueron analizadas en los resultados.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Área de Estudio

El área de estudio comprende las cuencas hidrográficas ubicadas en el norte de las andes ecuatorianas:

4.1.1. Cuenca Hidrográfica del Río Guayllabamba

La cuenca del río Guayllabamba está localizada al norte de la región Sierra del Ecuador, en la provincia de Pichincha, al sur de Imbabura y una mínima área de Esmeraldas, pertenece a la vertiente del Pacífico ecuatoriano y forma parte de la cuenca alta del río Esmeraldas (Revelo, 2016), su área es aproximadamente 8222,69 km².



Figura 4.1 Panorámica Río Guayllabamba
Fuente: Díaz, (2012)

El río Guayllabamba tiene como afluentes principales: río Machángara, río San Pedro y río Monjas, y los siguientes afluentes antes de la junta con el río Blanco son: Chiche, Guambi, Uravia, Coyago, Pisque, Cubi, Intag, Alambí, Chirapí, Magdalena, Pachijal, San Dimas y Naranjal (Orellana, 2015).

4.1.2. Cuenca Hidrográfica del Río Mira

La cuenca del río Mira está localizada en la esquina noroeste del Ecuador. El área de esta cuenca es de aproximadamente 7100 km², el principal afluente de la cuenca del Mira es el río Chota, al cual convergen los ríos Mataquí y Ambi (Lloré y Rodríguez, 2005).



Figura 4.2 Panorámica Río Chota, perteneciente a la Cuenca del Río Mira
Fuente: La Autora

4.1.3. Cuenca Hidrográfica del Río Carchi

Cuenca localizada en el límite entre los países de Ecuador y Colombia, con un área aproximadamente de 367,7 km² tiene como afluentes a los ríos: Bobo, Tajamar y el Chana, continua en el país del norte.



Figura 4.3 Panorámica Río Carchi
Fuente: Prefectura del Carchi en Benalcazar (2016)

4.1.4. Cuenca Hidrográfica del Río San Juan

Cuenca localizada en la frontera norte entre Ecuador y Colombia es afluente principal de las vertientes occidentales del río Mira con un área de 1211,69 km², para luego continuar en Colombia.



Figura 4.4 Panorámica Río San Juan
Fuente: Guerrón (2013)

4.2. Distribución Actual de *Echinopsis pachanoi* en las cuencas hidrográficas del norte de los andes ecuatorianos

En el Catálogo de Plantas Vasculares de Ecuador según Jorgensen y León (1999) y en la base de datos del Tropicós del Missouri Botanical Garden, *Echinopsis pachanoi* se registra en las provincias de: Azuay, Cañar, Chimborazo, Imbabura, Loja, Pichincha, Tungurahua. Según Madsen (1989), para Imbabura se identificó registros únicamente en jardineras, corroborando de esta forma su principal uso actual (ornamental), además se logró identificar tres hallazgos de *Echinopsis pachanoi* que probablemente sean individuos adaptados a un estado silvestre.



Figura 4.5 Espécimen en borde de carretera, Tumbabiro, cantón Urcuquí
Fuente: La Autora



Figura 4.6 Espécimen en terraza del río Chorlaví, Barrio El Milagro, cantón Ibarra
Fuente: La Autora

Como se observa en las Figuras 4.5, 4.6 y 4.7 probablemente son especímenes que se han adaptado a condiciones naturales en las terrazas de los ríos y quebradas. En el registro de Tumbabiro, este hecho parecería muy posible ya que se encuentra muy alejado de asentamientos humanos.



Figura 4.7 Espécimen en terraza de la quebrada Tanguarin, Barrio Chorlaví, cantón Ibarra
Fuente: La Autora

En las bases de datos consultadas, no existen registros de presencia para la provincia de Carchi, sin embargo esta investigación permitió determinar que la especie se encuentra distribuida en dos cantones de la provincia: Mira (Figura 4.8) y Tulcán (Figura 4.9), los especímenes hallados, según sus características morfológicas, superan los 50 años de edad.



Figura 4.8 Espécimen en el parque central de la parroquia La Concepción, cantón Mira
Fuente: La Autora

En la cuenca hidrográfica del río Carchi, se registró *Echinopsis pachanoi* únicamente en la ciudad de Tulcán en el área urbana a una altura de 2980 msnm; todos los hallazgos fueron en jardineras como se observa en la Figura 4.9.



Figura 4.9 Espécimen en vivienda del área urbana del cantón Tulcán

Fuente: La Autora

Según la Flora de Ecuador, Cactaceae (Madsen, 1989), *Echinopsis pachanoi* es la única especie del género, cuyo centro de origen es Perú, que llega más al norte de Sudamérica, en territorio ecuatoriano, que cualquier otra especie de *Echinopsis*. Coloniza acantilados a lo largo de los ríos en altitudes de hasta 3000 m.s.n.m., información que es corroborada por las ubicaciones registradas en el Sur del país, según datos de muestras herborizadas del Herbario Nacional del Ecuador (QCNE), Herbario de la Universidad Católica (QCA); más los nuevos registros generados por la presente investigación, concluyendo que el posible patrón de distribución en estado natural, sean las riveras de ríos y quebradas con pendientes pronunciadas y taludes casi verticales. Durante el desarrollo del trabajo de campo se determinó la presencia de *Echinopsis pachanoi* en 38 localidades, como se puede visualizar en el Anexo 1., donde además se incluye la Cuenca Hidrográfica a la que pertenece, la provincia, localidad y coordenada.

En la Figura 4.10 se observa la distribución actual de *Echinopsis pachanoi* en las cuencas hidrográficas del norte de los andes ecuatorianos. Con una mayor agrupación en la cuenca hidrográfica del río Mira debido a que fue una planta cultivada por las sociedades prehispánicas y estos asentamientos humanos en la zona norte, fueron más numerosos en la cuenca del río Ambi afluente de la cuenca del río Mira.

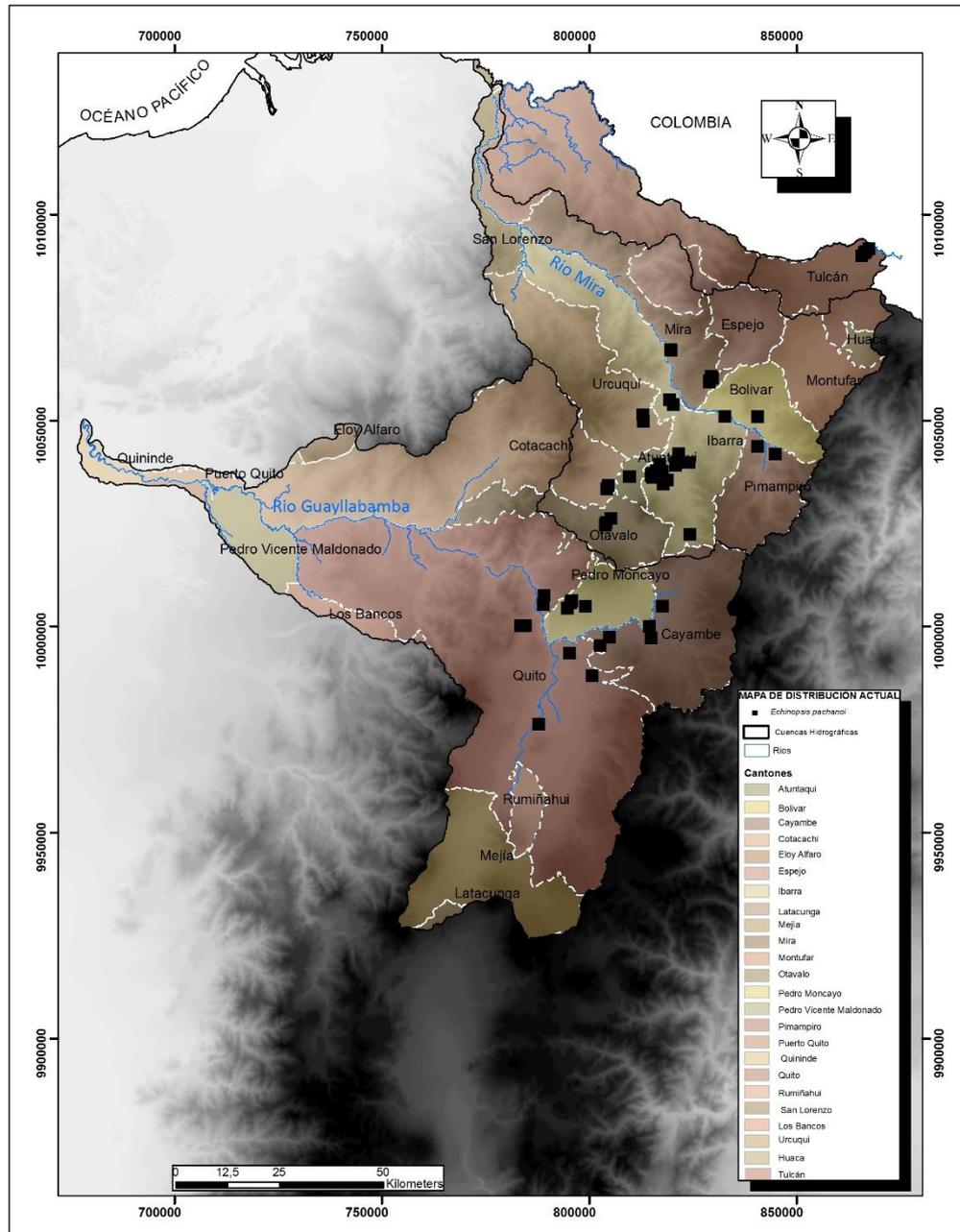


Figura 4.10 Mapa de distribución actual de *Echinopsis pachanoi* en el norte de los andes ecuatorianos
Fuente: La Autora

Para sustentar los registros del Catálogo de Plantas Vasculares de Ecuador (Jorgensen y León, 1999), la base de datos del Tropicós del Missouri Botanical Garden y muestras herborizadas en los dos herbarios QCNE y QCA, se realizaron visitas de campo en las cuales efectivamente se corroboró la presencia de *Echinopsis pachanoi* en la provincia de Pichincha en las localidades de: Guayllabamba, Puellaró, San Antonio, Santa Rosa de Cuzubamba, Cayambe,

Malchingui, Cochasqui, El Quinche, Tumbaco; en la provincia de Imbabura en las localidades de: Otavalo, Cotacachi, Antonio Ante, Ibarra, Tumbabiro, Salinas, Ambuquí, Pimampiro; y con un nuevo registro, resultado de la presente investigación, en la provincia de Carchi, en las localidades de: La Concepción, Mira, Los Andes y Tulcán (Figura. 4.11).

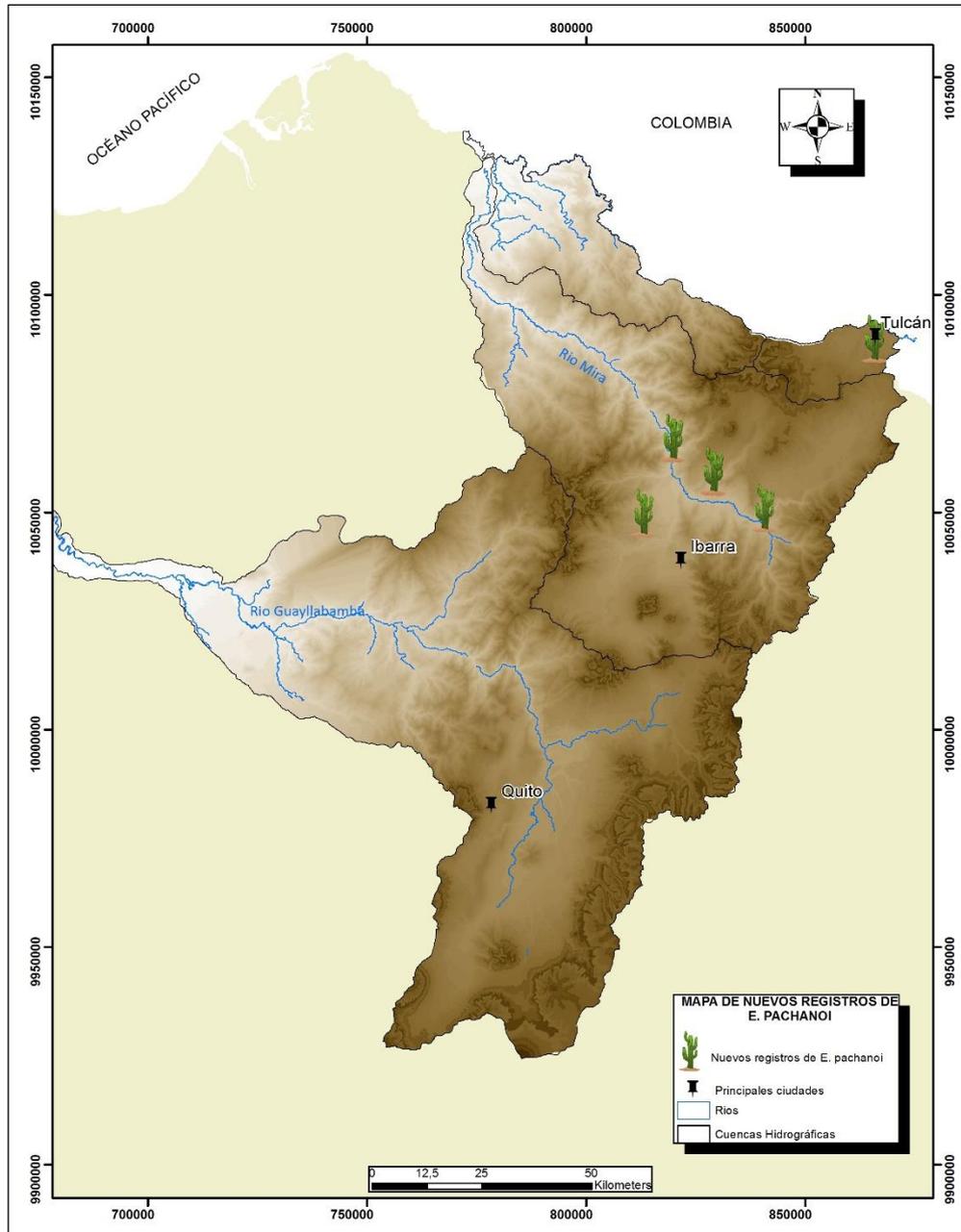


Figura 4.11 Mapa de nuevos registros de *Echinopsis pachanoi*
Fuente: La Autora

4.3. Distribución de *Echinopsis pachanoi* basado en el mapa de vegetación del MAE

Según la distribución actual de *Echinopsis pachanoi*, y relacionando con el mapa de vegetación del Ministerio del Ambiente, en el programa MaxEnt se determinó que las formaciones vegetales con alta probabilidad de presencia de *Echinopsis pachanoi* son: Áreas Intervenidas (Inter01) y Bosque y Arbustal semideciduo del norte de los Valles (BmMn01).

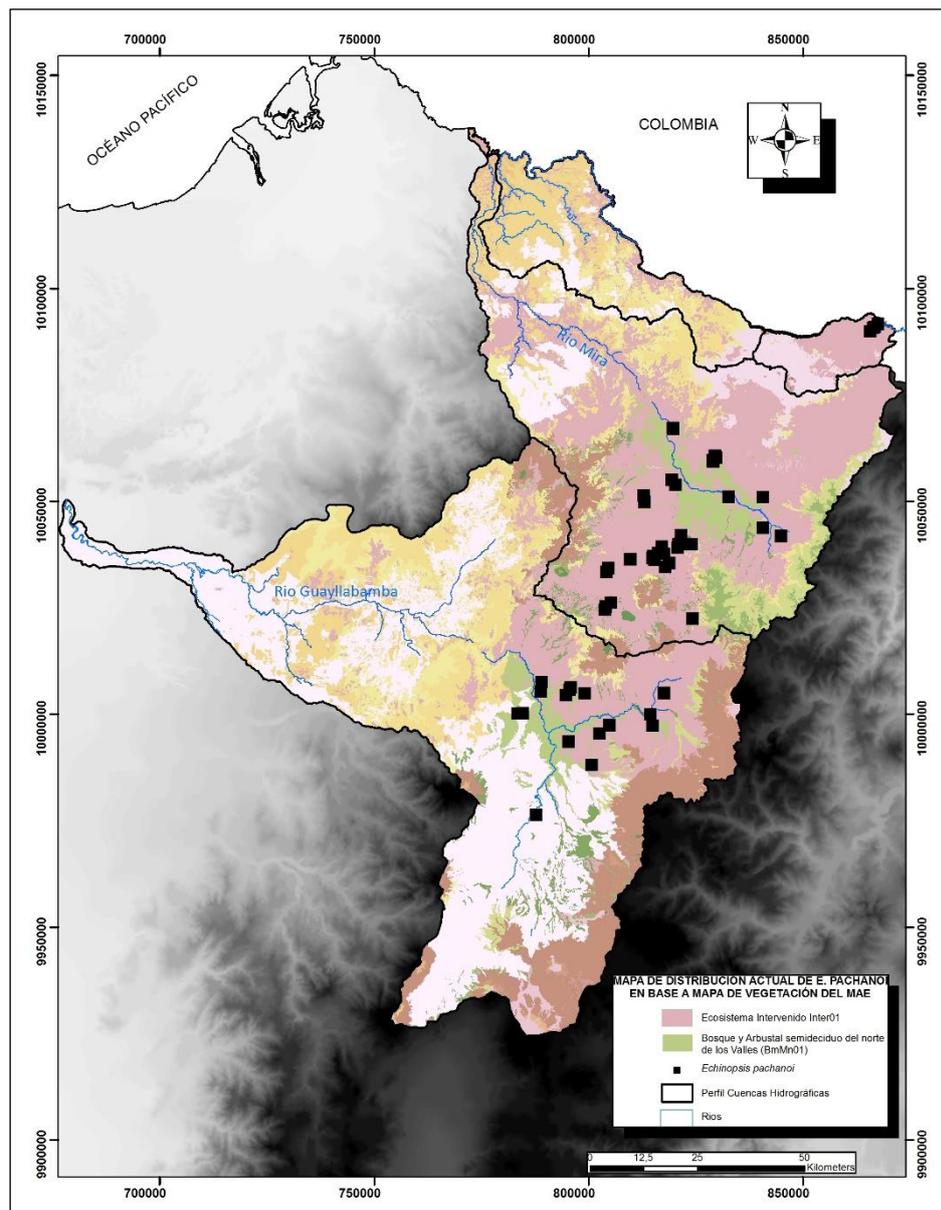


Figura 4.12 Mapa de distribución actual basado en el mapa de vegetación del MAE
Fuente: La Autora

Según la Figura 4.12 se observa que *Echinopsis pachanoi* se distribuye en mayor proporción en un ecosistema intervenido (Inter 01) dado que posiblemente fue una planta introducida por culturas prehispánicas desde el sur de Ecuador zona que es considerada como el centro de origen de la especie; según Cárdenas (1989) en Ministerio del Ambiente del Perú (2012) también sostiene la tesis de que el centro de origen de este cactus se encuentra entre el sur de Ecuador y el norte de Perú, y que posteriormente fue introducido al resto del Perú llegando hasta Bolivia.

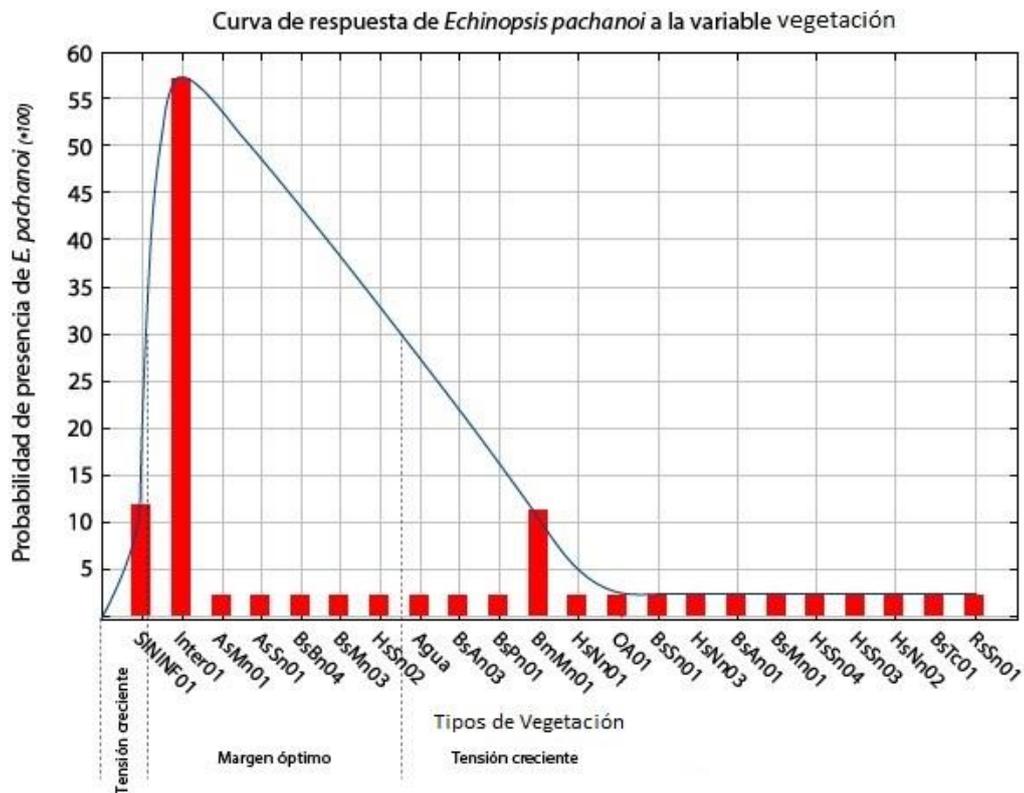


Figura 4.13 Histograma de respuesta de la variable vegetación.
Fuente: La Autora

Echinopsis pachanoi por ser una planta de uso ancestral y su presencia en este territorio posiblemente desde hace seis siglos, se consideraría una planta adaptada a las condiciones naturales de las formaciones vegetales del norte de los andes, es por esto que según la Figura 4.13 la probabilidad de presencia de la especie más alta es en vegetación intervenida (Inter 01) con una probabilidad entre 57%, seguidamente con una probabilidad de 13% vegetación de Bosque y Arbustal semidecíduo del norte de los Valles (BmMn01) este tipo de vegetación típico de

plantas xerofíticas, otras áreas que se clasificaron sin información (SININF) presenta probabilidad de 12%.

En la Figura 4.13 se define el rango óptimo para el desarrollo de la planta que corresponde a vegetación intervenida; los rangos de tensión creciente son todos los tipos de vegetación, sin embargo las formaciones vegetales sin información y Bosque y Arbustal semidecíduo del norte de los Valles obtuvieron mayor probabilidad; no se establecieron rangos de límites de tolerancia.

En la provincia de Imbabura casi todos los especímenes se registraron en áreas intervenidas muy relacionadas con viviendas o en bordes de carreteras, información que fue corroborada por el mapa vegetación, con mayor probabilidad de hallazgo en áreas intervenidas pero identificándose una particularidad en Tumbabiro, que no se encuentra cerca a algún poblado o vivienda es por este hallazgo que se consideraría la posibilidad del registro de esta especie en condiciones naturales en la zona norte del Ecuador

4.4. Distribución Potencial de *Echinopsis pachanoi* en las cuencas hidrográficas del norte de los andes ecuatorianos

Echinopsis pachanoi, por su gran adaptabilidad y amplia distribución altitudinal puede constituir una planta susceptible de manejo con el objetivo de aprovechar sus principios activos. Por lo antes citado es necesario la delimitación de áreas potenciales para el manejo, mediante los programas MaxEnt y ArcGIS se logró elaborar mapas con información útil para el manejo de la especie. Producto de la sistematización de variables bioclimáticas en el programa MaxEnt, se determinó la distribución potencial de *Echinopsis pachanoi*, en base a esta información se realizó una reclasificación de las probabilidades generadas por MaxEnt en ArcGIS, a partir del umbral de corte de 0.3 que se estableció con base en las categorías utilizadas por Mendoza et al., (2013) y Schank et al., (2015) en García et al., 2016 adaptadas a las necesidades de la presente investigación; en la

Figura 4.14 se observa la reclasificación en cuatro categorías: (0 – 30% nulo; 30 – 50% baja aptitud, 50% – 70% muy aceptable y > 70% alta aptitud).

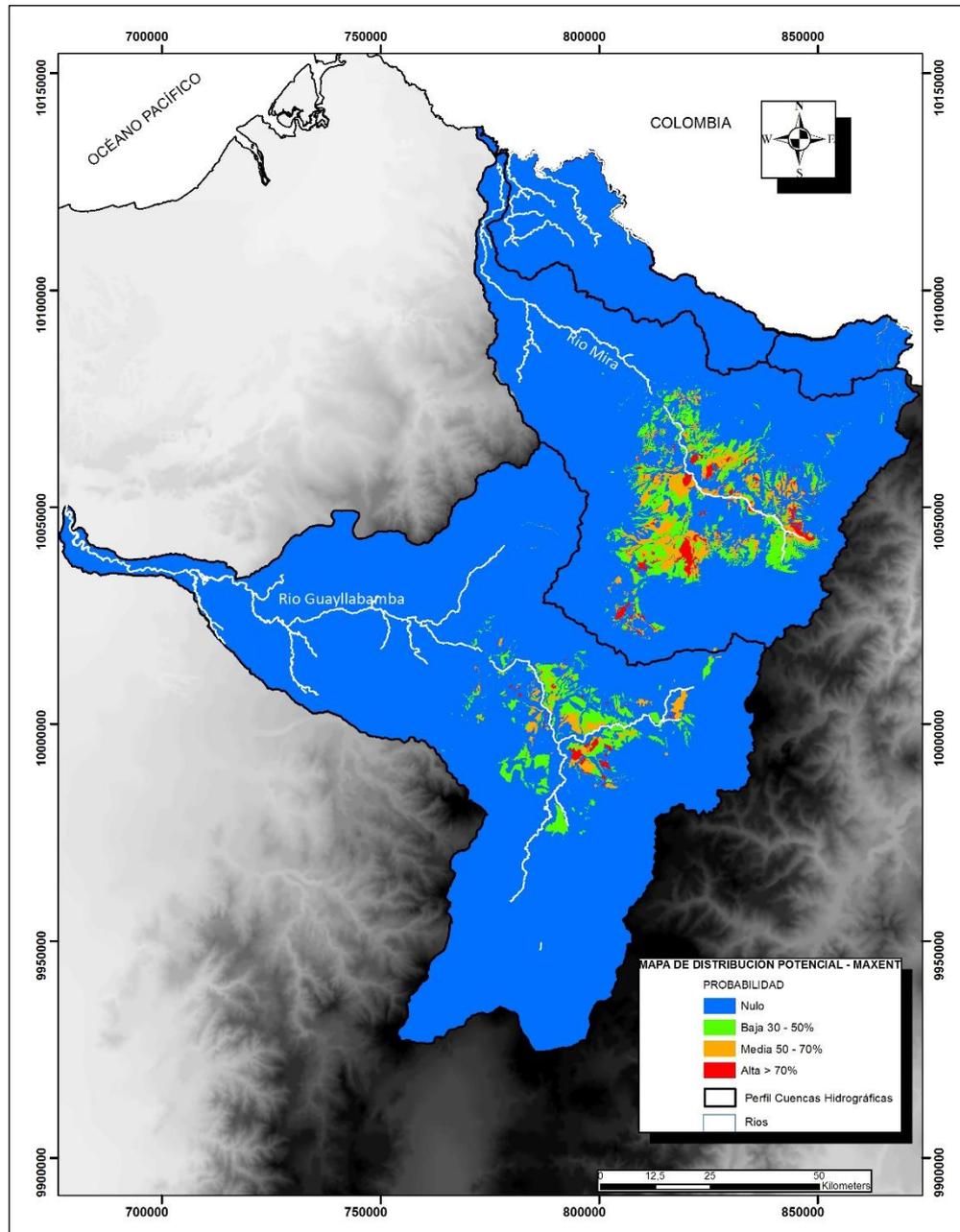


Figura 4.14 Mapa de distribución potencial de *Echinopsis pachanoi*

Fuente: La Autora

A partir del mapa reclasificado de MaxEnt se realizó una extracción en ArcGIS de aquellas áreas con una probabilidad igual o mayor al 50% mismas que son susceptibles de manejo, de estas áreas se realizó una filtración para eliminar

áreas pequeñas considerándose una hectárea como área mínima de manejo (MAGAP, 2014) por cuestiones de rentabilidad.

En la Figura 4.15 se observa las posibles zonas que pueden albergar la especie sea en estado natural o para el manejo de *Echinopsis pachanoi*, en total son 459.64 km² potenciales para el manejo de la especie.

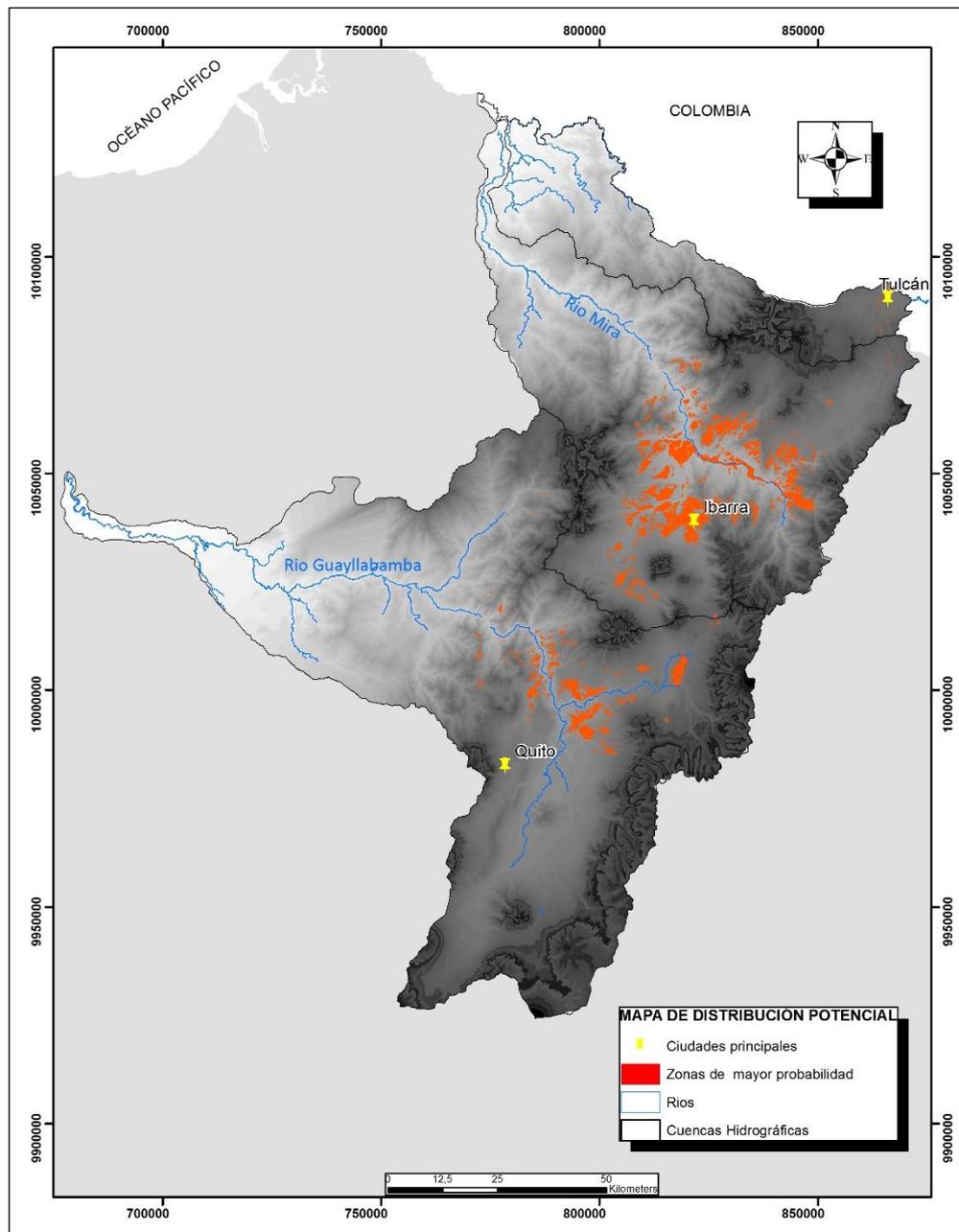


Figura 4.15 Nuevos lugares predichos para el manejo de *Echinopsis pachanoi*
Fuente: La Autora

Se identificó nuevas localidades para el manejo de *Echinopsis pachanoi*, con la característica común en su mayoría que están ubicadas en áreas con vegetación xerofítica, en el Cuadro 4.1 se detalla las localidades por provincia y cuenca hidrográfica.

Cuadro 4.1 Nuevas localidades para el manejo de *E. pachanoi*

Cuenca Hidrográfica	Provincia	Parroquia
Río Mira	Carchi	Monte Olivo
		San Rafael
		Bolívar
		Los Andes
		García Moreno
		San Vicente de Pusir
		San Isidro
		El Goaltal
		Imbabura
	Pimampiro	
	Ambuquí	
	Ibarra (Aloburo)	
	Yuracruz	
	Chaltura	
	Pablo Arenas	
	Cahuasquí	
	Río Guayllabamba	Pichincha
	Malchingui	
	Calacali	
	San José de Minas	

Fuente: La Autora

Las curvas de respuesta de cada variable en el programa MaxEnt, para la distribución potencial de *Echinopsis pachanoi*, determinaron los posibles requerimientos agroecológicos que se necesitan para el manejo de la especie y son: la temperatura media anual oscile entre 12 a 19 °C, la altitud entre 1600 a 2700 msnm, el contenido de materia orgánica en el suelo se encuentre entre no aplica a bajo, la precipitación media anual entre 300 a 900 mm, la textura del suelo *E. pachanoi* se adapta a todas las texturas del suelo y en vegetación de tipo Áreas Intervenidas (Inter01) y Bosque y Arbustal semideciduo del norte de los Valles (BmMn01). Por lo tanto para el establecimiento de plantaciones comerciales de *Echinopsis pachanoi* se necesitará tomar en cuenta los valores óptimos de las

condiciones ambientales para garantizar el establecimiento y adaptación de la especie.

A continuación se describen las curvas de respuesta de cada variable generadas por MaxEnt:

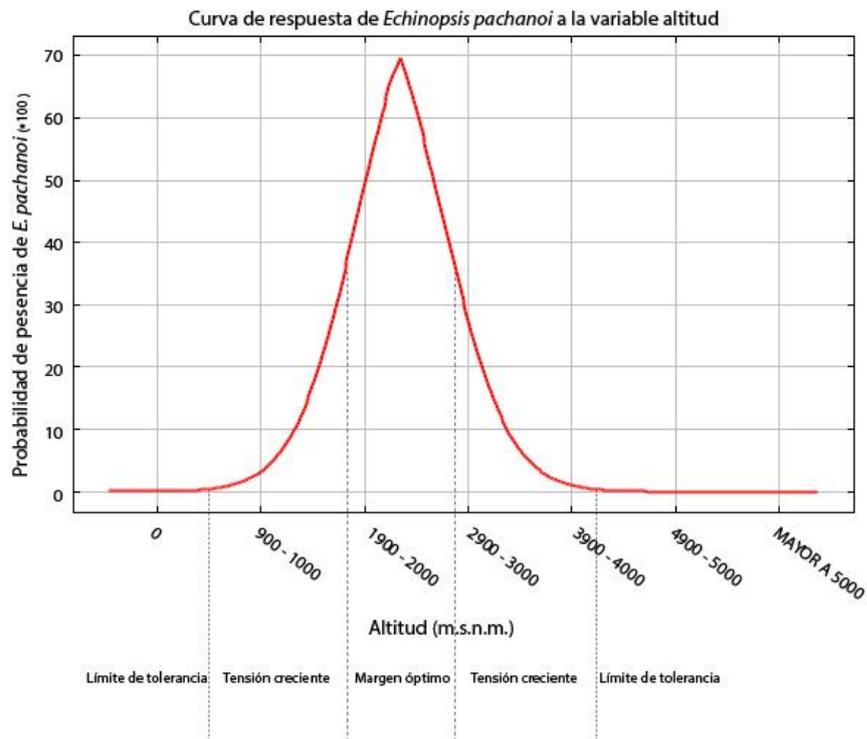


Figura 4.16 Curva de respuesta de la variable altitud
Fuente: La Autora

La probabilidad de presencia más alta para *Echinopsis pachanoi* en función de la altitud es entre un rango de 1600 a 2700 msnm. En la Figura 4.16 se define los rangos óptimos para el desarrollo de la planta entre 1600 a 2700 msnm, rangos de tensión creciente entre 1600 a 400 msnm y 2700 a 4200 msnm; los límites de tolerancia son los valores de 400 msnm y 4200 msnm, ya que por debajo o sobre estos valores la planta posiblemente no se adapta a esas condiciones por eso la probabilidad para esta zona es cero.

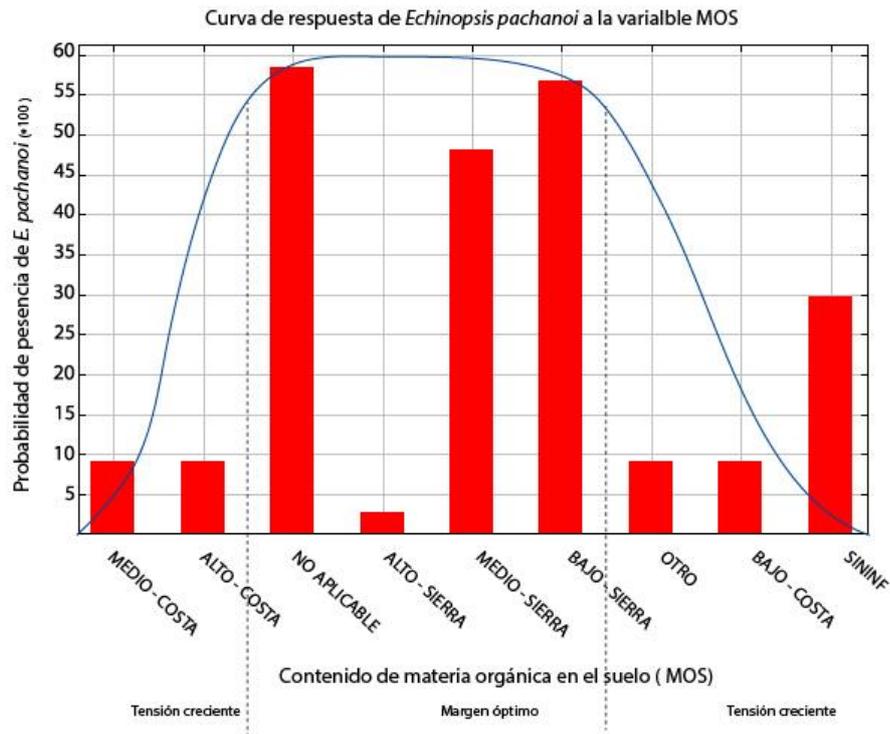


Figura 4.17 Histograma de respuesta de la variable contenido de materia orgánica del suelo
Fuente: La Autora

La probabilidad de presencia más alta para *Echinopsis pachanoi* en función del contenido de materia orgánica en el suelo es “No aplicable” que corresponde a lugares en los cuales no se levantó este tipo de información porque son cuerpos de aguas como ríos y lagos, zonas pobladas y algunas áreas protegidas; con probabilidad de 57% es posible encontrar a *Echinopsis pachanoi* en suelos con un nivel de materia orgánica de bajo-sierra y con probabilidad de 48% cantidad de materia orgánica medio-sierra.

En la Figura 4.17 se define los rangos óptimos para el desarrollo de la planta todos los niveles de materia orgánica en suelos de la sierra entre no aplica (centros poblados, cuerpos de agua) y niveles bajos de materia orgánica; los rangos de tensión creciente todos los niveles de materia orgánica en suelos de la costa, es decir en cuanto a materia orgánica *Echinopsis pachanoi* probablemente si se adapta a los suelos costeros y por esta razón no se establecieron límites de tolerancia.

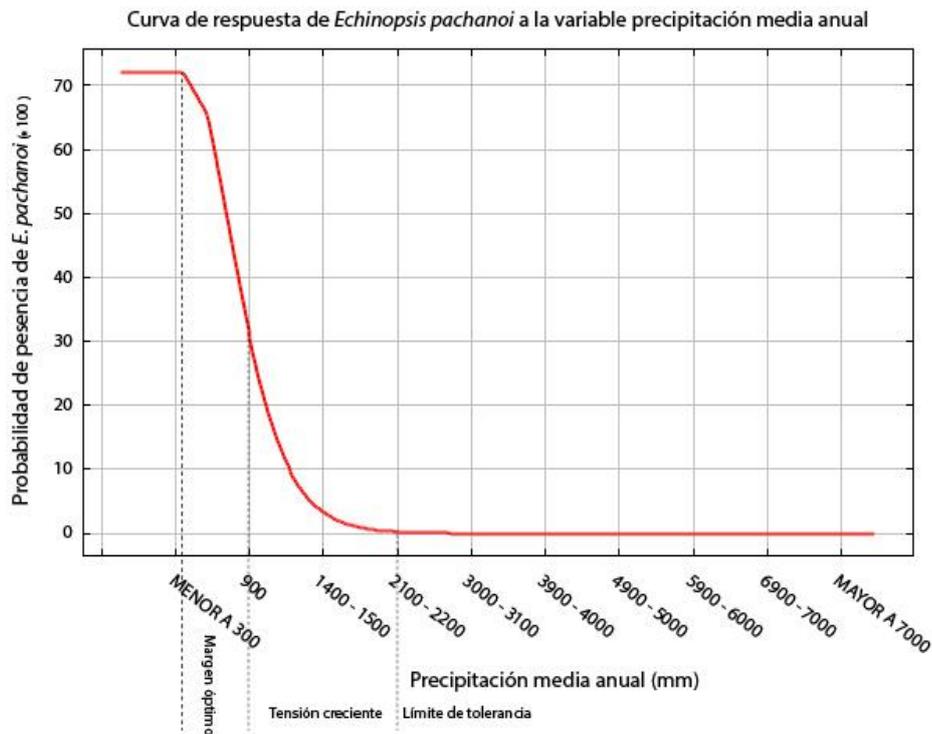


Figura 4.18 Curva de respuesta de la variable precipitación media anual
Fuente: La Autora

La probabilidad de presencia más alta para *Echinopsis pachanoi* en función de la precipitación media anual es entre un rango de 300 a 900 mm; y con una probabilidad del 70%. En la Figura 4.18 se define los rangos óptimos para el desarrollo de la planta entre 300 a 900 mm, según el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2009), para la especie *Opuntia ficus indica* es necesario precipitaciones regulares entre 150 a 800 mm de precipitación media anual es un dato referencial que da confiabilidad al análisis de la curva de respuesta de precipitación para *E. pachanoi*; los rangos de tensión creciente entre 900 a 2200 mm y el límite de tolerancia está alrededor de 2200 mm, mayor precipitaciones a 2200 mm la planta posiblemente no se adaptaría a esas condiciones por eso la probabilidad para esta zona es cero.

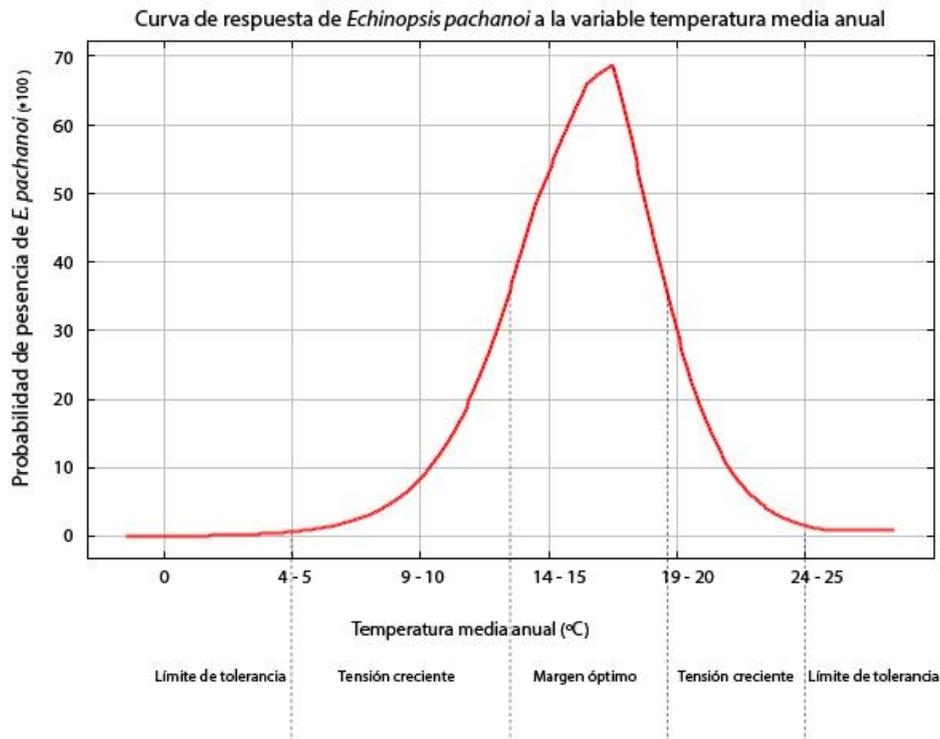


Figura 4.19 Curva de respuesta de la variable temperatura media anual
Fuente: La Autora

La probabilidad de presencia más alta para *Echinopsis pachanoi* en función de la temperatura media anual es entre un rango de 12 a 19 °C. En la Figura 4.19 se define el rango óptimo para el desarrollo de la planta es entre 12 a 19 °C; los rangos de tensión creciente entre 4 a 12 °C y entre 19 a 25 °C; mientras que los valores de límite de tolerancia son 4 y 25 °C, por debajo y por encima de estas temperaturas la probabilidad es cero. La Gerencia Regional Agraria La Libertad (2009), realizó un estudio de la tuna (*Opuntia ficus indica*), en el cual señala el óptimo de temperatura para el manejo de la especie entre 18 y 25 °C, al igual que para el nopal verdura (*Opuntia ficus indica*) entre 16 y 28 °C (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2009); estos valores fueron considerados referenciales para el estudio de *E. pachanoi* ya que las dos especies son cactáceas y de amplio rango de distribución altitudinal; por lo tanto el óptimo determinado por la curva de respuesta de temperatura para *E. pachanoi* se encuentra dentro de los valores determinados en estudios similares.

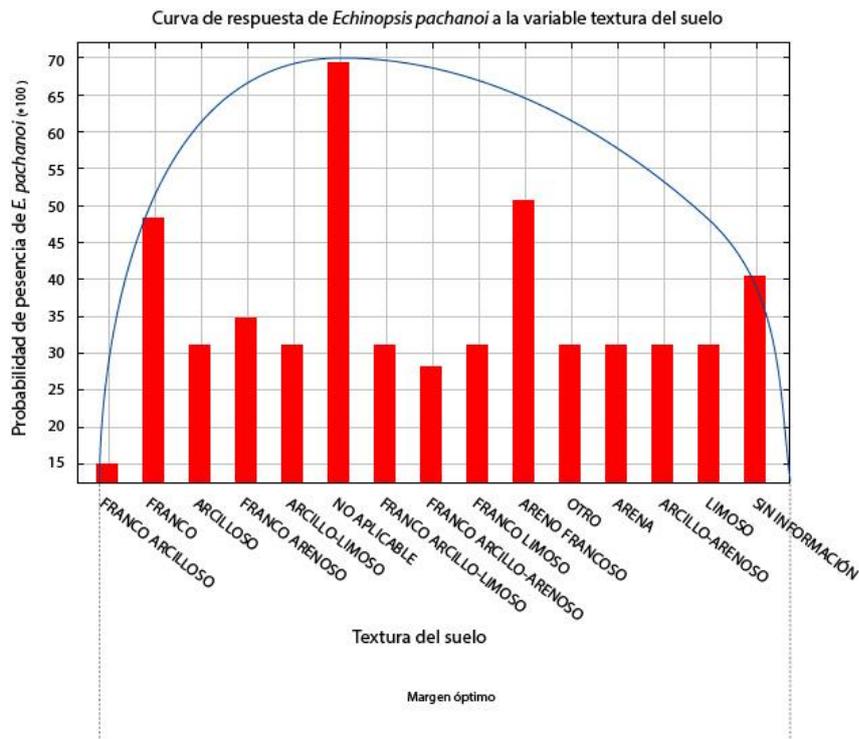


Figura 4.20 Histograma de respuesta de la variable textura del suelo
Fuente: La Autora

La probabilidad de presencia más alta para *Echinopsis pachanoi* en función de la textura del suelo es “No aplicable” que corresponde a lugares en los cuales no se levantó este tipo de información porque son cuerpos de aguas como ríos y lagos, zonas pobladas y algunas áreas protegidas; con probabilidad de 51% es posible encontrar a *Echinopsis pachanoi* en suelos con una textura de Areno francoso; con probabilidad de 48% textura franco y con probabilidad de 40% textura sin información.

En la Figura 4.20 se define los rangos óptimos para el desarrollo de la planta corresponde a todas las clasificaciones de textura en el suelo, es decir en cuanto a textura *Echinopsis pachanoi* probablemente se adapta a cualquier tipo de textura del suelo; no se establecieron rangos de zona de tensión ni límites de tolerancia, por lo tanto la variable textura del suelo no es un factor limitante para la adaptación y desarrollo de esta especie de cactus. Según la Gerencia Regional Agraria La Libertad (2009), *Opuntia ficus indica* una especie de cactácea, en lo que respecta a suelos, se adapta bien a diversas texturas y composiciones, pero se desarrolla mejor

en suelos sueltos, arenosos datos que corroboran el análisis de la curva de respuesta de la textura de suelo para *E. pachanoi*.

4.5. Evaluación del Modelo de Distribución Potencial de *Echinopsis pachanoi*

La evaluación del modelo es indispensable para determinar su precisión y confiabilidad, se realizó a partir del análisis de la curva de omisión, la curva AUC, prueba de importancia y contribución de variables (Jackknife).

4.5.1. Prueba de importancia y contribución de variables (Jackknife)

Según el Cuadro 4.2, la variable con mayor contribución al modelo propuesto, de todas aquellas que fueron utilizadas (bases de datos MAGAP y MAE), para la estimación de la distribución potencial de *Echinopsis pachanoi*, es la variable “vegetación” con el 35,8%, ponderación que se le atribuye por ser una variable que se correlaciona parcialmente con las otras variables como la precipitación, temperatura y altitud, pero que incluye un número considerable de información de otras variables cuyos datos no están disponibles a nivel de detalle que se desea (cobertura de la tierra, bioclima, índice de época seca, unidades geomorfológicas, regímenes de inundaciones, pisos bioclimáticos, fenología, biogeografía, composición florística); autores como Forero et al., (2014) no utilizaron la variable ecosistemas por que la especie en estudio se asocia a cierto ecosistema, en este caso *Echinopsis pachanoi* presenta un amplio rango de distribución altitudinal y por ser posiblemente una planta introducida no se ha identificado el ecosistema típico para la especie en la zona norte por lo cual se utilizó la variable vegetación para la modelación ya que contribuye con información determinante para identificar la naturalización o no de la especie en la zona.

En relación a la modelación la variable precipitación también contribuyó notablemente al modelo seguidamente de una variable edafológica como es el contenido de materia orgánica del suelo (MOS) con el 25,6 % de contribución, lo

que demuestra que es una variable imprescindible para modelar la distribución de la especie, *E. pachanoi* por ser una especie posiblemente introducida y susceptible a manejo su relación con variables edafológicas es elemental, al igual que Torres y Jayat (2010) consideraron siete variables relacionadas con la textura y constitución química del suelo debido a que la especie en estudio se relaciona íntimamente a las condiciones del suelo.

Cuadro 4.2 Análisis de contribución de las variables al modelo

Variable	Porcentaje de Contribución	Importancia
Vegetación	35,8	25,3
Precipitación	27,0	36,2
MOS	25,6	15,9
Altitud	5,7	15,3
Textura del suelo	4,7	2,9
Temperatura	1,1	4,5

Fuente: La Autora

En cuanto a importancia, de todas las variables usadas la precipitación es la variable más importante seguida de la variable vegetación. Tanto la variable vegetación y precipitación son altamente predictivas para el modelo. Estas afirmaciones se las puede visualizar en la Figura 4.21. que indica el ajuste que presenta el modelo, con todas las variables exceptuando la variable probada representadas con barras de color verde; las barras de color azul representan el ajuste del modelo únicamente con la variable seleccionada y la barra de color rojo expresa el ajuste del modelo considerando todas las variables. En base a esta figura, se puede apreciar la manera en la que cada variable contribuye al modelo.

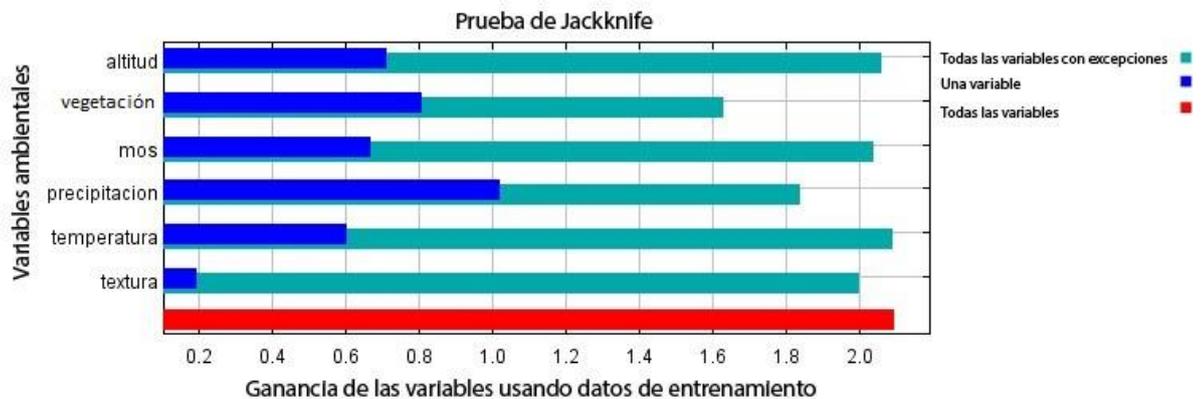


Figura 4.21 Gráfica de ganancia de entrenamiento

Fuente: La Autora

Analizando esta figura se puede observar que la variable precipitación obtuvo mayor ganancia (según Torres y Jayat, 2010, la probabilidad se expresa en términos de "ganancia") cuando interviene por sí sola, pero si se excluyera esta variable (representación barra verde) el ajuste del modelo disminuye es decir la variable precipitación le otorga mayor confiabilidad al modelo al igual que la variable vegetación.

4.5.2. Tasa de omisión y área predicha

La tasa de omisión, indica el grado de omisión y comisión del modelo siendo ideal que la tasa de omisión para datos de entrenamiento representada por la línea azul se aproxime a la tasa de omisión predicha (línea color negro) la cual representa cero error de omisión y cero error de comisión; en este caso la línea azul se ajusta a la línea negra lo cual indica que el modelo es confiable. La curva en color rojo representa el área predicha de una fracción de los datos originales del modelo y determina la superficie a partir de la cual el umbral es considerado como adecuado para predecir la distribución. Por tanto, cuando más se acerque la curva roja hacia el valor 0,0 mayor será el grado de ajuste del modelo, evitando excesos de omisiones y comisiones.

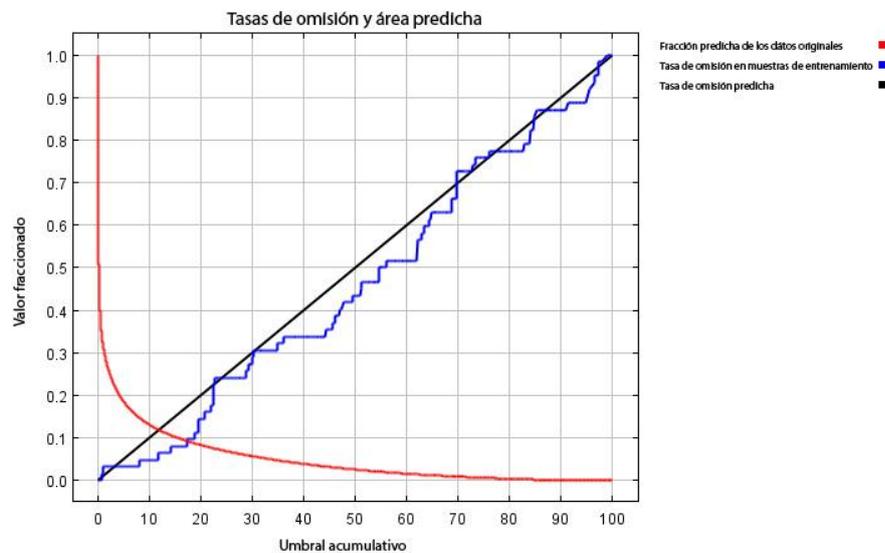


Figura 4.22 Curva de Omision
Fuente: La Autora

4.5.3. Área total bajo la curva (AUC)

La curva AUC permite calcular la medida del error en la predicción, mientras el valor es más próximo a 1, el modelo es más predictivo. Para este caso el área total bajo la curva (línea color rojo) en la Figura 4.23, es de 0.957, lo que indica que es confiable para determinar la distribución potencial de la especie. Por lo general, se considera que un valor de AUC por encima de 0.7 señala un buen ajuste; un valor de 0.5, por otro lado, indica que la capacidad de predicción del modelo no es mejor que al azar (Hanley y McNeil, 1982 en Torres et al., 2010). La línea en color negro que tiene un valor de AUC de 0.5 indica el límite mínimo de la confiabilidad de un modelo.

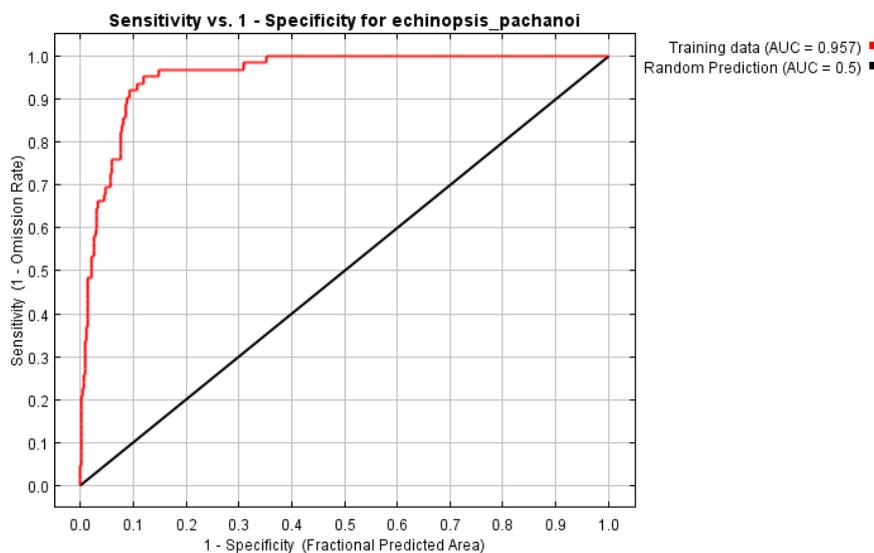


Figura 4.23 Curva AUC

Fuente: La Autora

4.6. Relación de la Distribución Actual de *Echinopsis pachanoi* con la Ubicación Histórica de Sociedades Prehispánicas del Norte de los Andes Ecuatorianos

Es indiscutible que la presencia de *E pachanoi* en la zona norte de los andes fue propiciada por sociedades prehispánicas, según el Ministerio del Ambiente de Perú (2013) el centro de origen de la especie es compartido entre el sur de Ecuador y el norte de Perú y que a partir de esta zona se distribuyó al resto de Perú hasta

llegar a Bolivia; según el mapa de distribución del género *Echinopsis* en Perú (Ministerio del Ambiente de Perú, 2013) se puede observar que la especie *Echinopsis pachanoi* se distribuye únicamente en el centro-norte de Perú, lo mismo podría haber ocurrido en Ecuador un proceso de dispersión de la especie desde el sur hacia el resto del país, de igual manera es incuestionable el papel protagónico de la especie en las culturas peruanas según Kvist y Moraes (2006), los Incas adoptaron el uso de esta planta para influenciar a las culturas dominadas; en el siguiente contenido se realizó una aproximación de los hechos que propiciaron la distribución de *E. pachanoi* en función de lugares con valor histórico ancestral.

El centro de origen de *Echinopsis pachanoi* es compartido entre el sur de Ecuador y el norte de Perú, según el Ministerio del Ambiente de Perú (2013); en el Catálogo de Plantas Vasculares de Ecuador es categorizado como árbol, arbusto nativo andino (Jorgensen y León-Yáñez, 1999), fue también registrado históricamente como planta psicoactiva por la cultura Inca quienes adoptaron el uso de esta planta para influenciar a las culturas dominadas (Kvist y Moraes, 2006). Dentro de las culturas sometidas por los Incas se incluyen a las culturas prehispánicas ecuatorianas gobernadas por los Incas por aproximadamente 100 años en los cuales compartieron la cultura Inca y entre aquello el uso de *Echinopsis pachanoi*, práctica arraigada hasta después de la conquista española quienes prohibieron su uso e intentaron erradicar por completo las poblaciones de esta planta.

La región norte de los andes se dividió en dos grandes territorios (casicazgos) Los Caranquis y Los Pastos culturalmente diferentes pero que mantenían un acuerdo de convivencia mismos territorios delimitados naturalmente por el río Mira, hacia el norte los Pastos (Tulcanes, Puntales, Chontahuasi, Tuzas, Guaca) y hacia el sur los Caranquis (Otavalos, Cayambis, Cochasquis y Caranquis).

Según Naranjo (2005), los Caranquis fueron sometidos por los Incas adoptando el idioma y la cultura entre aquello posiblemente a *Echinopsis pachanoi* como planta enteogénica en cambio los Pastos no aceptaron ni la política, ni el

idioma y menos aún la cultura de los invasores Incas. Es por esto que en el territorio Pasto la distribución *Echinopsis pachaoi* es esporádica, con ausencia de esta especie en los territorios de: Puntales, Tuzas y Guacas más un hallazgo particular en la zona de los Tulcanes (ciudad de Tulcán). En cuanto a los Incas dentro de su cultura resalta el uso del cactus *Echinopsis pachanoi* como planta enteogénica, no existe registros que los Caranquis hayan usado esta planta pero se deduce que si la conocían por el intenso comercio que existía hacia esta zona para adquirir la coca y otros productos según Borja (1965), en Uribe (1986), venían de Latacunga, Sicchos y otros pueblos del sur. Se ha registrado que Los Pastos y Caranquis tenían conexión con los indios del oriente reconocidos shamanes, en la Amazonía la planta enteogénica hasta la actualidad es la ayahuasca lo que concuerda con el relato de Porras (1973) en Uribe (1986), deduciéndose que utilizaban la ayahuasca y la coca es decir se sobreentiende que esta zona norte en cuanto a plantas enteogénicas era muy frecuente el uso de la ayahuasca.

Una de las estrategias Incas era la destrucción de centros ceremoniales, pirámides, tolas y otros monumentos históricos de las sociedades conquistadas y la implantación de su propia cultura (Naranjo, 2005) por lo cual se concluye que la distribución actual de *E. pachanoi* que en su mayoría se encuentra en Pichincha, Imbabura y parte de la provincia del Carchi responde al proceso expansivo de los Incas que se truncó por la conquista española por lo cual se relaciona la ubicación actual de la planta con las sociedades prehispánicas de la zona norte de los andes, distribución en su totalidad en áreas intervenidas, ninguna en estado natural. La progresiva conquista de los Incas consistía en una estrategia en la que se iban sumando las poblaciones conquistadas al objetivo de expandir el imperio incaico hacia tierras del norte (Dillehay y Netherly, 1998), por este motivo los Incas conquistaron el sur-centro del territorio que constituye actualmente Ecuador hasta avanzar al norte venciendo la fortaleza de Los Quitos y asentándose inicialmente en El Quinche y Guayllabamba, seguidamente vencieron la fortaleza de Cochasquí y por último la conquista al pueblo Caranqui en Yahuarcocha, mismas conquistas que fueron en diferentes tiempos lo cual denota dos etapas de conquista Inca en el norte de los andes desenlazadas en Cochasquí y Yahuarcocha (Jurado, 1992).

Las dos etapas de conquista Inca constituyen posteriormente asentamientos humanos prehispanicos siendo El Quinche uno de los preferidos por los Incas (Morales, 2014) por lo cual como se observa en la Figura 4.24 la distribución actual de *E. pachanoi* concuerda con la zonificación de avanzada de la conquista Inca identificándose una primera agrupación de *E. pachanoi* en la zona del valle de Guayllabamba, El Quiche, Cochasquí y Cayambe y el segundo grupo en el territorio de los Otavalos y Caranquis. Lo que demuestra que a pesar de que el uso del suelo ha cambiado totalmente desde la conquista española y de igual manera la distribución de las tierras, *E. pachanoi* aún está presente como una planta domesticada por el ser humano y se relaciona con las sociedades prehispanicas, hispanicas y contemporaneas.

Seguidamente de la conquista incaica se dio la conquista española por lo cual se deduce que la expansión del territorio Inca se limitó por el sometimiento de los españoles que dominaban por la religión y apropiación de tierras (Naranjo, 2005), y por ende se limitó el cultivo y expansión de *E. pachanoi*. En cuanto a la presencia de *E. pachanoi* en época hispanica, con la conquista española en Ecuador y al mismo tiempo en Europa la Santa Inquisición que abolía cualquier acto de herejía en contra del cristianismo, se impuso lo mismo en el proceso de conquista española con las ordenes Franciscanas y Jesuitas para la evangelización lo cual limitó la práctica de rituales y uso de plantas enteogénicas como *Echinopsis pachanoi*, más la esclavitud en mitas, huasipungos, obrajes y encomiendas fueron factores que propiciaron el olvido de saberes ancestrales.

Lo que actualmente constituyen los centros poblados de las ciudades de Cayambe, Otavalo, Antonio Ante, Ibarra, Mira y Tulcán en las cuales se registró la presencia de *Echinopsis pachanoi* en jardines, bordes de carreteras, haciendas, ríos y quebradas en la época republicana estas ciudades fueron fundadas por mestizos e indígenas con una mezcla de tradiciones en las cuales aún persiste la adopción de esta planta en el ingreso de las viviendas (como protector) pero con un olvido de su uso en ritos ancestrales incluso de los mismos curanderos de la zona norte que

actualmente desconocen la planta enteogénica usada por sus ancestros además de incluir en sus rituales imágenes y rezos cristianos.

Por lo antes expuesto se puede concluir que la planta fue introducida conjuntamente con su conocimiento ancestral por los mindalaes (mercaderes) en menor escala y posteriormente por los Incas con mayor intensidad; mientras se dio el proceso de conquista Inca que duró dos generaciones en llegar a los cacicazgos del norte y a la vez posiblemente también se dio un proceso de especiación y selección artificial de la especie en función del contenido de alcaloide. Según el Ministerio del Ambiente Perú (2013), se ha demostrado que *E. pachanoi* contiene más alcaloide que otra especie del género misma que se distribuye al norte de Perú y sur de Ecuador, por lo cual se considera que por este motivo la distribución de la especie alcanzó hasta el cacicazgo: Caranqui y en la zona cálida del territorio de los Pastos (Señorío: Chontahuasi), con una particularidad en Tulcán.

En cuanto a la agrupación de *E. pachanoi* en Tulcán se concluyó que son especímenes contemporáneos ya que Los Pastos no fueron conquistados por los Incas y es por esta razón que en la zona de El Ángel, Bolívar, San Gabriel no existen registros de *E. pachanoi* pero si en Tulcán posiblemente debido a la reintroducción de la planta a prácticas y rituales ancestrales en los años 1970 por influencia del movimiento Hippie según Montesinos (2012) en Bravo (2013) "no fueron los indígenas los que lo revivieron" el uso de *E. pachanoi*, "en los 90 cuando comenzó con fuerza el tema chamánico se empezó a retomar la parte ancestral del San Pedro" (*E. pachanoi*).

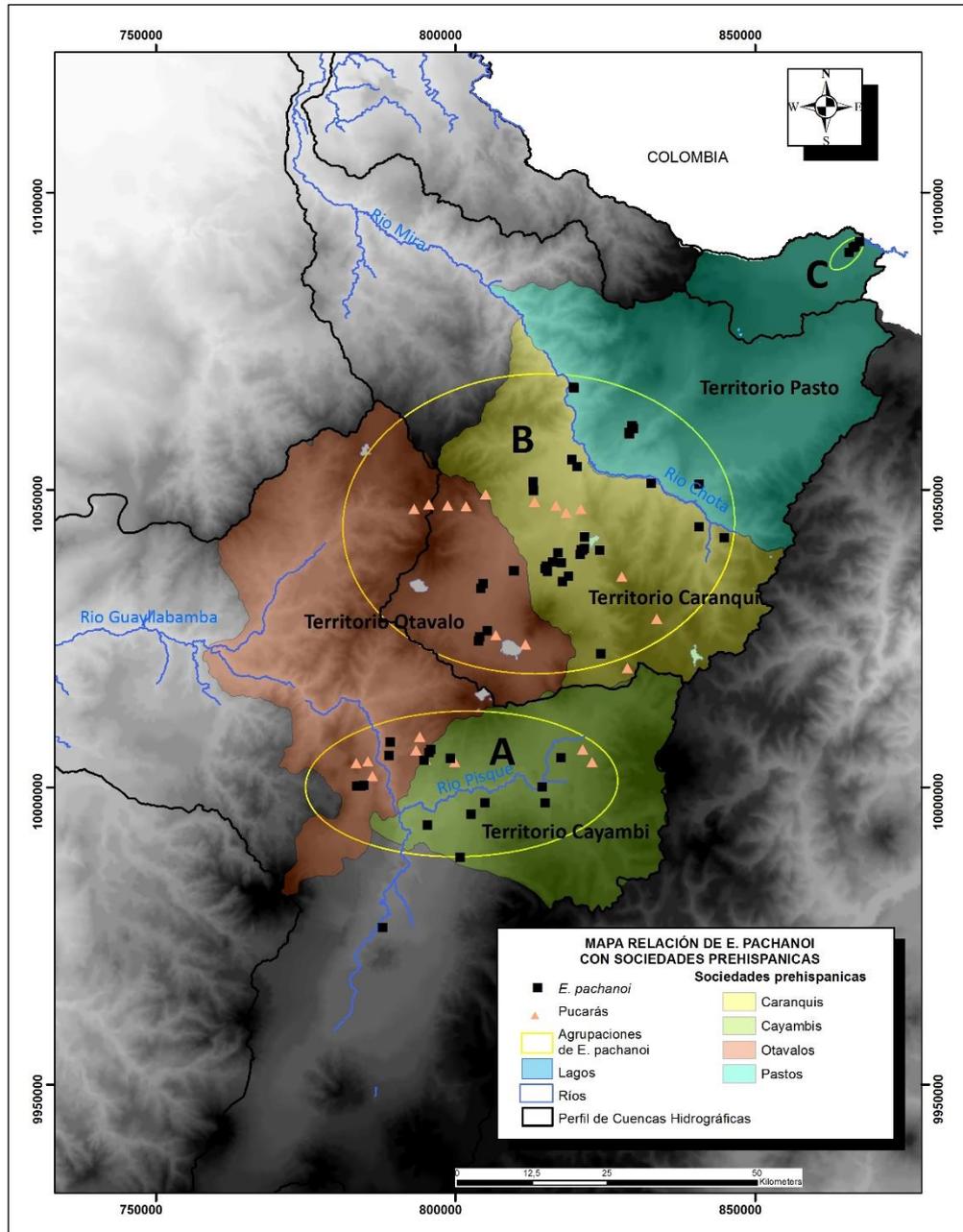


Figura 4.24 Relación de la distribución actual de *E. pachanoi* en sociedades prehispanicas

Fuente: La Autora

La distribución actual de *E. pachanoi* se relaciona con los territorios prehispanicos como se observa en la Figura 4.24, mapa en el cual se delimitó las sociedades prehispanicas en la zona norte de los andes ecuatorianos y la distribución actual de *E. pachanoi* observándose tres agrupaciones de *E. pachanoi* enmarcadas dentro de un círculo color amarillo lo que correspondería a los

asentamientos de los Incas en su proceso expansivo del Imperio del Tahuantinsuyo, de esta manera, la agrupación A es el primer asentamiento Inca y posteriormente venciendo la resistencia del pueblo Caranqui se establecieron hacia el norte generándose otra agrupación B de *Echinopsis pachanoi* y por último la agrupación C que es contemporánea y no se relaciona con las sociedades prehispánicas por que la cultura Pasto no fue conquistada por los Incas quienes introdujeron la planta.

4.7. Aportes del estudio de *E. pachanoi* al conocimiento socio-ambiental de las cuencas hidrográficas

Según la distribución actual de *Echinopsis pachanoi* en base al mapa de vegetación del Ministerio del Ambiente y el modelo generado por MaxEnt se determinó que la vegetación con alta probabilidad de presencia de *Echinopsis pachanoi* es en Áreas Intervenidas (Inter01) por ser posiblemente una especie introducida a esta zona, cabe recalcar que posiblemente se ha adaptado a las condiciones naturales de formaciones vegetales del norte de los andes ecuatorianos y también presenta una alta probabilidad de presencia en vegetación de tipo Bosque y Arbustal semideciduo del norte de los Valles (BmMn01) que corresponde en otros tipos de clasificaciones de formaciones vegetales como: CES409.121 Bosques y arbustales xéricos interandinos montano bajos de los andes del norte (Josse et al., 2003 en Chinchero et al., 2013); por lo tanto *Echinopsis pachanoi*, planta perteneciente a la familia botánica Cactáceae, por su naturaleza y procesos erosivos tiende a adaptarse en vegetación xerofítica típica también del centro de origen de la especie.

La distribución actual de *Echinopsis pachanoi* más la relación de variables bioclimáticas con datos recabados en fuentes como el MAE y MAGAP, y a una escala de mayor detalle, en el programa MaxEnt permitió identificar lugares de distribución potencial que pueden ser útiles para aprovechar las características importantes de la especie en investigaciones futuras, modelación en la cual las variables vegetación y precipitación son las más predictivas.

Con los datos de distribución actual más registros históricos que relacionaban la presencia de *Echinopsis pachanoi* con las sociedades prehispánicas del norte de los andes se logró corroborar que *Echinopsis pachanoi* fue una planta muy utilizada por los Incas y además por los datos de la distribución actual en el norte de los andes ecuatorianos posiblemente esta planta fue introducida en mayor intensidad por la cultura Inca en el proceso de expansión del Tahuantinsuyo hacia las sociedades prehispánicas de esta zona, por lo cual su ubicación actual se relaciona con la ubicación histórica de territorios de las sociedades prehispánicas de los: Cayambis, Otavalos, Caranquis y Pastos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- En el norte de los andes ecuatorianos *Echinopsis pachanoi*, probablemente se ha adaptado a las condiciones naturales de vegetación de Bosque y Arbustal semideciduo del norte de los Valles BmMn01.
- Las cuencas hidrográficas ubicadas en el callejón interandino de los andes ecuatorianos del norte se caracterizan por presentar vegetación xerofítica zonas con altas probabilidades de presencia de *Echinopsis pachanoi*.
- *Echinopsis pachanoi* se distribuye actualmente en todas las capitales de provincia y localidades aledañas como planta ornamental, en la zona norte de los andes ecuatorianos.
- Según la distribución actual de *Echinopsis pachanoi* en el norte de los andes ecuatorianos se registró nuevos lugares de distribución en la provincia de Carchi lo cual constituye un aporte para la flora del Ecuador.
- Las pruebas de evaluación del modelo: prueba de importancia y contribución de variables (Jackknife), tasa de omisión y área predicha, área total bajo la curva (AUC), permitieron corroborar que el modelo propuesto para determinar áreas potenciales para *E. pachanoi*, es altamente confiable.

- Del conjunto de variables bioclimáticas sistematizadas en el modelo por MaxEnt, la variable precipitación y vegetación son las condicionales para predecir la distribución potencial de *Echinopsis pachanoi*.
- Las curvas de respuesta de las variables permitieron identificar los valores óptimos para el manejo de *Echinopsis pachanoi*: la temperatura media anual entre 12 a 19 °C, la altitud entre 1600 a 2700 msnm, el contenido de materia orgánica en el suelo entre las categorías no aplica a bajo, la precipitación media anual entre 300 a 900 mm, la textura del suelo *E. pachanoi* todas las texturas del suelo y vegetación de tipo Áreas Intervenidas (Inter01) y Bosque y Arbustal semidecíduo del norte de los Valles (BmMn01).
- La cuenca hidrográfica del Río San Juan ubicada en las estribaciones occidentales de la cordillera no presenta zonas aptas para el desarrollo de *Echinopsis pachanoi*.
- La distribución actual de *Echinopsis pachanoi* se relaciona con la ubicación histórica de las sociedades prehispánicas ecuatorianas debido a que esta planta probablemente fue introducida desde el sur de Ecuador inicialmente por mercaderes y posteriormente por la influencia de la cultura Inca.

5.2. Recomendaciones

- Teniendo en cuenta que la especie en estudio probablemente fue introducida en el norte de los andes ecuatorianos, se recomienda diseñar un nuevo modelo incluyendo variables de tipo antropológico, a fin comprobar la robustez del modelo.
- Estudiar los mecanismos de reproducción de *Echinopsis pachanoi* en el norte de los andes ecuatorianos, a fin de contar con información confiable para desarrollar programas de manejo y conservación de la especie.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

Acosta-Solis, M. (1968). *Divisiones fitogeográficas y formaciones geobotánicas del Ecuador*. Quito: Casa de la Cultura Ecuatoriana.

Amaya, E. 2009. “EL CULTIVO DE TUNA” *Opuntia ficus indica*. Gerencia Regional Agraria La Libertad, Trujillo-Perú. 18p.

Andes Septentrionales del Ecuador, (MAG, PRONAREG, ORSTOM), Quito, Banco Central del Ecuador, 274p.

Asamblea Nacional República del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador. Quito - Ecuador.

Athens, J. S. (1976). Informe preliminar sobre investigaciones arqueológicas realizadas en la Sierra Norte del Ecuador.

Baldwin, R. A. (2009). Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy*, 11(4), 854-866.

Benito, B., & Peñas, J. (2007). Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (7), 100-119.

Borja, A. D. (1992). Relación en suma de la doctrina y beneficio de Pimampiro y de las cosas notables que en ella hay, de la cual es beneficiado el padre Antonio Borja. *Relaciones Histórico Geográficas de la Audiencia de Quito*, 480-488.

Bravo Díaz, A. E. (2013). *Cuando los saberes se hacen audibles: la transmisión del conocimiento en el Ecuador del siglo XXI* (Master's thesis, Quito: FLACSO Sede Ecuador).

Busby, J. (1991). BIOCLIM-a bioclimate analysis and prediction system. *Plant protection quarterly* (Australia).

Caillavet, C. (2000). *Etnias del norte: Etnohistoria e historia del Ecuador*. Ediciones Abya Yala, Quito, Ecuador.

Carod-Artal, F. J. (2003). Síndromes neurológicos asociados con el consumo de plantas y hongos con componente tóxico (II). Hongos y plantas alucinógenos, micotoxinas y hierbas medicinales. *Rev Neurol*, 36(10), 951-60.

Chincheró, M. A., Santiana, J., Iglesias, J., & Neill, D. (2013). *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Ministerio del Ambiente del Ecuador. Quito.

Dillehay, T. D., & Netherly, P. (1998). *La frontera del estado inca*. Fundación Alexander von Humboldt.

Forero-Medina, G., Yusti-Muñoz, A. P., & CASTAÑO-MORA, O. V. (2014). Geographic distribution of the tortoises and freshwater turtles of Colombia and their representation in the protected area network. *Acta Biológica Colombiana*, 19(3), 415-426.

Echeverría, J. (2004). *Las sociedades prehispánicas de la sierra norte del Ecuador. Una aproximación arqueológica y antropológica*. Colección Otavalo en la Historia, Serie I. Perspectiva Histórica, 1.

García Vettorazzi, M. J., & Leonardo Manrique, R. (2016). Clasificación del hábitat potencial del tapir centroamericano (*Tapirus bairdii* Gill, 1865) para su conservación en Guatemala. *Therya*, 7(1), 107-121.

Gondard, P., & López, F. (1983). *Inventario arqueológico preliminar de los Andes septentrionales del Ecuador*.

Hofmann, A., & Schultes, R. E. (1982). *Plantas de los dioses. Fondo de cultura. México, México*.

INECC, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2009). *Nopal Verdura*. INECC.

- Jorgensen, P y León, S. (1999). Catalogue of the vascular plants of Ecuador. St. Louis, Missouri, U.S.A. Missouri Botanical Garden Press. ISBN: 0-915297-606
- Jurado, F., & Miguel, P. (1992). EL proceso de blanqueamiento en el ecuador: de los Puentes a los Egas.
- Knapp, G. (1981). El nicho ecológico llanura húmeda, en la economía prehistórica de los Andes de altura: Evidencia etnohistórica, geográfica y arqueológica.
- Kvist, L. P., & Moraes, M. (2006). Plantas psicoactivas. *Botánica Económica de los Andes Centrales*, 12, 294-312.
- Kumar, S., & Stohlgren, T. J. (2009). Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. *Journal of Ecology and natural Environment*, 1(4), 094-098.
- Landázuri, C. (1995). Los curacazgos pastos prehispánicos: agricultura y comercio, siglo XVI (Vol. 13). Instituto Otavaleño de Antropología.
- Lloré, I., Rodríguez, S. (2005). “Evaluación de Impactos Ambientales y Propuesta del Plan de Manejo Ambiental del Proyecto de Riego Ambuquí” Universidad Técnica del Norte Beltrán Ibarra – Ecuador.
- Loaiza, C. (2008). Distribución y estado poblacional de *Melocactus bellavistensis* (Caryophyllales: Cactaceae), con notas sobre su proceso de floración y ecología reproductiva en el valle de Catamayo, provincia de Loja.
- Loaiza, C. R., Aguirre, Z. H., & Jadán, O. (2009). Estado del conocimiento actual de la familia Cactaceae en el Ecuador. *Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas*, 6(3), 11-22.
- Loaiza, C. R., & Morrone, J. J. (2011). Análisis panbiogeográfico de algunas Cactaceae del Ecuador. *Gayana. Botánica*, 68(2), 220-225.
- Luciano, S. O. (1998). Arqueología de la Sierra Norte del Ecuador: Secuencia Cronológica y Perspectivas Regionales. Intercambio y comercio entre costa, andes y selva: arqueología y etnohistoria de suramérica, 87.
- Madsen, J. (1989). 45. Cactaceae. En Harling y Nordic *Journal of Botany* [distributor].
- Mateo, R. G., FELICÍSIMO, Á. M., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista chilena de historia natural*, 84(2), 217-240.

Miller, A. J., & Knouft, J. H. (2006). GIS-based characterization of the geographic distributions of wild and cultivated populations of the Mesoamerican fruit tree *Spondias purpurea* (Anacardiaceae). *American journal of botany*, 93(12), 1757-1767.

Ministerio de Agricultura y Ganadería – Ecuador. (2014). Programa de Incentivos para la Reforestación con Fines Comerciales.

Ministerio del Ambiente – Ecuador. (2013). Proyecto Mapa de Vegetación Del Ecuador.

Ministerio del Ambiente-Perú. (2013). El San Pedro” o “Achuma” El género *Echinopsis*, Taxonomía, distribución y comercio Informe de la Autoridad Científica CITES Perú.

Morales, J. (2014). Caranquis. Universidad Técnica del Norte

Moreno, S. (1988). Formaciones Políticas Tribales y Señoríos Étnicos. Nueva Historia del Ecuador. Vol 2. Epoca Aborigen 11: 9-134. Grijalbo. Quito.

Moreno, R., Zamora, R., Molina, J. R., Vasquez, A., & Herrera, M. Á. (2011). Predictive modeling of microhabitats for endemic birds in South Chilean temperate forests using Maximum entropy (Maxent). *Ecological Informatics*, 6(6), 364-370.

Naoki, K., Gómez, M. I., López, R. P., Meneses, R. I., & Vargas, J. (2006). Comparación de modelos de distribución de especies para predecir la distribución potencial de vida silvestre en Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 41(1), 65-78.

Naranjo Plutarco (2012). Mitos, Tradiciones y Plantas Alucinantes. Quito, Universidad Andina Simón Bolívar, Corporación Editora Nacional.

Naranjo Villavicencio, M. (2005). Carchi. Centro Interamericano de Artesanías y Artes Populares-CIDAP.

Orellana León, C. X. (2015). Escenarios Hidrológicos en la cuenca del río Guayllabamba: Modelación de caudales mínimos (Doctoral dissertation, Quito, 2015.).

Phillips, S. J. (2005). A brief tutorial on Maxent. *AT&T Research*.

Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3), 231-259.

Pliscoff, P., y Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, (48), 61-79.

Revelo Mera, V. E., Anacleto, T., & Mauricio, R. (2016). Escenarios hidrológicos en la cuenca del río Guayllabamba: Modelación de crecidas (Doctoral dissertation, Quito, 2016.).

Sánchez, C. V., Townsend, A., & Escalante, P. (2001). El modelado de la distribución de especies y la conservación de la diversidad biológica. Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad. H. Hernández, 359-379.

Scholte, R. G., Carvalho, O. S., Malone, J. B., Utzinger, J., & Vounatsou, P. (2012). Spatial distribution of *Biomphalaria* spp., the intermediate host snails of *Schistosoma mansoni*, in Brazil. *Geospatial health*, 6(3), 95-101.

Schuller, F. P. (1976). *La incursión inca en el septentrión andino ecuatoriano: antecedentes arqueológicos de la convulsiva situación de contacto cultural* (No. 2). Insto. Otavaleño de Antropología.

Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo - Senplades. (2013). Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017. Quito - Ecuador.

Sierra, M. (1999). *Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental*. Proyecto Inefan/Gef-Birf y Ecociencia.

Tartakowsky López, I. (2013). Usos terapéuticos de sustancias prohibidas: LSD, MDMA, THC, GHB, DMT, psilocybina y mescalina. *Cuad. méd.-soc.(Santiago de Chile)*, 53(2), 127-

Torres, R., & Jayat, J. P. (2010). Modelos predictivos de distribución para cuatro especies de mamíferos (Cingulata, Artiodactyla y Rodentia) típicas del Chaco en Argentina. *Mastozoología neotropical*, 17(2), 335-352.

Uribe, M. V. (1986). Etnohistoria de las comunidades andinas prehispánicas del sur de Colombia. *Anuario colombiano de historia social y de la cultura*, (13-14), 5-40.

Zhang, Y., Li, J., Lin, W., & Qiang, S. (2011). Prediction of potential distribution area of *Erigeron philadelphicus* in China based on MaxEnt model. *Ying yong sheng tai xue bao= The journal of applied ecology*, 22(11), 2970-2976.

Páginas Web

<http://www.panoramio.com/photo/83833113>, Pablo Diaz, Quito 2012
Gobierno Provincial del Carchi

<http://www.elcomercio.com/tendencias/rio-carchi-aliado-pastos.html>,
Benalcazar (2016)

<http://www.andes.info.ec/es/economia/dolar-es-moneda-comun-zona-rural-fronteriza-entre-ecuador-colombia.html>, Edison Guerrón 2013

<http://www.encyclopediadelecuador.com/geografia-del-ecuador/rio-carchi/>
(2017).

<http://www.dictionary.com/browse/entheogen>.

<http://www.missouribotanicalgarden.org/>

<http://bios.au.dk/forskning/faciliteter/herbarium/>

<https://www.youtube.com/watch?v=PY7GABBLuLE&list=PLFE1387B356919631>, Soberon J. (2012). Curso modelado de distribución. CONABIO. México.

<http://geoportal.agricultura.gob.ec/geonetwork/srv/spa/catalog.search?node=srv#/home>, 2002

<http://mapainteractivo.ambiente.gob.ec/>

Comunicaciones personales

Sr. Diego Chicaiza, febrero de 2015

Sr. Santiago Andrade, junio de 2015

Sr. Tuamary Lema, mayo de 2016

Sr. José Campo, mayo de 2016

ANEXOS

Anexo1. Ubicación de los registros de *Echinopsis pachanoi*

COORDENADAS WGS84 17S		Localidad	Provincia	Cuenca Hidrográfica
X	Y			
819809	10067001	La Concepción	Carchi	Río Mira
819719	10067152	La Concepción	Carchi	Río Mira
829037	10059278	La Portada	Carchi	Río Mira
829035	10059311	La Portada	Carchi	Río Mira
828976	10059622	Mira	Carchi	Río Mira
829740	10060236	Mira	Carchi	Río Mira
829466	10060693	Mira	Carchi	Río Mira
829509	10060610	Mira	Carchi	Río Mira
866399	10090677	Tulcán	Carchi	Río Carchi
865726	10089909	Tulcán	Carchi	Río Carchi
866707	10090916	Tulcán	Carchi	Río Carchi
867478	10091637	Tulcán	Carchi	Río Carchi
840663	10050918	Los Andes	Carchi	Río Mira
809687	10036349	Atuntaqui	Imbabura	Río Mira
809800	10036345	Atuntaqui	Imbabura	Río Mira
804068	10025197	Otavalo	Imbabura	Río Mira
804259	10033399	Cotacachi	Imbabura	Río Mira
804643	10034211	Cotacachi	Imbabura	Río Mira
820849	10039077	Ibarra	Imbabura	Río Mira
818868	10035449	Caranqui	Imbabura	Río Mira
818869	10035457	Caranqui	Imbabura	Río Mira
817891	10034503	Hacienda Chorlaví	Imbabura	Río Mira
815182	10037107	San Antonio	Imbabura	Río Mira
814985	10036696	San Antonio	Imbabura	Río Mira
815378	10036194	San Antonio	Imbabura	Río Mira
817674	10037632	Ibarra	Imbabura	Río Mira
824278	10022363	Hacienda Zuleta	Imbabura	Río Mira
820986	10039835	Ibarra	Imbabura	Río Mira
821271	10039801	Ibarra	Imbabura	Río Mira
821534	10040082	Ibarra	Imbabura	Río Mira
815238	10036631	San Antonio	Imbabura	Río Mira
816262	10037828	Chorlaví	Imbabura	Río Mira
817086	10039355	El Milagro	Imbabura	Río Mira
832709	10051014	Ambuquí	Imbabura	Río Mira
821563	10041951	Priorato	Imbabura	Río Mira
820322	10053868	Salinas	Imbabura	Río Mira

819434	10054989	Salinas	Imbabura	Río Mira
819424	10055015	Salinas	Imbabura	Río Mira
803869	10024501	Otavalo	Imbabura	Río Mira
805287	10026199	Otavalo	Imbabura	Río Mira
813051	10049826	Via San Carlos - Tumbabiro	Imbabura	Río Mira
824111	10039800	Yahuarcocha	Imbabura	Río Mira
812941	10051321	Tumbabiro	Imbabura	Río Mira
840656	10043741	Pimampiro	Imbabura	Río Mira
844900	10041821	Pimampiro (Chuga)	Imbabura	Río Mira
817645	10004890	Cayambe	Pichincha	Río Guayllabamba
799150	10004812	Hacienda Cochasqui	Pichincha	Río Guayllabamba
795868	10006240	Malchingui	Pichincha	Río Guayllabamba
795580	10005723	Malchingui	Pichincha	Río Guayllabamba
794731	10004397	Malchingui	Pichincha	Río Guayllabamba
802619	9995361	Santa Rosa de Cuzubamba	Pichincha	Río Guayllabamba
814986	9997239	Hacienda Guachala	Pichincha	Río Guayllabamba
814490	9999958	Mitad del mundo	Pichincha	Río Guayllabamba
795340	9993531	Guayllabamba	Pichincha	Río Guayllabamba
788920	10005256	Via Puellaró	Pichincha	Río Guayllabamba
789105	10007499	Puellaró	Pichincha	Río Guayllabamba
784186	10000123	San Antonio de Pichincha	Pichincha	Río Guayllabamba
784031	10000123	San Antonio de Pichincha	Pichincha	Río Guayllabamba
783505	10000092	San Antonio de Pichincha	Pichincha	Río Guayllabamba
784681	10000184	San Antonio de Pichincha	Pichincha	Río Guayllabamba
800778	9988075	El Quinche	Pichincha	Río Guayllabamba
804915	9997318	Otón	Pichincha	Río Guayllabamba
787836	9976257	Tumbaco	Pichincha	Río Guayllabamba

Fuente: La Autora