



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

**FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS**

**DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓGRAFO EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL**

**"IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS POTENCIALES PARA
REFORESTACIÓN CON *Nectandra acutifolia* (PACCHES)
MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN MODELO DE DISTRIBUCIÓN
DE ESPECIES, COMO ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN PARA
EL CORREDOR ECOLÓGICO DEL OSO ANDINO EN EL DISTRITO
METROPOLITANO DE QUITO"**

PAOLA NICOLE PARRA CURIMILMA

DIRECTOR: MTR. JORGE LUIS CAMPAÑA

QUITO, 2018

DEDICATORIA

Für unseren Brillenbär aus Quito, der meine Inspirationsquelle war.

*A ti, mi amiga y confidente, madre: por tus aciertos y perspicacia fugaz que llena mi vida
de luz.*

A mi padre: por haberme enseñado que el tiempo es oro y el oro es Dios.

A Julia Victoria Ch.: por ser mi ángel en la Tierra.

A Deifilia: por su corazón insaciable de nobleza.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación es fruto de la gratificante necesidad de conservar a la especie emblemática del Distrito Metropolitano de Quito, el oso andino. A propósito de lo cual, tuvo lugar la XV Conferencia Internacional de Osos, realizada entre el 12 y 17 de noviembre del 2017 en Quito.

Aprovecho la oportunidad para agradecer a la Secretaría de Ambiente del DMQ por los insumos facilitados para el desarrollo del presente estudio; y de manera especial, a la Dra. Justicia por los valiosos aportes y tiempo dedicado.

Agradezco sobremanera la confianza, comprensión, profesionalismo y desinteresado apoyo brindado por parte de Mtr. Jorge Luis Campaña, a quien me satisface nombrar por la dirección prestada a lo largo del presente estudio; y por su calidad humana.

De igual manera, extiendo mi gratitud a MSc. Armando Echeverría y Mtr. Alexandra Mena, cuyas recomendaciones delinearon los presentes resultados, y a la vez, por su mano amiga. Un profundo respeto y consideración al MSc. Lino Fernando Verduga, Salomé y Eli López, quienes fueron un eje fundamental a lo largo de estos cinco años en la Escuela de Ciencias Geográficas.

Finalmente, pero por ello no menos importante, agradezco a la música, la que ha puesto en mi camino a aquellos amigos sinceros, cuya alegría e inspiración sustentan cada minuto de esta vía, a la que he denominado vida.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.4. OBJETIVOS.....	6
1.5. MARCO TEÓRICO.....	7
CAPÍTULO II	40
2. ÁREA DE ESTUDIO.....	40
2.1. LOCALIZACIÓN DEL CORREDOR DEL OSO ANDINO EN EL DMQ.....	40
2.2. CARACTERIZACIÓN BIOGEOGRÁFICA.....	43
2.3. CARACTERIZACIÓN ECONÓMICA Y POBLACIONAL.....	47
CAPÍTULO III	52
3. METODOLOGÍA	52
3.1. IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS ELEGIBLES PARA REFORESTACIÓN SEGÚN EL CONCEPTO DE BOSQUE	54
3.2. ESTIMACIÓN DE ÁREAS CON ALTA PROBABILIDAD DE DISTRIBUCIÓN DE <i>NECTANDRA ACUTIFOLIA</i> CON BASE EN REGISTROS DE PRESENCIA	62
3.3. DESPLAZAMIENTO DEL OSO ANDINO EN EL CORREDOR ECOLÓGICO.....	92
3.4. PROPUESTA DE PRIORIZACIÓN DE ÁREAS POTENCIALES PARA REFORESTACIÓN CON PACCHES.....	103
CAPÍTULO IV	104
4. RESULTADOS.....	104
4.1. ÁREAS ELEGIBLES PARA REFORESTACIÓN CON PACCHES.....	104
4.2. MODELO PREDICTIVO DE DISTRIBUCIÓN DE <i>NECTANDRA ACUTIFOLIA</i>	111
4.3. MAPA DE COSTOS DE DESPLAZAMIENTO DEL OSO ANDINO.....	133

4.4. ZONIFICACIÓN Y CONECTIVIDAD DE ÁREAS POTENCIALES PARA REFORESTACIÓN CON PACCHES	134
4.5. PROPUESTA DE CATEGORÍAS DE USO DE SUELO RURAL PARA EL CORREDOR DEL OSO ANDINO EN FUNCIÓN DE CAPACIDAD DE ACOGIDA DEL TERRITORIO	142
CAPÍTULO V	182
5. DISCUSIÓN	182
5.1. Cumplimiento del Programa de Conservación del Oso Andino en el Noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito 2014-2019.....	182
5.2. Pérdida de hábitat de oso andino y conflicto oso-ser humano	185
CONCLUSIONES	188
BIBLIOGRAFÍA	190
ANEXOS	202

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de flujo de trabajo para la realización y validación de modelos de distribución de especies	10
Figura 2. Esquema operacional del modelamiento de distribución de especies.....	11
Figura 3. Dualidad de Hutchinson entre el espacio geográfico y ecológico	16
Figura 4. Diagrama BAM y consideraciones de distribución de especies	18
Figura 5. Error de transmisión de señales GPS y precisión horizontal a nivel de usuario	27
Figura 6. Cadena de manejo de información de colecciones de especies	30
Figura 7. Frutos, tronco y hojas de <i>Nectandra acutifolia</i>	36
Figura 8. Pirámide poblacional de las parroquias rurales en el CEOA.....	50
Figura 9. Marco metodológico.....	53
Figura 10. Características de las bandas en los sensores OLI y TIRS	55
Figura 11. Áreas de Movilidad de <i>Nectandra acutifolia</i>	65
Figura 12. Registros de presencia de <i>Nectandra acutifolia</i> en el Noroccidente de Pichincha.....	67
Figura 13. Transformación Geográfica	76
Figura 14. Representación de la matriz de confusión en la Curva ROC.....	88
Figura 15. Diferencias entre la Curva ROC normal y ROC Parcial.....	91
Figura 16. Superposición ponderada de covariables y su jerarquía de ponderación.....	101
Figura 17. Modelo Cartográfico automatizado de costos de desplazamiento de <i>Tremarctos ornatus</i>	102
Figura 18. Esquema de selección de áreas prioritarias para reforestación con Pacches	103
Figura 19. Porcentaje de unidades de bosque bajo conservación y/o protección en el Corredor Oso Andino.....	107
Figura 20. Diferencias espaciales: modelos 7, 1, y 6 en función de la fracción del área predicha (FPA).....	113
Figura 21. Diferencias espaciales: modelos 5 y 4 en función de la fracción del área predicha (FPA)	114

Figura 22. Diferencias espaciales: modelos 5, 3 y 2 en función de la fracción del área predicha (FPA)	116
Figura 23. Correlación de Pearson de las variables en el área de movilidad extendida.....	122
Figura 24. Correlación de Pearson de las variables en el área de movilidad restringida	123
Figura 25. Sistema de integración entre SIG y EMC	173
Figura 26. Modelamiento espacial para la integración de factores relevantes	174
Figura 27. Creación del modelo de decisión mediante ponderación de criterios.....	178

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estándares de precisión SPS Posición/Tiempo bajo “Selective Availability”	26
Tabla 2. Estándares de precisión SPS Posición/Tiempo omitiendo “Selective Availability”	27
Tabla 3. Sistema de áreas protegidas y bosques protectores enlazando hábitat entre R.E. Cotacachi-Cayapas y R.E. Los Illinizas para el oso andino	42
Tabla 4. Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental para el Corredor del Oso Andino	46
Tabla 5. Reconocimiento de parroquias de Quito (hoy consideradas parroquias rurales)	49
Tabla 6. Población a nivel parroquial por sexo	51
Tabla 7. Definición de bosque adoptada por los países de la región Andina	54
Tabla 8. Unidades de uso y cobertura vegetal para el año 2017	58
Tabla 9. Usos del suelo considerados como bosque y no-bosque	59
Tabla 10. Cambios de uso del suelo para la implementación de reforestación	61
Tabla 11. Diversidad biogeográfica del Ecuador continental	65
Tabla 12. Especificaciones técnicas del posicionador GPS	68
Tabla 13. Variables edafológicas, topográficas y climáticas a 30 metros de resolución.....	70
Tabla 14. Variables edafológicas generadas por Parra (2018) a 30 metros de resolución	71
Tabla 15. Matriz de confusión: confianza vs. significancia	87
Tabla 16. Localidades con registros de presencia de osos andinos	92
Tabla 17. Recaptura de 5 individuos de oso andino y distancias recorridas entre cámaras trampa	94
Tabla 18. Costo de desplazamiento del oso andino en función de distancias recorridas	95
Tabla 19. Costo de desplazamiento del oso andino en función de influencia de vías.....	95
Tabla 20. Costo de desplazamiento del Oso Andino en función de pendientes de terreno	96
Tabla 21. Costo de desplazamiento del Oso Andino en función de rangos de elevación	97
Tabla 22. Costo de desplazamiento del oso andino en función de disponibilidad de hábitat.....	98
Tabla 23. Costo de desplazamiento en función de clases texturales del suelo	99

Tabla 24. Reclasificación del modelamiento de Superposición ponderada de costos de desplazamiento.....	101
Tabla 25. Uso y cobertura vegetal para el año 2017	104
Tabla 26. Áreas clasificadas según concepto de bosque para el año 2017.....	105
Tabla 27. Unidades de bosque bajo conservación y/o protección en el Corredor Oso Andino	106
Tabla 28. Áreas elegibles para reforestación según el criterio de bosque.....	108
Tabla 29. Cambios de uso del suelo en tierras elegibles para reforestación	109
Tabla 30. Valores de regularización y umbrales aplicados a los modelos 7, 1 y 6	112
Tabla 31. Valores de regularización y umbrales aplicados a los modelos 5 y 4	114
Tabla 32. Valores de regularización y umbrales aplicados a los modelos 5, 3 y 2	115
Tabla 33. Parámetros de regularización introducidos en el software MaxEnt 4.0	116
Tabla 34. Contribución de las 22 variables en la ganancia del modelamiento y Prueba Jackknife (área de movilidad extendida).....	117
Tabla 35. Contribución de las 22 variables en la ganancia del modelamiento y Prueba Jackknife (área de movilidad restringida)	118
Tabla 36. Contribución de las 37 variables en la ganancia del modelamiento y Prueba Jackknife (área de movilidad experimental).....	120
Tabla 37. Variables relevantes para calibrar el modelamiento en las tres áreas de movilidad.....	124
Tabla 38. Estadísticos de evaluación de discriminación presencia/ausencia	126
Tabla 39. Valores de AUC y descripción del potencial discriminatorio de modelamiento	126
Tabla 40. Mejores réplicas – Resumen de Valores AUC y tasa de omisión de puntos de prueba	128
Tabla 41. Evaluación del desempeño y significancia estadística del modelamiento: AUC Parcial y valor “p”	129
Tabla 42. Áreas de distribución de <i>N. acutifolia</i> según ecosistema (Modelo 28)	132
Tabla 43. Porcentaje de ocupación de unidades categorizadas de desplazamiento del Oso Andino	133
Tabla 44. Áreas de distribución de <i>N. acutifolia</i> en función de áreas elegibles para reforestación	134
Tabla 45. Áreas prioritarias para reforestación con Pacches.....	135

Tabla 46. Zonificación de áreas prioritarias para reforestación con Pacches.....	138
Tabla 47. Zonificación de áreas prioritarias para reforestación con N. acutifolia y elementos estructurantes de conectividad en el Corredor Ecológico del Oso Andino	141
Tabla 48. Comparación de criterios MAE y MAGAP para selección de sitios de reforestación..	147
Tabla 49. Usos Principales del Suelo según el PUOS-DMQ en el Corredor del Oso Andino.....	151
Tabla 50. Uso Principal de suelo de Protección Ecológica/Conservación del Patrimonio Natural	153
Tabla 51. Asignación de tratamientos urbanísticos según la clasificación del suelo rural expuestos en la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo.....	158
Tabla 52. Comparación de Usos Principales del Suelo del PUOS-DMQ con la LOOTUGS, 2016	159
Tabla 53. Compatibilidad de Usos Principales del Suelo del PUOS-DMQ.....	160
Tabla 54. Aptitudes agrícolas del Corredor del Oso Andino	167
Tabla 55. Categorías para generación de conflictos de Uso del Suelo.....	168
Tabla 56. Categorías de esfuerzo de desplazamiento del oso andino.....	169
Tabla 57. Criterios para determinar actividades objeto de ordenación	170
Tabla 58. Valoración total de factores y limitantes	172
Tabla 59. Evaluación del criterio limitante “Relacionado con el Medio Natural”	175
Tabla 60. Evaluación del criterio o factor “Relacionado con el Modelo Locacional existente” ...	176
Tabla 61. Evaluación del criterio o factor “Relacionado con Características espaciales”	177
Tabla 62. Categorías de Uso del Suelo rural según Capacidad de acogida del Corredor Ecológico del Oso Andino-DMQ.....	180
Tabla 63. Porcentaje de superficies de Categorías de Uso de Suelo Rural	181

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Glosario.....	203
Anexo 2. Aptitudes agrícolas del Corredor Ecológico del Oso Andino.....	206
Anexo 3. Mapa No.01 “Mapa Base del Corredor Ecológico del Oso Andino”.....	207
Anexo 4. Mapa No.02 “Uso Actual del Suelo y Cobertura Vegetal al 2017”.....	208
Anexo 5. Mapa No.03 “Unidades de Bosque y No Bosque”.....	209
Anexo 6. Mapa No.04 “Áreas Elegibles para reforestación con <i>N. acutifolia</i> ”.....	210
Anexo 7. Mapa No.05 “Áreas de Distribución de <i>N. acutifolia</i> ”.....	211
Anexo 8. Mapa No.06 “Costos de Desplazamiento de <i>T. ornatus</i> ”.....	212
Anexo 9. Mapa No.07 “Áreas Prioritarias para reforestación con <i>N. acutifolia</i> ”.....	213
Anexo 10. Mapa No.08 “Zonificación de Áreas prioritarias para reforestación con <i>N. acutifolia</i> y elementos estructurantes de conectividad”.....	214
Anexo 11. Mapa No.09 “Categorías de Uso de Suelo Rural del Corredor Ecológico del Oso Andino”.....	215
Anexo 12. “Árbol de Problemas del Corredor Ecológico del Oso Andino”.....	216

RESUMEN

Identificar los patrones espacio-temporales de distribución de los seres vivos sobre el planeta es el punto central del estudio biogeográfico (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011). Frente a ello, la ecología del paisaje se enfoca en la afectación de la abundancia de especies a causa de las estructuras del paisaje y la distribución de los organismos (Turner & Gardner, 2015). Dos enfoques particulares de investigación en ecología espacial constituyeron la base del presente estudio: el análisis cuantitativo de patrones espaciales y las dinámicas de disturbio. En efecto, la conversión invasiva del hábitat original del oso andino a campos agrícolas y pecuarios se presenta como un disturbio que propicia una preocupante disminución de individuos por la cacería y muerte asociadas al mamífero (Goldstein, 2004). Como resultado, se incrementa el conflicto socio-ambiental producto de la depredación del oso a cultivos y ganado (Castellanos *et al.*, 2005; Castellanos *et al.*, 2016). Este ha sido el escenario que acoge actualmente a 40 individuos de oso andino dentro del Corredor Ecológico, localizado en el Noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), y creado en el 2013, cubriendo una extensión de 64.554 hectáreas. Observaciones directas entre el 2008 y 2009, así como trampeo con cámaras en el 2010, fue la base de un estudio poblacional que reportó 86 eventos de alimentación del mamífero con árboles de Pacche (*Nectandra acutifolia* R&P) en una superficie de 500 hectáreas reforestadas en la Reserva Maquipucuna (Molina, 2012a).

Este importante patrón de alimentación, hasta la fecha no reportado, forma parte de la primera línea de acción del Programa de Conservación del Oso Andino que debe ser implementado en el período 2014- 2019 por la Secretaría del Ambiente-DMQ. Los resultados de actividades fijadas por dicho programa en el corredor ecológico esperan: identificar áreas de potencial uso alimenticio con Pacches, áreas que reconecten remanentes de bosque natural que son hábitat del oso andino, áreas que favorezcan y pongan en riesgo la sobrevivencia del mamífero; y, una zonificación que establezca áreas de producción agropecuaria y de protección de la vida silvestre (Secretaría de Ambiente-DMQ, 2014). El presente estudio abordó cuatro actividades propuestas en la línea de investigación y monitoreo que da cumplimiento al Programa de Conservación del Oso Andino en el DMQ. En primer lugar, se estimó que el 26,92% del corredor presenta áreas potenciales para reforestación con *N. acutifolia* mediante un modelamiento predictivo de distribución utilizando el software MaxEnt 4.0. (Phillips *et al.*, 2006). Se generaron 30 modelamientos distintos, los cuales fueron sometidos a evaluaciones estadísticas de desempeño, resultando un valor de AUC parcial de 1,98 para el mejor modelamiento; y, una tasa de omisión de puntos de prueba < 0,001. Tal confiabilidad se alcanzó, al evitar errores de comisión utilizando un umbral de corte “Maximum training sensitivity plus

specificity” (Moscoso *et al.*, 2013). Sobre la base de áreas potenciales para reforestación, se establecieron elementos estructurantes de conectividad entre el 65% de remanentes de bosque existentes actualmente. Además, se identificó que el 20,3% del corredor presenta algunas y severas limitaciones para el normal desplazamiento del mamífero. Finalmente, la metodología de capacidad de acogida del territorio fue aplicada para establecer cinco categorías de uso de suelo rural para conservación y manejo sustentable del patrimonio natural, ya que tan solo el 10,3% del área en estudio presenta aptitud agrícola, capaz de sustentar cultivos de manera natural.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El uso generalizado de los Sistemas de Información Geográfica y el avance de técnicas estadísticas, aplicadas en los últimos años, han hecho posible el desarrollo de métodos y herramientas para el análisis de los patrones espaciales de presencia y ausencia de especies; este es el caso de los modelos de distribución de especies (Mateo et al., 2011).

El objetivo de estos métodos de modelación es predecir la idoneidad del medio ambiental para especies de flora y fauna, en función de su nicho ecológico (Phillips *et al.*, 2008); es decir, modelar permite establecer una correspondencia entre el espacio geográfico y el espacio de nicho, el cual es abstracto y multidimensional en función de los valores de las variables ambientales (geológicas, topográficas o climáticas) que lo describen. Por lo tanto, los modelos de distribución de especies son representaciones cartográficas de la idoneidad de un espacio para la presencia de una especie en relación a las variables que se emplearon para generar tal representación (Mateo *et al.*, 2011).

En la actualidad, la abundancia de datos de presencia de especies, el acceso a datos de coberturas climáticas mundiales (Hijmans *et al.*, 2005) y la existencia de amplio número de paquetes computacionales, ha facilitado tal modelización hacia escenarios actuales y futuros; así como, la apertura a un gran número de aplicaciones. Uno de los campos de aplicación es la protección y conservación de especies amenazadas (Godown & Peterson 2000, Benito De Pando & Peñas De Giles 2007, Parviainen *et al.*, 2008; Parviainen et al. 2009, Williams et al. 2009), tal como lo menciona Mateo y colaboradores (2011).

En relación a este campo de aplicación y con el afán de proteger, conservar y manejar el Patrimonio Natural del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), la Secretaría de Ambiente del DMQ ha declarado bajo protección a cinco áreas metropolitanas y ha establecido un corredor ecológico. El oso andino es una de las especies bajo amenaza y forma parte del Patrimonio Natural del DMQ. Por tal motivo, entre los años 2008 a 2010, Molina (2012a) realizó la investigación “Análisis preliminar del tamaño, estructura poblacional y amenazas del oso andino al noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito”. Este estudio realizado a partir del trampeo con cámaras (Noviembre, 2009

y Mayo, 2010) y observación directa (Febrero-Marzo, 2008 y Agosto-Octubre, 2009), estimó poblaciones de osos andinos en gran parte del Bosque Protector “Cuenca Alta del Río Guayllabamba” y Reserva “Maquipucuna”, presentando el registro de 60 osos en todos los estados de crecimiento y sexo. Es importante resaltar que, partiendo de este registro, 25 osos fueron registrados en 30 horas de observación directa, divididas en 86 eventos de alimentación con árboles de Pacche (*Nectandra acutifolia*) en un parche restaurado y reforestado de 500 hectáreas dentro de la reserva Maquipucuna, evidenciando un patrón de alimentación hasta ahora no reportado (Molina, 2012^a; Justicia, com. per.).

Los resultados de este hallazgo fueron la base para que el 10 de Julio del 2013, mediante Resolución No.431 del Consejo Metropolitano de Quito, se creara el Corredor Ecológico del Oso Andino en el noroccidente del DMQ con una extensión de 64 554 hectáreas y se declarara a *Tremarctos ornatus* como especie de la fauna emblemática de Quito (Resolución No.C349, 2012) (Molina, 2012b). La región noroccidental del DMQ, a su vez, se halla inmersa en el “Chocó Andino” donde existen las más altas tasas de biodiversidad y endemismo en una zona crítica para la conservación debido a la fragmentación de bosques montano y nublado, avance de la frontera agrícola, presencia de carreteras y gran incidencia de conflictos con comunidades campesinas que amenazan al oso andino (Justicia, 2007).

Para sumar esfuerzos de consolidación del Corredor del Oso Andino, la Secretaría del Ambiente del DMQ ha establecido el “Programa de Conservación del Oso Andino 2014-2019” cuyo objetivo es la ejecución de proyectos y actividades alineadas a la Estrategia Nacional de Conservación del Oso Andino 2010-2025 (Castellanos et al., 2010). Otro de los objetivos del programa es garantizar la supervivencia de *Tremarctos ornatus*, de otras especies con las que co-habita y la conservación de los ecosistemas naturales remanentes. A pesar de la importante gestión realizada por el Municipio de Quito, existen amenazas latentes en el corredor y su área de influencia, que están relacionadas con la falta de conectividad entre remanentes naturales de bosque a raíz del uso desordenado del suelo. Estos aspectos se convierten en un limitante para salvaguardar de la extinción a la especie emblemática del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ).

En el marco del Programa de Conservación del Oso Andino, la Secretaría de Ambiente, Fondo Ambiental y la Universidad San Francisco de Quito-ECOLAP iniciaron en el 2014 el proyecto “Estudio preliminar sobre la variabilidad genética del oso andino al noroccidente del DMQ, y monitoreo participativo de la población de osos identificada en el corredor ecológico”, cuya finalidad es avalar científicamente la creación del corredor ecológico. A partir de estos estudios de diversidad y salud genética en poblaciones críticas, se ha logrado puntualizar la necesidad de incentivar la dispersión y el flujo genético entre individuos de sub poblaciones, a través de la implementación de

distintas actividades de investigación y conservación que contribuyan al manejo de la especie y su hábitat (Secretaría de Ambiente-DMQ, 2014).

En lo que respecta a la preocupación por el manejo del oso andino y su hábitat asociado, una actividad puntual es atender sus necesidades alimenticias y de movimiento. Se conoce que un oso necesita más de 1.000 hectáreas al año de bosque maduro para proveerse de recursos alimenticios (El Telégrafo, 2016). En vista de esta necesidad y ya que el bosque no siempre está productivo, es clave la identificación de áreas potenciales de distribución de especies arbóreas que son alimento para el mamífero, y de esta manera, asegurar la supervivencia de esta especie amenazada a lo largo del Corredor Ecológico del Oso Andino en el Distrito Metropolitano de Quito.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El oso andino u oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*) es el único miembro de la familia *Ursidae* que ha habitado Sudamérica por más de dos millones de años y el único representante vivo de la subfamilia *Tremarctinae* (Castellanos *et al.*, 2010). Su rango de distribución abarca varios gradientes altitudinales en las cordilleras oriental y occidental de los Andes del Ecuador. Su principal refugio constituyen los bosques nublados de la Cordillera Oriental de los Andes entre los 500 y 2700 m.s.n.m, en donde se ha reportado aproximadamente el 85% de su población. Contrariamente, en el occidente de la cordillera andina, la conservación del Oso de Anteojos se ve amenazada por la fragmentación y reducción de bosques y páramos. En efecto, en Pichincha, se ha reportado una tasa de deforestación entre el 2008 y 2014 de 480 ha/año (Ministerio del Ambiente, 2014). Según estimaciones de la UICN (2008), si se mantiene el ritmo de pérdida del hábitat boscoso y cacería del oso andino, la especie podría llegar a la extinción en los próximos 30 años (Castellanos *et al.*, 2010).

El estatus de la población del oso andino es vulnerable (A4cd) (VU, por sus siglas en inglés) según la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, versión 3,1). La conversión de su hábitat original a campos agrícolas es el principal incidente en la disminución de individuos de *Tremarctos ornatus* por la cacería y muerte asociadas a la especie (Goldstein, 2004). El oso andino también se enlista en el Apéndice I de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) debido a la cacería furtiva y comercialización de las partes del cuerpo del mamífero (CITES, 2017). Específicamente en el Corredor del Oso Andino en el Distrito Metropolitano de Quito, desde el 2007 se han identificado 37 osos y se presume que algunos han muerto por causas naturales y antropogénicas, considerando al 2012 una población de 25 osos (Molina, 2012a).

En el Ecuador se han identificado 24 núcleos poblados por osos, ocupando aproximadamente 58.000 km² de páramo, bosque montano y bosque nublado; todos los cuales recaen en al menos 15 áreas protegidas declaradas por el Ministerio de Ambiente del Ecuador (Cotacachi-Cayapas, Cayambe-Coca, Antisana, Sangay, Podocarpus, y Bosques Protectores del Noroccidente de Pichincha como la Reserva Maquipucuna, Cambugán, Bellavista, entre otros) (García & Suárez, 1986). Lamentablemente, varios de estos núcleos de hábitat resultan insuficientes para albergar poblaciones viables de osos andinos. La fragmentación de su hábitat original debido a la expansión de actividades antrópicas-agrícolas y el aislamiento de sus poblaciones por la apertura de carreteras, dan como resultado una diversidad genética baja en su rango de distribución en el Ecuador (Castellanos *et al.*, 2010). En el noroccidente de Pichincha, la carretera Calacalí-Nanegalito-La Independencia se convierte en una barrera para el normal desplazamiento y conexión entre poblaciones de osos y varios mamíferos que ponen en peligro su vida al cruzarla (Terra Incógnita, 2014).

Colateralmente, el establecimiento de cultivos en áreas habitadas por *Tremarctos ornatus* provoca que el mamífero deprede los cultivos y, como respuesta, los agricultores incrementen la caza furtiva y matanza del oso. También existen reportes de depredación al ganado hecho por osos andinos; por ejemplo, el ataque ocurrido en Chaupiloma-Oyacachi, en septiembre 2003. Generalmente, su principal fuente de alimentación son los frutos de árboles de *Ficus spp.*, *Nectandra spp.* y *Mycianthes spp.* (Castellanos *et al.*, 2016); pero estos constituyen fuentes de alimento estacional provocando grandes desplazamientos del mamífero y modificando la vegetación que se halla en su zona de influencia ya que el Oso de Anteojos cumple el rol de dispersor de semillas (Peyton, 1999). Debido a su amplio rango de distribución, el mamífero se establece como especie paraguas, pues se estima que dentro del 3,2% de su rango de distribución en Sudamérica, se encuentra el 76% de todas las especies de mamíferos del continente.

Al hablar del hábitat asociado al oso andino en el DMQ, es preciso señalar que los bosques localizados por encima de los 1.600 m.s.n.m. representan los mayores porcentajes de cobertura vegetal, facilitando la conectividad entre remanentes naturales y, corresponden a la parte alta de la Reserva Maquipucuna y otras propiedades privadas pequeñas (Molina, 2012a). Contrariamente, ya que las áreas ubicadas entre los 1200 y 1600 m.s.n.m. han sufrido el mayor impacto de deforestación, estas se convierten en áreas potenciales para la introducción de especies nativas de árboles de Pacche (*Nectandra acutifolia*), dando atención al patrón estacional de alimentación hallado por Molina (2012a) para los 25 individuos de oso andino identificados en el corredor. Los frutos de estos árboles contienen los requerimientos de lípidos y grasas necesarios en la dieta de *Tremarctos ornatus*, y su tallo maderable es utilizado en la construcción de viviendas para encofrados y embalajes (Balslev *et al.*, 2008). Estudios de ejemplares de *Nectandra spp.* están siendo analizados actualmente en el

Herbario QCA con el fin de corroborar su utilidad como especie maderable (Justicia, R., Fundación Maquipucuna, com. per. 2017).

Teniendo como evidencia el patrón de alimentación con Pacches identificado para el oso andino en el DMQ, su rol de dispersor de semillas y a la fragmentación de su hábitat, la presente investigación busca hacer uso del método de modelamiento de distribución de especies (SDM, por sus siglas en inglés) para predecir la ubicación en el Corredor del Oso Andino de las áreas ambientalmente idóneas para la distribución espacial de *Nectandra acutifolia* como fuente de alimento estacional importante en la ecología de los osos andinos (Molina, 2012a; Justicia, com.per.).

Los resultados de esta investigación, permitirán desarrollar a largo plazo alternativas productivas sustentables que armonicen beneficios ecológicos y económicos para poblaciones humanas utilizando Pacches (Molina, 2012b). En efecto, el aprovechamiento de árboles del género *Nectandra* minimiza la destrucción indiscriminada del bosque andino donde habita el mamífero, lo cual se enmarca en el Programa de Conservación del Oso Andino en el DMQ, dentro de su objetivo 4 “Promover la aplicación de alternativas de aprovechamiento y desarrollo sustentable de la tierra compatibles con la conservación del oso andino y la vida silvestre local a fin de reducir las presiones que afectan a las especies, establecer un estilo de vida armónico y responsable con el entorno natural y mejorar la economía de los habitantes locales” (Secretaría de Ambiente-DMQ, 2014).

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El estatus de conservación del oso andino en el DMQ exige soluciones técnicas con base científica que amplíen y fortalezcan un hábitat idóneo para la especie y que establezcan alternativas productivas que mejoren la calidad de vida de actores locales con miras a reducir presiones sobre el mamífero y dar valor agregado a su hábitat asociado. A pesar de que el Corredor del Oso Andino se establece como un área valiosa de presencia de la especie, también presenta limitaciones para su viabilidad y persistencia, especialmente en zonas donde el oso andino se alimenta y moviliza. Estas limitaciones surgen de la existencia de una matriz de paisaje antropizada, la falta de planificación y control sobre el uso del suelo, tráfico de tierras a lo largo del corredor por deficiencias en el catastro predial del DMQ, falta de organización cooperativa de pobladores y desconocimiento de prácticas sustentables de aprovechamiento del suelo productivo (Justicia, 2007; Justicia, com. per.).

A estas limitaciones se suman actividades que han generado conflictos oso-hombre poniendo en peligro su supervivencia y las de otras especies animales; por ejemplo, la caza y matanza de osos para fines medicinales (uso de su grasa), la destrucción propiciada por osos en cultivos de maíz y cañaverales en las comunidades de Yunguilla, Nanegal, Curipogyo y Marianitas, la extracción

maderera no sostenible en el Noroccidente del DMQ y la caza de subsistencia de carne de monte (Molina, 2012b). Las áreas donde este tipo de conflictos se intensifican merecen estrategias de manejo con fines de conservación del mamífero y reducción de presiones sobre su hábitat.

En respuesta a los requerimientos vitales de *Tremarctos ornatus* y las condiciones geográficas del Corredor del Oso Andino, el presente estudio de disertación busca localizar las áreas más favorables para reforestar con árboles de Pacches (*Nectandra acutifolia*) mediante la aplicación de un modelo de distribución de especies y el análisis multitemporal de cambio de uso del suelo enfocado en el menor costo de movilización de osos y que cumpla con variables climáticas, edáficas y de presión antrópica que, a su vez, satisfagan los requerimientos de nicho de los Pacches. El modelamiento de máxima entropía para distribución de especies, a través del software Maxent, es el modelo a utilizarse y, en efecto, estima distribuciones de probabilidad de máxima entropía para la especie *Nectandra acutifolia*, de la que se alimenta el oso andino. Este procedimiento lo realiza con base en datos de presencia de la especie y se sujeta a las variables o limitaciones provenientes de la información ambiental y otras fuentes (Philips & Dudík, 2008). Además se utilizan técnicas de análisis espacial y herramientas de álgebra de mapas incorporadas en el Software ArcGIS 10.3 (ESRI, 2013).

Con el fin de elaborar el análisis técnico de la presente disertación se plantea la siguiente pregunta central de investigación:

¿Cuáles son las áreas más idóneas para la distribución potencial actual de *Nectandra acutifolia* en el Corredor Ecológico del DMQ, que permitan la reforestación del hábitat del oso andino como aporte para la conservación de la especie amenazada?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Identificar áreas potenciales para reforestar el hábitat del oso andino en el Corredor Ecológico del Distrito Metropolitano de Quito, mediante la aplicación de un modelamiento de distribución de *Nectandra acutifolia*, en función del análisis multitemporal de cambio de uso de suelo y puntos de monitoreo del oso andino, como aporte para la conservación de la especie.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar áreas elegibles para reforestación a través de un análisis de cambio de uso del suelo en dos años diferentes (período 2001-2017) aplicando el concepto de bosque adoptado por el Ecuador en la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático
- Estimar las áreas con alta probabilidad de distribución de *Nectandra acutifolia* con base en datos de presencia de las especies
- Zonificar y priorizar las áreas con mayor potencial de reforestación con Pacches en función de los criterios de elegibilidad, distribución de *N. acutifolia* y esfuerzo de desplazamiento del oso andino en el corredor ecológico
- Establecer una propuesta de categorías de uso de suelo rural para el Corredor del Oso Andino en función de capacidad de acogida del territorio

1.5. MARCO TEÓRICO

1.5.1. Biogeografía

Identificar los patrones espaciales y temporales de la distribución de los seres vivos sobre el planeta ha sido desde sus inicios el centro del estudio de la biogeografía (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011). Se considera a la biogeografía como una rama de la Geografía física cuyo objeto de estudio es la documentación y análisis de la distribución de especies y biotas sobre la Tierra. Basada en recopilación a lo largo de siglos de información en colecciones de historia natural, esta ciencia busca entender y explicar cómo y por qué los seres vivos se distribuyen en el espacio y el tiempo. Por lo tanto, la unidad fundamental del estudio biogeográfico es la distribución de los organismos, y por su naturaleza, constituyen una herramienta clave para el manejo y conservación de la biodiversidad (Ehrlen & Morris, 2013). Sin embargo, la presión sobre la biodiversidad se ha visto comprometida a lo largo de los años por la creciente actividad humana, la degradación acelerada de ecosistemas naturales y extinción de especies, la deforestación, actividades extractivas descontroladas, especies invasoras, contaminación, entre otros.

A todo este escenario se agregan los recientes impactos del cambio climático global. Parte de estos impactos han originado alteraciones ecológicas en la biodiversidad. Dichos impactos actúan a todos los niveles de organización biológica (desde poblaciones hasta biomas), y a escalas espaciales o temporales, incluyendo cambios en la distribución de las especies. Estos últimos cambios afectan al objeto del estudio biogeográfico, y para asumir este reto, surge la necesidad de desarrollar técnicas

analíticas que posibiliten evaluar la distribución real, potencial y futura de la biodiversidad, para establecer actividades de manejo, protección y conservación (Timaná & Cuentas-Romero, 2015).

1.5.2. Ecología del paisaje y Sistemas de Información Geográfica

La ecología del paisaje enfatiza aquella interacción entre patrones espaciales y procesos ecológicos, o lo que es lo mismo, las causas y consecuencias de la heterogeneidad espacial a lo largo de una amplia gama de escalas. La heterogeneidad, vista como la complejidad o variabilidad en las propiedades de un sistema de interés en el espacio y tiempo, tiene un enfoque explícito gracias a la disponibilidad de métodos de análisis de datos espaciales, una vez que se ha comprendido al paisaje como un área espacialmente heterogénea y aplicable a diferentes escalas. Por tal motivo, la ecología del paisaje permite la comprensión de la interacción recíproca entre la heterogeneidad espacial y los procesos ecológicos que son definidos por organismos (Turner & Gardner, 2015).

Esta subdisciplina, introducida inicialmente en 1939 por el biogeógrafo Carl Troll, combina el enfoque espacial de la geografía y el enfoque funcional de la ecología (Turner & Gardner, 2015). Además, esta se enfoca en el análisis de la afectación de la abundancia de especies en función de las estructuras del paisaje y la distribución de los organismos, de tal forma que los patrones constituyen las estructuras espaciales de un determinado paisaje, y los procesos son netamente ecológicos. Es decir, la ecología del paisaje se enfoca en la importancia de mantener la heterogeneidad espacial de las estructuras del paisaje con el afán de asegurar la continuidad de los procesos ecológicos.

De los análisis realizados en ecología espacial, se rescata que los patrones del paisaje resultan de complejas relaciones entre múltiples factores bióticos y abióticos que muchas veces son conocidos. Por ejemplo, entre los factores abióticos se incluye el clima, el cual controla patrones de distribución biogeográfica de organismos; y por otro lado, los accidentes geográficos que producen patrones de desarrollo y cambio morfológico del suelo. Además, los factores bióticos generan interacciones de competencia, predación y roles clave en los ecosistemas; los cuales interactúan con el medio abiótico formando patrones espaciales del paisaje (Turner, 2005; Turner & Gardner, 2015).

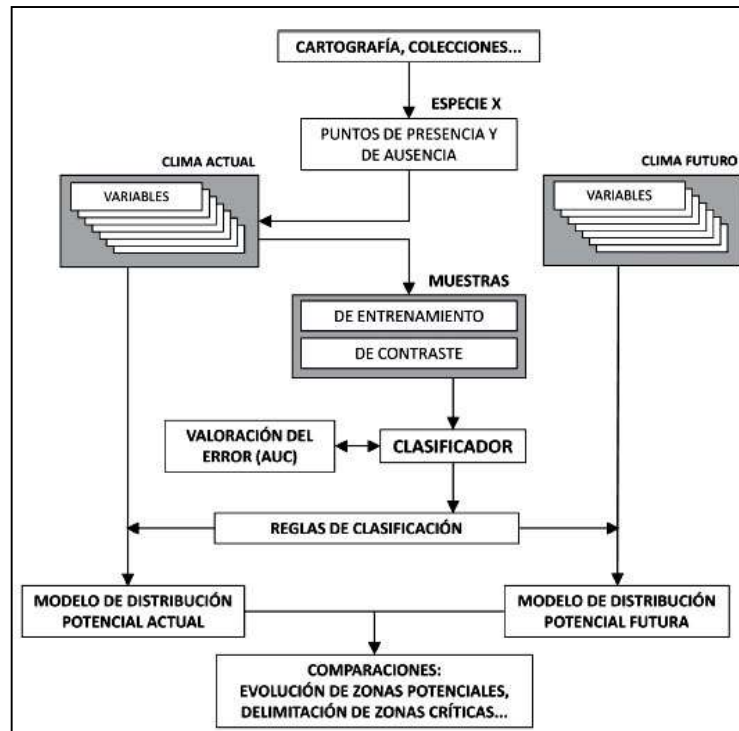
Dos enfoques particulares de investigación en ecología espacial son imprescindibles en el desarrollo de la presente disertación. Estos se refieren al análisis cuantitativo de patrones espaciales y de dinámicas de disturbio. Para medir los patrones del paisaje se deben construir indicadores de la estructura del paisaje que pueden ser fácilmente calculados con el uso de software, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica, técnicas de sensoramiento remoto y bases de datos globales de libre acceso o registros históricos (Kupfer, 2012).

1.5.3. Modelos de distribución de especies

Los modelos de distribución de especies (SDMs, por sus siglas en inglés) se han convertido en un componente principal para la toma de decisiones en cuanto a manejo de recursos y zonificación del territorio enmarcados en la *planificación para la conservación* (Syphard & Franklin, 2009). Los modelos de distribución de especies representan un espacio geográfico idóneo de acuerdo al análisis de las condiciones ambientales de los sitios con presencias conocidas de especies de flora y fauna. La generación de un modelo de distribución de especies se fundamenta en la búsqueda de una relación estadística o matemática entre los datos disponibles sobre la distribución geográfica de una especie y diferentes variables que describen las condiciones ambientales (temperatura, precipitación, tipo de suelo, entre otras) en las que vive este organismos. Finalmente, dicha relación estadística se extrapola a todo el área de estudio del problema de investigación (Mateo *et al.*, 2011).

Según Mateo y colaboradores (2011), la construcción de modelos de distribución de especies es un proceso de clasificación (Guisan & Zimmermann 2000), en donde la variable dependiente es dicotómica (presencia/ ausencia) y las independientes pueden ser cuantitativas (e.g., temperatura o elevación) o nominales (e.g., litología o uso del suelo). Los métodos clasificadores aplicados deben generar un valor numérico para cada punto del terreno. Cada valor numérico señala la idoneidad de ocurrencia de la especie de acuerdo a los valores espaciales de las variables independientes. La figura 1 señala los pasos requeridos en la construcción de modelos de distribución de especies. En un primer paso, los datos conocidos sobre la distribución del organismo se asocian matemática o estadísticamente con diferentes variables independientes que describen las condiciones ambientales. De existir esta relación, se extrapola al resto del área de estudio y se obtiene un valor para cada lugar, el cual suele interpretarse como la probabilidad de presencia de la especie en ese punto.

Figura 1. Esquema de flujo de trabajo para la realización y validación de modelos de distribución de especies

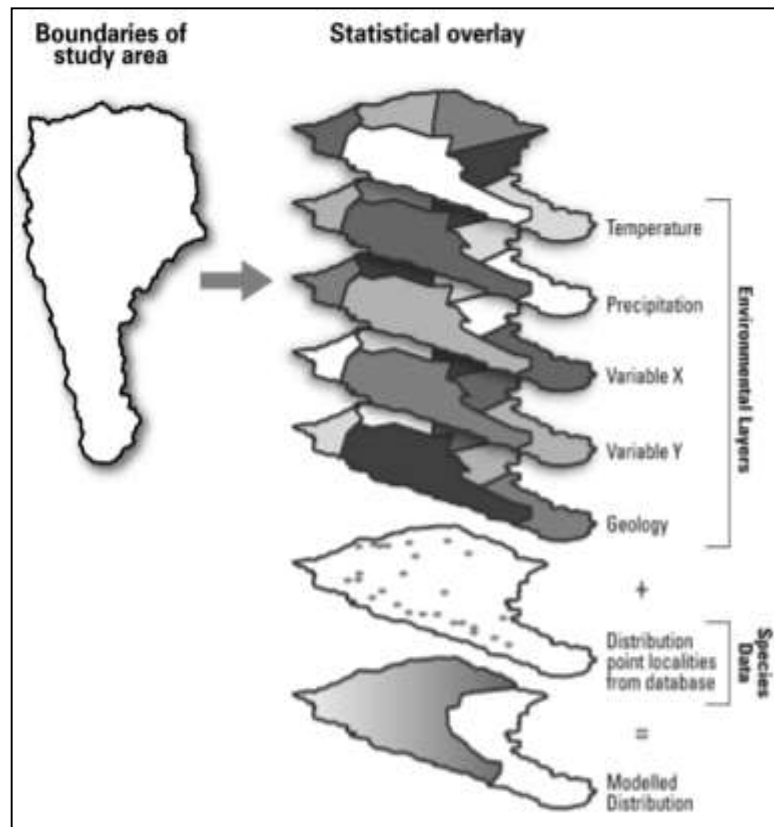


Fuente: Mateo, Felicísimo y Muñoz, 2011

Los diferentes modelos de distribución de especies, por su parte, se ven influenciados en su desempeño por la selección e importancia asignada a las variables ambientales y antrópicas que utilizan. La evaluación de estos modelos se ha abordado con métricas como el área bajo la curva (AUC), la cual es particularmente útil pues tiene la habilidad de discriminar entre dos casos: ausencia o presencia de la especie, lo cual determina la precisión del modelo de distribución aplicado (Syphard & Franklin, 2009).

El resultado de un modelo de distribución de especies produce valores de predicción que son asignados a cada celda (e.g., en una estructura de almacenamiento ráster) estableciendo una probabilidad de presencia de la especie representada por valores continuos. Para que tales valores se conviertan en predicciones binarias se aplican umbrales, los cuales pueden tener una capacidad de predicción correcta o incorrecta. En atención a esta variación de umbrales se genera una denominada matriz de confusión (ver Tabla 15) (Peterson *et al.*, 2008; Cerda & Cifuentes, 2012; Hernández-González, 2007).

Figura 2. Esquema operacional del modelamiento de distribución de especies



Fuente: Peterson *et al.*, 2005

1.5.4. Modelamiento de nicho ecológico y su alcance

Estudios que utilizan el enfoque de modelamiento de nicho ecológico (MNE), para predecir la distribución geográfica de especies, asumen que las especies pueden responder individualmente a cambios en las condiciones climáticas de su entorno. Sin embargo, no solo las condiciones climáticas influyen en la distribución de especies, también son importantes el rol de las comunidades de diferentes especies y las interacciones bióticas entre individuos. Frente a estas consideraciones, la técnica de modelamiento basado en nicho ecológico usa información de registros de especies y factores ambientales para generar funciones estadísticas que predigan hábitat potencial idóneo donde una especie en estudio pueda distribuirse. La extrapolación realizada por las funciones estadísticas indica el espacio, conformado por factores ambientales, donde las especies no han sido identificadas pero que pueden ser idóneos para su distribución. Por lo tanto, el MNE es un método costo-efectivo para mapear distribuciones de especies a baja resolución espacial (e.g., un nivel de detalle de las variables climáticas capaz de cubrir amplias regiones del globo terrestre) (Brotons *et al.*, 2004). Es decir, las condiciones de nicho ecológico de una especie son extrapoladas para conseguir un modelo

de distribución de especies. Sin embargo, a menudo se conciben como sinónimos los términos “modelamiento de nicho ecológico” y “modelamiento de distribución de especies”. Su concepción debería diferenciarse pues el primer término indica el enfoque utilizado para conseguir un modelo, mientras que el segundo término engloba al conjunto de técnicas utilizadas para predecir la distribución de especies.

Otra de las consideraciones del enfoque de modelamiento de nicho es el efecto que tienen, a diferentes escalas (e.g., micro o macroecológicas), las interacciones bióticas y los factores abióticos sobre las poblaciones y las especies. Consecuentemente, la distribución de hábitats particulares puede ser reconstruida a escalas más amplias (menor nivel de detalle) haciendo uso únicamente de variables ambientales independientes del comportamiento de las especies porque son continuas en el espacio geográfico (Rojas-Soto *et al.*, 2012). Dicho de otro modo, las variables que dependen del comportamiento de especies también son predictoras de distribución de especies, pero actúan a escalas locales y no indican un comportamiento continuo capaz de ser medido y considerado para extrapolar las condiciones de nicho fundamental para una especie.

Contribuyendo a esta premisa, se torna de gran utilidad la aplicación de algoritmos computacionales ampliamente evaluados a partir de condiciones de idoneidad ambiental y condiciones bióticas inherentes a cada especie. El principio que rige el modelamiento de nicho es la descripción de las relaciones actuales de distribución geográfica de una especie y múltiples variables ambientales que caracterizan su espacio de ocupación (Peterson *et al.*, 2005). Finalmente, el modelamiento de nicho se enfoca en el espacio abstracto N-dimensional de factores ecológicos que permiten la persistencia de una especie (Hutchinson, 1957).

1.5.5. La “dualidad de Hutchinson” y Diagrama BAM

1.5.5.1. Nicho ecológico y área de movilidad de las especies

Barve y colaboradores (2011) insisten en la existencia de un fuerte marco conceptual y empírico que justifica la selección de un área de estudio, sobre la cual, el enfoque de modelamiento de nicho ecológico proyecte resultados de alto desempeño para estimar áreas de distribución de especies. Es decir, el área de estudio es importante, pues representa el área que ha sido accesible para determinada especie a lo largo de períodos de tiempo relevantes en su historia evolutiva y ecológica. Esta área es conocida como el componente “M” dentro del Diagrama BAM y abarca el conjunto de barreras biogeográficas que han limitado la dispersión de una especie. Consecuentemente, esta se convierte en el área ideal para desarrollar y evaluar el desempeño de modelamientos de distribución de especies (Barve *et al.*, 2011).

Existen tres factores fundamentales que determinan la distribución de las especies. El primero de ellos se refiere a las necesidades y tolerancias de cierta especie respecto a condiciones abióticas. Un segundo elemento es la existencia de otras especies con las cuales interactúa; y finalmente; el potencial de dispersión y colonización de la especie en un período de tiempo dado (Grinnell, 1917). Sin embargo, estos tres factores no quedan definidos sin la consideración de una matriz geográfica dinámica, cuya particularidad se debe a la existencia de componentes como: condiciones climáticas, ubicación de ríos, cordilleras montañosas, líneas costeras, y otros elementos limítrofes que cambian a lo largo del tiempo. Esta matriz dinámica merece especial atención pues constituye el área de accesibilidad “M” para un especie, y engloba las condiciones físicas y biológicas que configuran su nicho ecológico (Barve *et al.*, 2011).

Soberón (2009) menciona que el nicho ecológico evoluciona o se mantiene estático; y por ello, cualquier desplazamiento de las condiciones ambientales conduciría a una isolación geográfica de las especies o, en otros casos, a la especiación. Para ilustrar lo anterior, el autor señala los resultados de una modelación de nicho efectuada para una población con limitada capacidad de movimiento. Concluye que, cuanto más heterogénea es la distribución de las variables ambientales en el espacio, el nicho ecológico de una especie evoluciona lentamente en tamaño y posición. Esta conclusión reitera la importancia de delimitar un área de movilidad “M”, ya que la evolución en tamaño y posición del nicho ecológico puede analizarse considerando la distribución espacial de las variables ambientales en un área donde las especies han podido acceder a lo largo de los años (Soberón & Miller, 2009).

Es así que, Hutchinson (1957) define al nicho ecológico como la suma de factores ambientales que actúan sobre un individuo; es decir, una región en un “espacio abstracto N-dimensional” definido por el hipervolumen de factores ecológicos que permiten a cierta especie existir indefinidamente. Si este fuese el caso, considerar la totalidad de variables bióticas y abióticas que constituyen el nicho, daría lugar al nicho fundamental inherente para cada especie. El autor ilustra la existencia de este espacio n-dimensional llamado “nicho fundamental” como un conjunto de puntos dispersos, donde cualquiera de ellos debería coincidir exactamente con el sub-conjunto de puntos agrupados en el sub-espacio “biótico (B)”. Este sub-volumen de factores bióticos B está formado por las relaciones interespecíficas de la especie con otros individuos; por lo tanto, no es cierto que cualquier punto del “nicho fundamental” coincida con el subconjunto de puntos del sub-espacio B porque las interacciones entre dos individuos no tienen una posición definida en el espacio real. Lo contrario sucede con el subconjunto de puntos en el sub-espacio “abiótico (A)”, donde cualquier punto del nicho fundamental (espacio abstracto) coincide con cualquier punto de A. Es decir, el conjunto de factores abióticos (A) tienen una posición definida en el espacio real, razón por la cual, se convierte en un factor crucial en la predicción de áreas de distribución de especies porque refleja las

condiciones ecológicas óptimas de nicho fundamental para la especie. Estos factores abióticos incluyen condiciones climáticas, características físicas o químicas del suelo, entre otros (Hutchinson, 1957).

Por otro lado, un concepto operacional de nicho ecológico según Grinnell (1917) establece que “es el conjunto de condiciones ambientales que permiten a una población tener tasas de crecimiento positivas en ausencia de competencia, depredación o enfermedades”. Estos tres últimos factores dan origen al nicho realizado de una especie que considera, además de los factores abióticos (e.g., temperatura, precipitación, pH del suelo, entre otros), un conjunto de variables biológicas inherentes a la especie (e.g., depredación, enfermedades, competencia, parasitismo, entre otros). Como fue señalado en el párrafo anterior, las variables bióticas no actúan a una escala espacial y por ello no tienen un efecto visible sobre la distribución de especies. Es decir, los modelos de nicho ecológico operan bajo la “Hipótesis de ruido eltoniano” que considera la influencia de las variables bióticas sobre la distribución de especie pero no se incluyen en el modelo (Soberón & Miller, 2009).

Concluyendo, el nicho fundamental de una especie contiene una serie de factores ambientales definidos en un espacio abstracto “E” que puede trasladarse a un espacio real “G”. El principio de correspondencia unívoca entre espacio real ocupado por la especie (G) y su disponibilidad de nicho ecológico en el espacio “E” impulsa la identificación de áreas de distribución de especies; de tal manera que, la probabilidad de persistencia de una especie en su área de accesibilidad “M” sea cuantificable a través de modelamientos computacionales. La extrapolación de los datos ambientales de nicho ecológico al espacio geográfico es el principio que rige las técnicas de modelamiento de distribución de especies.

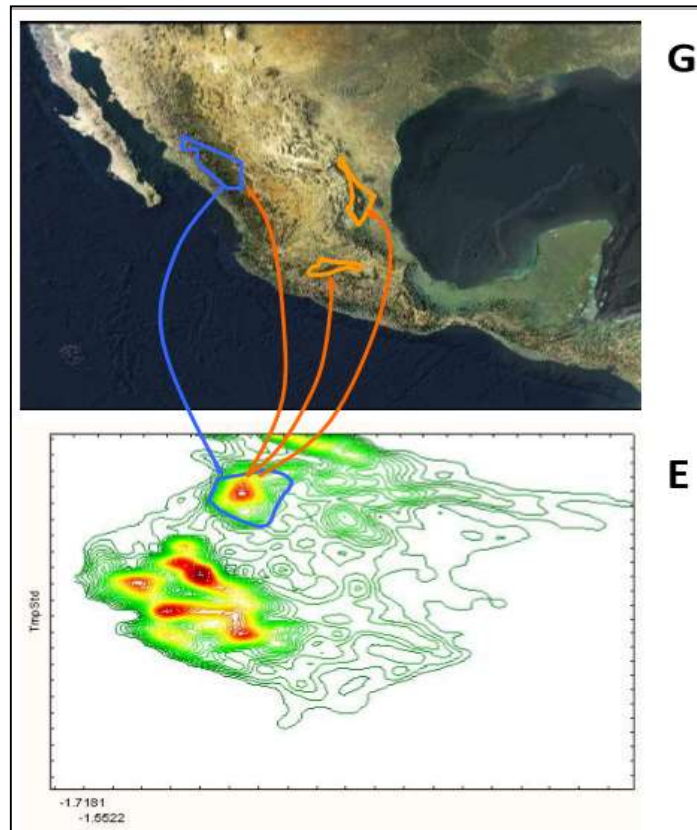
Finalmente, el área de accesibilidad histórica o movilidad de una especie influencia en gran medida sobre el desempeño predictivo del modelamiento de distribución de especies. En efecto, dicho desempeño se evalúa la capacidad discriminativa del modelo generado (estadísticos de Área Bajo la Curva ROC y sensibilidad versus especificidad del modelo) y su tendencia a extrapolar condiciones idóneas de nicho ecológico más allá del área de entrenamiento (por fuera de zonas con registros de presencias verdaderas de especies). Frente a estos antecedentes, Acevedo y colaboradores (2012) plantean adoptar un carácter restrictivo bajo criterios biogeográficos para delimitar el área de movilidad; y así atender los requerimientos ambientales de una especie. Desde otra perspectiva, el estudio realizado por VanDerWal y colaboradores (2009) en el Trópico Húmedo Australiano demostró que, para algunas especies, los modelamientos de distribución tuvieron un desempeño bajo cuando el tamaño del “área de movilidad o background” se redujo; mientras que, los valores de AUC se disminuyeron cuando el “background” incrementó. Además, se generaron modelos muy simplificados usando pocas variables ambientales a partir de un “background” muy extenso

(VanDerWal *et al.*, 2009). Ahora bien, es preciso recalcar que el área de accesibilidad o movilidad de una especie se ha constituido a lo largo de un período evolutivo histórico inherente a la especie; sin embargo, la parametrización del modelamiento de distribución de especies puede verse afectado por la naturaleza de los eventos históricos. Dicho de otra manera, la utilización de criterios biogeográficos reduce la parametrización del modelamiento y mejora la evaluación de los modelos generados (Acevedo *et al.*, 2012).

1.5.5.2. *Variables escenopoéticas o abióticas y Dualidad de Hutchinson*

Hutchinson (1957) denominó variables “escenopoéticas” al conjunto de variables que no interactúan dinámicamente con la especie”; por ende, son simples condiciones que caracterizan el nicho fundamental de una especie. Tienen este apelativo por su traducción al latín indicando que son “creadoras del escenario”, al cual lo denomina nicho fundamental; y, constituyen el espacio de posibilidades que la especie experimenta en un tiempo dado (e.g., variables macroclimáticas, factores topográficos como elevación, aspecto y orientación del terreno, insolación y otros). Por ejemplo, un espacio de variables escenopoéticas se puede conformar por dos variables comunes: temperatura media y precipitación anual, y puede convertirse en nicho fundamental cuando la tasa intrínseca de crecimiento es positiva; es decir, cuando la tasa de crecimiento poblacional es positiva en ausencia de competidores. Además, las variables abióticas describen el espacio “E” donde la especie encuentra su nicho fundamental. Esto quiere decir que el nicho es un sub-conjunto del espacio “E”, donde se excluyen variables dependientes de las dinámicas poblacionales de una especie (Soberón & Miller, 2009).

Figura 3. Dualidad de Hutchinson entre el espacio geográfico y ecológico



Fuente: Ortega-Andrade & Rojas-Soto, 2017

La figura ejemplifica la llamada “Dualidad de Hutchinson (1957)” entre los espacios G y E. Esta dualidad señala que los valores ambientales del espacio ecológico “E” tienen una correspondencia biunívoca con sus respectivos valores en el espacio geográfico “G”; por el contrario, solo existe correspondencia unívoca entre las variables escenopoéticas que caracterizan el espacio E y sus correspondiente valores en el espacio G. Dicho en otras palabras, pueden existir dos o más celdas geográficas con iguales variables escenopoéticas, pero no lo contrario (Soberón & Miller, 2009; Hutchinson, 1957).

1.5.5.3. Variables bionómicas o interacciones bióticas

Son aquel conjunto de factores ambientales dependientes de la especie o ligadas a la dinámica poblacional de una especie (Grinnell, 1917). Ejemplos de estos factores son los limitados recursos alimenticios, la presencia e influencia de competidores, predadores y mutualistas, entre otros (Barve *et al.*, 2011).

La existencia de “agentes interactuantes negativos” puede restringir la ocupación de una especie en un área que sería favorable bajo condiciones climáticas o topográficas óptimas. Es por ello que, el espacio geográfico “G” ocupado por la especie representa su área potencial de distribución, pero excluye la presencia de competidores, depredadores y las capacidades de dispersión inherentes a una especie. Con ello, el nicho fundamental se ve reducido a nicho realizado al considerar las interacciones bióticas entre individuos. Comúnmente la causa principal de reducción del nicho fundamental es la acción de competidores o depredadores, o lo que equivale a la representación de un nicho realizado donde la presencia de otras especies no excluye a la especie focal. Operativamente, es complicado representar las interacciones bióticas como números porque son dinámicas y dependen de las variaciones numéricas de otras especies en el medio ambiente. Por tal motivo, es difícil analizarlas conjuntamente con variables escenopoéticas. Estas últimas tienen una representación continua en el espacio geográfico y se pueden llevar a la práctica mediante la utilización de software (e.g., Sistemas de Información Geográfica). Lo contrario sucede con los factores bióticos que son predictores generalmente excluidos en modelamiento de distribución de especies porque no se encuentran disponibles como información espacial para ser procesada (Austin, 2007; Mateo *et al.*, 2011; Soberón & Miller, 2009).

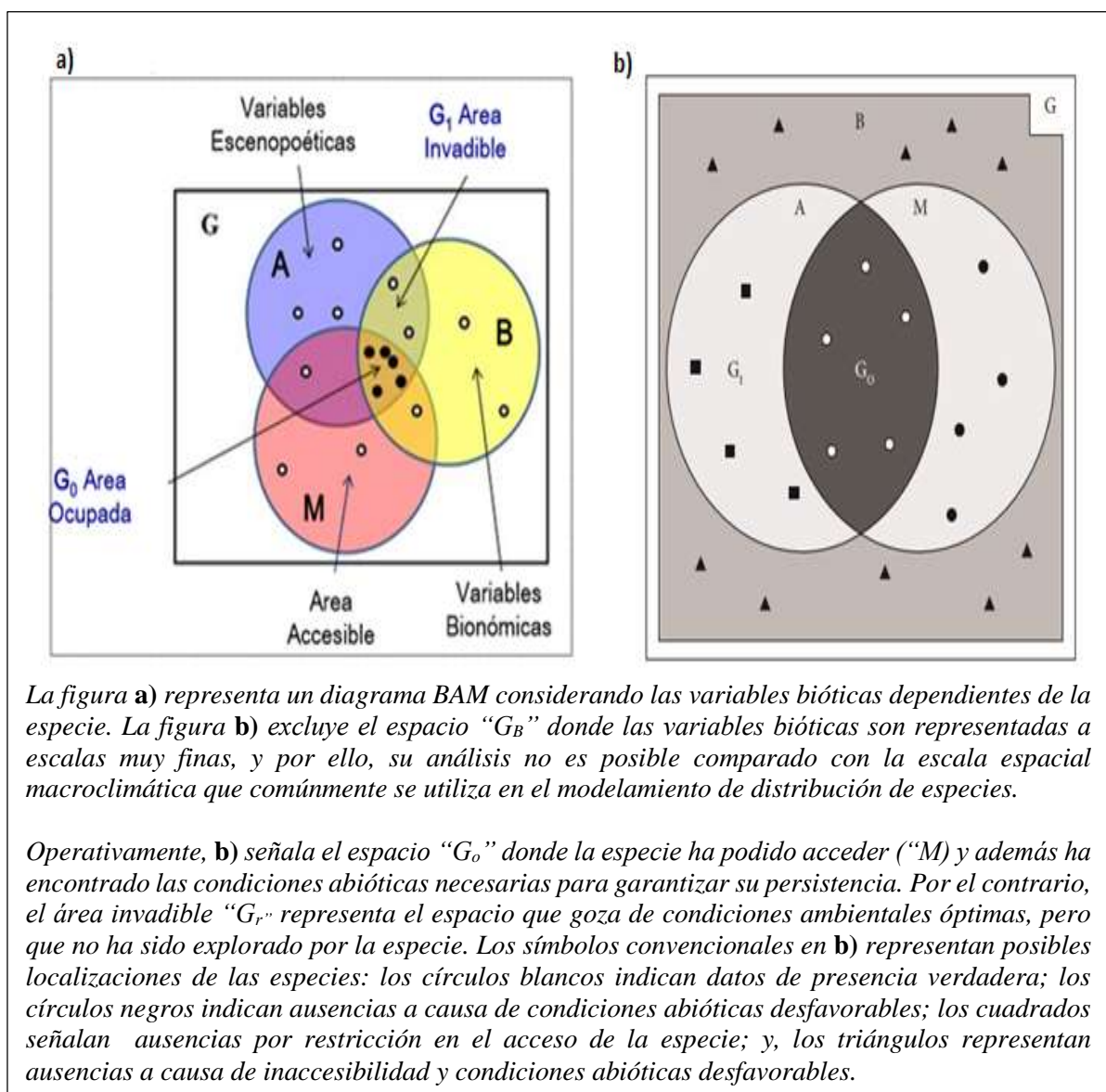
1.5.5.4. *Nicho ecológico y Diagrama BAM*

Originalmente, Grinnel (1917) describió el nicho ecológico de una especie como el espacio de los factores ambientales que determinan su distribución geográfica. Las especies están distribuidas considerando dimensiones geográficas y ambientales. Por ello es indispensable el uso de un marco común que contemple ambas dimensiones con la perspectiva de determinar la distribución geográfica de las especies. Es vital que este marco esquematice los fenómenos clave que motivan el origen de los modelamientos de nicho y distribución de especies, y se refieren a: caracterizar el nicho de una especie, interpolar sus patrones de distribución, y; predecir áreas de distribución aún desconocidas, áreas geográficas de potencial invasión y respuestas a los cambios de condiciones medioambientales. Por lo tanto, este marco común es el denominado diagrama BAM (Biotic, Abiotic, Mobility; por sus siglas en inglés) (Peterson & Soberón, 2012).

El diagrama BAM incluye dos espacios geográficos (G) que representan el nicho fundamental de la especie, y por ello, representa diferentes áreas de distribución. El primer espacio, llamado “G_A”, representa áreas que reúnen las condiciones abióticas del nicho fundamental de la especie; mientras que el espacio “G_B” lo hace para las condiciones bióticas que la especie necesita para que su población persista. Además, BAM considera las áreas que han sido accesibles para la especie a lo largo de períodos de tiempo y las denomina componente “M”. La intersección entre áreas que

satisfacen las condiciones bióticas y abióticas representan la “distribución geográfica potencial de la especie”; sin embargo, esta intersección se reduce a la denominada área de “distribución ocupada G_0 ” cuando se cruza con el área de accesibilidad histórica “ M ” porque es una barrera que limita su dispersión. Tal como se ha señalado en la sección 1.5.5.3, la disponibilidad de información espacial de condiciones bióticas es restringida y por ello el área “ G_B ” se omite para fines operativos de modelamiento de nicho ecológico. Finalmente, existe una porción del esquema BAM que es actualmente inaccesible dentro del área de distribución potencial, y se llama, “área invadible G_r ” (Peterson & Soberón, 2012). Afortunadamente, métodos computacionales de modelamiento de nicho ecológico evalúan todas las consideraciones expuestas en el diagrama BAM (referirse a Figura 4).

Figura 4. Diagrama BAM y consideraciones de distribución de especies



Fuente: Peterson & Soberón, 2012; Soberón & Miller, 2009

1.5.6. Métodos para el modelamiento de nicho ecológico

Existen varios algoritmos de modelamiento de nicho ecológico usados en métodos alternativos para predecir las distribuciones geográficas de especies de interés. En cualquiera de los casos, los métodos requieren registros de presencia y ausencia, a pesar de que datos verdaderos de ausencia de especies están raramente disponibles en regiones escasamente muestreadas. Para realizar modelamientos basados solo en presencia de especies, los métodos requieren tanto presencia como ausencia y para obtener lo último se ha utilizado “pseudo-ausencias” obtenidas del área de estudio. Otros métodos utilizan la información existente por píxel que se obtiene de las variables ambientales en el área de estudio; mientras que otros, basan sus predicciones en la idoneidad ambiental que se asemeja a los sitios observados de presencia actual de una especie en estudio. Estudios realizados en torno a las diferentes metodologías existentes señalan considerables diferencias de predicción entre uno y otro método (Pearson *et al.*, 2007).

Entre las técnicas empleadas para la construcción de modelos de idoneidad se pueden mencionar las siguientes divididas según los datos necesarios para generar dichas modelo (Delgado-Cueva, 2008):

- Técnicas estadísticas multivariantes que necesitan presencias y ausencias: Regresión logística multivariante (LMR) y MARS (Multivariate Adaptive Regression Splines).
- Técnica de distancia que solo necesita presencias: similaridad de Gower o DOMAIN.
- Técnicas que generan internamente las pseudo-ausencias: Genetic Algorithm for Rule-set Production (GARP) y Máxima entropía (MaxEnt).

1.5.7. Maxent “Modelamiento de Máxima Entropía”

Máxima entropía es una herramienta inferencial, basada en algoritmos computacionales (software MaxEnt, versión 4.0), aplicada en la estimación de nicho ecológico y la predicción de distribución geográfica de especies. El método de modelamiento de máxima entropía es un método generativo, a diferencia de los métodos lineales generalizados (GLMs) y métodos aditivos generalizados (GAMs) que son discriminativos, y por ello tiene un potencial predictivo mayor incluso frente a una pequeña cantidad de puntos de entrenamiento para construir el modelo. Este método aplica un algoritmo determinístico que converge hasta hallar la distribución de probabilidad de máxima entropía; y , utiliza como insumos: registros de presencia de la especie, variables ambientales y muestras (píxeles denominados “pseudo-ausencias” o “background data”) extraídas de las variables ambientales. El algoritmo detiene su ejecución hasta cumplir el número de iteraciones o repeticiones que son establecidas por el usuario del software. MaxEnt asigna una probabilidad “no negativa” para cada píxel en el área de estudio, cuya suma de probabilidades es igual a 1. Cada probabilidad a nivel de

píxel es menor a 1, motivo por el cual, el software presenta varios formatos para representar los resultados de probabilidad. En versiones anteriores, el formato más usado era el “acumulativo”, donde el valor asignado a cada píxel es igual a la suma de probabilidad del píxel y de todos los píxeles con igual o más baja probabilidad, todo multiplicado por 100 (es decir, una probabilidad en porcentaje) (Peterson *et al.*, 2006). Posteriormente, se incorpora un nuevo formato de salida denominado “logistic output” que presenta un estimado de probabilidad de presencia señalando un amplio rango de diferencias de los valores de salida proporcional a las diferencias de idoneidad ambiental. Esto quiere decir que representa entre 0 y 1 la probabilidad de que la especie esté presente, bajo las condiciones de las variables ambientales. Este formato de salida reduce el tiempo de construcción del modelo. Otro formato de salida es de tipo “raw”. Los valores “raw” son dependientes de la escala, porque usar un mayor número de “background data” para construir el modelo da como resultado valores “raw” más pequeños pues todos deben sumar 1. Por sus limitaciones de interpretación, estos valores eran comúnmente transformados a formatos “acumulativos” porque estos últimos son independientes de la escala, pero no son necesariamente proporcionales a la probabilidad de presencia de una especie (Phillips & Dudík, 2008; Phillips *et al.*, 2006).

Maxent, versión 4.0, presenta una interface de usuario gráfica que facilita la interpretación; así como comandos que permiten correr scripts automáticamente para procesos en lote o “batch processing”, y está escrito en Java, totalmente disponible para su descarga a través de la página https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/ (Phillips, Dudík, & Schapire, 2017). MaxEnt realiza una estimación de densidad de máxima entropía, lo que equivale a representar distribuciones verdaderas de una especie como una distribución de probabilidad π sobre el grupo X de sitios en un área de estudio. Por lo tanto, la probabilidad π asigna un valor no-negativo a cada sitio X y tales valores de probabilidad suman 1. Es decir, una distribución de probabilidad sujeta a las limitaciones de variables ambientales (e.g., temperatura, precipitación, salinidad del suelo, erodabilidad, entre otros), generando una dependencia que se representa como una función de las variables ambientales, llamada “features”.

El modelamiento realizado por MaxEnt maximiza la entropía en el espacio geográfico, es decir, las predicciones se realizan para cada celda en el área de estudio. El principio de máxima entropía señala que los modelos deben ser contruidos de tal manera que sean lo más similares a expectativas de distribución previas y que guarden consistencia con los datos de entrada. Aquello que es previo a una predicción tiene una distribución uniforme en el espacio geográfico, lo que equivale a decir que todas las celdas o “píxeles” tienen igual distribución de un individuo (Merow *et al.*, 2013). Su objetivo es encontrar la distribución de probabilidad de máxima entropía para una especie en particular, o dicho

de otro modo, la que más se aproxima a una distribución uniforme, sujeta a un conjunto de restricciones que representan la información incompleta con la que contamos acerca de su distribución (Phillips *et al.*, 2006).

En conclusión, Delgado-Cueva (2008) señala que valor obtenido para cada píxel no debe tomarse como la probabilidad de encontrar o no la especie en él, sino como un valor de la “idoneidad” relativa de las condiciones ambientales que se dan en este píxel para esa especie en concreto.

1.5.8. Levantamiento de información geográfica: escalas, resolución espacial y depuración de registros de especies

1.5.8.1. Influencia de la resolución espacial de las variables ambientales en el modelamiento de distribución de especies

El estudio realizado por Guisan y colaboradores (2007) comprueba el efecto de la resolución espacial de las variables ambientales en el desempeño predictivo del modelamiento de distribución de especies. Además, el uso de una cantidad mayor de registros de presencia de especies utilizados como puntos de entrenamiento en la calibración del modelo, genera modelos con un mejor desempeño, y por lo tanto, con una mayor sensibilidad a la resolución espacial de las variables abióticas (predictoras). Por otro lado, la precisión de las coordenadas de localización (latitud y longitud) de especies determina la flexibilidad en la elección de la resolución espacial de las variables ambientales (Guisan *et al.*, 2007). En esta sección no se ahondará en los métodos de evaluación de errores de precisión en los registros de especies (referirse a la sección 1.5.8.3).

La resolución espacial de las variables predictoras y la elección del área de movilidad “M” de las especies son los componentes de escala espacial de mayor importancia en ecología evolutiva (Holling, 1992) y en modelamiento de nicho ecológico (Huetteman y Diamond, 2006) (Guisan *et al.*, 2007). La elección de la escala espacial es un aspecto técnico y depende del tamaño del píxel al cual se halla disponible la información ambiental continua (variables climáticas de precipitación y temperatura); y por otro lado, de la escala cartográfica a la que se encuentra disponible la información categórica (variables edafológicas). Por lo tanto, la elección de la escala más adecuada se halla correlacionada también con la delimitación del el área de movilidad “M”, ya que el modelamiento de máxima entropía utiliza los valores de los píxeles que aportan información de variables ambientales para establecerlas como “pseudo-ausencias”. Aunque estas pseudo-ausencias se generan internamente en el software MaxEnt 4.0., el tamaño del área de movilidad de la especie es importante pues de allí se extraen las “pseudo-ausencias” (VanDerWal *et al.*, 2009).

1.5.8.2. *Relación entre escala cartográfica y resolución espacial del ráster*

A. Resolución espacial y estructura ráster

Hengl (2006) señala que la resolución espacial se define como el tamaño del objeto más pequeño que puede ser discriminado sobre la superficie terrestre. A su vez, imágenes satelitales o fotografías aéreas son representaciones de porciones de la superficie terrestre; y por ello, el objeto de menor tamaño que se puede identificar sobre una imagen satelital está definido por el tamaño del píxel. Es decir, una propiedad física de la imagen es el píxel con el que se cubre un área sobre la superficie terrestre. En resumen, este determina de forma directa cuales rasgos o detalles del terreno pueden cartografiarse y la escala a la cual deben fijarse. Además, señala la certeza con la que un objeto dado se encontrará sobre el terreno de acuerdo a donde aparece en la imagen (Álvarez-Portal, 2007).

Por otro lado, surge el término celda cuadrículada o “grid cell” que se refiere a un modelo matricial ortogonal de resolución fija, con la cual no debe coincidir necesariamente una imagen ráster. Por ejemplo, una fotografía aérea debe ser orto-rectificada y re-escalada a una cuadrícula regular o “grid” para calzar aproximadamente en el modelo ortogonal denominado “grid cell”. Contrario a ello, Hengl (2006) reconoce al píxel como una unidad tecnológica fácilmente asociada con la resolución espacial del sensor; es decir, su habilidad para registrar información a detalle y que pueda ser discriminada por el ojo humano (Chuvienco, 1995).

Además, un ráster es una estructura de almacenamiento de información en filas y columnas basada en una matriz de celdas (píxeles) o cuadrícula, dentro de la cual cada celda contiene un valor o Nivel digital de información. Las imágenes digitales y otros productos “grid” se estructuran en formatos ráster, cuyas unidades fundamentales son el píxel y “grid cell” (Hengl, 2006). En consecuencia, la estructura ráster es el formato más popular de almacenamiento, y a ello se suma la resolución espacial como una de las características técnicas más importantes de medición sobre el terreno, que comúnmente se expresa en metros bajo la denominada resolución ráster (“grid resolución”, por su traducción al inglés).

B. Resolución del ráster y conceptos cartográficos

Para fines cartográficos, a menor resolución del ráster, escalas de representación menores que cubren grandes áreas de estudio. Por el contrario, el uso de un ráster de mayor resolución espacial conlleva escalas de representación mayores que permiten un gran detalle en áreas de estudio más pequeñas (Hengl, 2006). Es tal motivo, que autores como Florinsky y Kuryakova (2000) consideran los efectos

de la resolución del ráster o “grid resolution” en la precisión sus modelamientos espaciales y de los productos cartográficos (Hengl, 2006).

Al hablar de precisión cartográfica, McBratney y colaboradores (2003) sugieren que debe existir al menos 2x2 píxeles (4 píxeles en total) para representar cartográficamente el objeto de interés de menor tamaño y al menos 2 píxeles para representar el ancho de objetos alargados. Esta aproximación metodológica se sustenta en los conceptos de frecuencia de información promulgados por Nyquist (1928) para el procesamiento de señales; para lo cual, Shannon (1998) argumenta que la señal original se puede reconstruir si la frecuencia muestreada es dos veces la frecuencia original.

Hengl T. (2006) recoge dichos apartados cartográficos y señala los siguientes conceptos básicos para establecer la relación entre escala y resolución espacial:

➤ *Área Mínima Mapeable*

También conocida como “Promedio del Tamaño del Área” de los polígonos en el terreno. Minimum Legible Delineation “MLD” (por su traducción al inglés) corresponde al menor tamaño de superficie que puede ser cartografiado y equivale a 4 píxeles.

Así mismo, McBratney *et al.*, (2003) plantean que los objetos de menor tamaño en un mapa son normalmente de 1 x 1 milímetros, de tal manera que el tamaño del pixel o “grid cell” puede ser determinado por la regla $p = 0,5$ mm, la cual puede ser usada como una regla general en relación a la escala y la resolución (Hengl T., 2006). Otra variante de este razonamiento la proporciona Chuvieco (1995) para 4 mm^2 ($p = 1$). De tal manera, a continuación queda definida la fórmula para calcular el tamaño de la menor superficie mapeable a una escala determinada:

$$\text{MLD} = (\text{SN} \times 4)^2 \quad (1)$$

Donde:

MLD = es el tamaño de la menor superficie mapeable (metros cuadrados)

SN = es el denominador de la escala numérica del mapa (en metros)

4 = coeficiente establecido cuando $p=1\text{mm.}$; es decir, el objeto de menor tamaño (milímetros)

➤ *Precisión de Máxima Localización*

Denominada “Tolerancia Gráfica” o “Error Medio Admisible- EMA” (Árias S.I, 2007).

Según Hengl (2006), este término se refiere al menor tamaño de cuadrícula o píxel que puede ser discriminado cartográficamente por el ojo humano. Maximum Location Accuracy “MLA” (por su traducción al inglés) comúnmente oscila entre 0,25 mm hasta un máximo de 0,1 mm en función de la escala del mapa. Esto proporciona el tamaño más idóneo de ráster para una escala determinada, aplicando las siguientes fórmulas:

$$p \geq SN \times 0,25 \quad (2)$$

$$p \geq SN \times 0,1 \quad (3)$$

Donde:

p = es el tamaño del píxel o también “grid cell” (el mínimo, en metros)

SN = es el denominador de la escala numérica del mapa (en metros)

0,25 ó 0,1 = coeficiente de tolerancia gráfica (milímetros)

Aplicando las fórmula, para una escala 1: 50.000, el menor tamaño de cuadrícula (“grid cell”) que es fácilmente discriminable por el ojo humano es 12,5 metros (a una precisión de 25% del denominar de escala) o 5 metros (a una precisión del 10% del denominador de escala). En consecuencia, resoluciones menores a 5 metros no tienen sentido por su dificultad de visualización o impresión a la escala de trabajo señalada (Hengl T., 2006).

Por otro lado, existe una variante pronunciada con respecto al razonamiento antes descrito. La “Metodología para el tratamiento de imágenes de satélite de alta resolución (HRS) para cartografía a grandes escalas” (Arias-Suárez, 2007), plantea que:

Es necesario tener en cuenta que, la unidad mínima de resolución necesaria (UMR) o tamaño del píxel (resolución espacial) debe garantizar la percepción visual de la información que aporta la imagen en relación con la escala de mapa para la cual se pretende utilizar.

Para ello se debe considerar la tolerancia gráfica (TG) o error medio admisible (EMA), los cuales toman en cuenta el error que puede cometer el hombre en la percepción visual de un elemento durante su posicionamiento en el mapa. La autora señala que este error es igual a 0,2 milímetros (el ojo humano es capaz de percibir una parte de 1 milímetro dividido en cinco partes). La imagen o producto ráster debe tener un tamaño de píxel o cuadrícula que garantice este nivel de percepción en relación con la escala del mapa (Arias-Suárez, 2007).

Por consiguiente, por cuestiones metodológicas de la presente investigación se tomará en cuenta la siguiente fórmula:

$$p \geq SN \times 0,2 \quad (4)$$

Donde:

p = es el tamaño del píxel o “grid cell” (metros)

SN = es el denominador de la escala numérica del mapa (en metros)

0,2 = coeficiente de tolerancia gráfica (milímetros)

Al aplicar la fórmula se obtiene que para una escala 1: 50.000, el menor tamaño de cuadrícula (“grid cell”) que es fácilmente discriminable por el ojo humano es 10 metros (a una precisión de 20% del denominador de escala). Por lo tanto, 10 metros es el mínimo tamaño de cuadrícula que va a ser aprovechable para los fines cartográficos de representación de objetos en un mapa (Arias-Suárez, 2007).

Por otro lado, el Instituto Geográfico Militar (2006) en su documento “Especificaciones técnicas generales para la realización de cartografía topográfica a cualquier escala” señala que: “los mapas deberán reflejar todos los detalles planimétricos del terreno y de las construcciones que puedan aparecer en el mismo, con dimensión mínima mayor de quince décimas de milímetro (1,5 mm.) a la escala del mapa.” Esta precisión se aplica a una muestra aleatoria del 90% y corresponde a la tolerancia planimétrica del proceso de restitución fotogramétrica. Por lo tanto podría considerarse como la precisión máxima de los detalles planimétricos.

$$p \geq SN \times 1,5 \quad (5)$$

Donde:

p = es el tamaño del píxel o “grid cell” (metros)

SN = es el denominador de la escala numérica del mapa (en metros)

1,5 = coeficiente de tolerancia gráfica máxima sobre una muestra aleatoria del 90% (milímetros)

C. Resolución del ráster y Precisión horizontal de posicionamiento

Cuando la escala de un producto cartográfico o modelo ráster es desconocida o es imprecisa, se puede escoger la mejor resolución ráster en función de la precisión de las posiciones registradas por el sistema GPS utilizado. El objetivo es identificar los sitios donde las lecturas de posicionamiento GPS deberían coincidir con el píxel o “grid cell”. Para tales efectos, se puede considerar el “error de posición horizontal” que corresponde a la precisión de información de posicionamiento proveniente de las señales del Sistema de navegación global por satélite (GNSS) o del Sistema de

posicionamiento global (GPS); así como, a la precisión horizontal del receptor de señal GPS utilizado (Lechner & Baumann, 2000).

Como primer punto, se hace referencia a la precisión de las señales GPS transmitidas en el espacio. El “margen medio de error de usuario” ($URE = \leq 0,715$ metros y 95% de probabilidad) asignado a las señales GPS transmitidas en el espacio es el mismo para servicios GPS militares y civiles; a pesar de ello, la mayoría de dispositivos civiles receptan señal GPS a una sola frecuencia (L_1) mientras que dispositivos militares receptan dos frecuencias (L_1 y L_2). De allí que, el uso de dos frecuencias mejora la precisión corrigiendo distorsiones de señal causadas por la atmósfera terrestre. Una solución para usuarios civiles es el uso de los “Sistemas de Aumentación” que mejoran el desempeño de los Sistemas de Posicionamiento Global mediante técnicas artificiales basadas en posiciones georreferenciadas o en señales transmitidas por satélites geostacionarios (Lechner & Baumann, 2000). Para superar las distorsiones, el Servicio de Posicionamiento Estándar (SPS) o servicio civil mejora niveles de desempeño de las señales GPS en relación a parámetros y diseño de constelaciones de satélites GPS. A partir del año 2000, la Fuerza Aérea de los Estados Unidos anunció discontinuar el uso de la denominada degradación de señal GPS, “Selective Availability” (SA) para usos civiles; pasando así, de una precisión de 100 metros a 20 metros (Gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica, 2017). Cuando la precisión del SPS se encontraba degradada por el modo operacional SA y sin hacer uso de “Sistemas de aumentación”, las señales GPS podían alcanzar los estándares de precisión señalados a continuación (Lechner & Baumann, 2000):

Tabla 1. Estándares de precisión SPS Posición/Tiempo bajo “Selective Availability”

Estándar de precisión Posición/Tiempo	Condiciones y limitaciones
<ul style="list-style-type: none"> • 100 metros; 95% de probabilidad de Precisión Horizontal • 300 metros; 99,99% de probabilidad de Precisión Horizontal 	<ul style="list-style-type: none"> • Precisiones promedio para un solución posición/tiempo bajo el modo operacional “Selective Availability” • SA fue diseñado para evitar objetivos civiles hostiles que aprovechen precisiones de posicionamiento GPS.
<ul style="list-style-type: none"> • 150 metros; 95% de probabilidad de Precisión Vertical • 450 metros; 99,99% de probabilidad de Precisión Vertical 	

Fuente: Lechner & Baumann, 2000

El SPS del Sistema de Posicionamiento Global de los Estados Unidos ha proporcionado en el 2008 una nueva edición de estándares de precisión “posición/tiempo” de las señales GPS liberadas que se detallan en la tabla a continuación (GPS NAVSTAR, 2008):

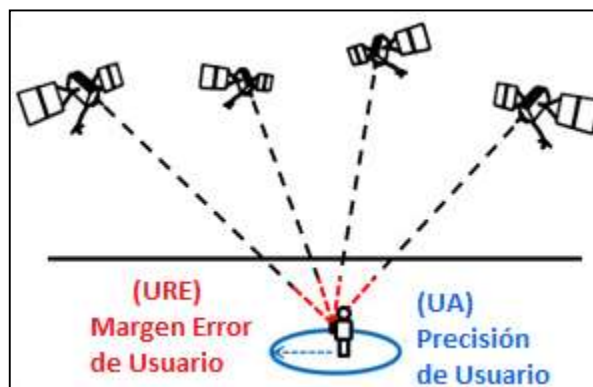
Tabla 2. Estándares de precisión SPS Posición/Tiempo omitiendo “Selective Availability”

Estándar de precisión Posición/Tiempo	Condiciones y limitaciones
<p><i>Precisión Global promedio de la posición:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • ≤ 9 metros, 95% de probabilidad de Error Horizontal • ≤ 15 metros, 95% de probabilidad de Error Vertical 	<ul style="list-style-type: none"> • Definido para un solución posición/tiempo en concordancia con las condiciones representativas del usuario • Estándar basado en medidas a intervalos promedio de 24 horas sobre todos los puntos transmitidos en el SPS
<p><i>Precisión del peor sitio de posición:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • ≤ 17 m, 95% de probabilidad de Error Horizontal • ≤ 37 m, 95% de probabilidad de Error Vertical 	

Fuente: GPS NAVSTAR, 2008

En segundo lugar, es necesario aclarar que la precisión de las señales GPS transmitidas en el espacio quedan definidas parcialmente por estándares como el URE, y por lo tanto, no indican la precisión GPS hallada a nivel de usuario. Además del “margen medio de error de usuario” (URE), la precisión al nivel de usuario depende de la geometría de satélites, y de factores locales como bloqueo de señal, condiciones atmosféricas y de las cualidades del artefacto-receptor GPS. De esta manera, se establece una clara diferenciación entre URE y “precisión a nivel de usuario” (UA). Por un lado, el UA calcula un radio que señala la cercanía de la posición calculada por el dispositivo frente a una verdadera posición (Lechner & Baumann, 2000); mientras que el URE mide un rango al cual se garantiza la transmisión de señales GPS. Gráficamente tal diferenciación queda definida mediante la siguiente figura:

Figura 5. Error de transmisión de señales GPS y precisión horizontal a nivel de usuario



Fuente: GPS NAVSTAR, 2008

En tercer lugar, la precisión horizontal de posicionamiento se define también por las cualidades del receptor GPS. Por ejemplo, los colectores de mano marca Juno, series 3B y 3D, permiten alcanzar una precisión horizontal de posicionamiento entre 1 a 3 metros cuando utilizan correcciones diferenciales en tiempo real, y entre 2 y 5 metros con postprocesamiento. Es decir, tales dispositivos utilizan software especializado basado en “Sistemas de aumentación” (Trimble Navigation Limited, 2012)

➤ *Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS)*

GNSS, cuyas siglas en inglés significa Global Navigation Satellite Systems, es una constelación de satélites artificiales que transmiten señales a diferentes receptores localizados en cualquier parte de la superficie terrestre. Ellos permiten establecer las coordenadas geodésicas y la altitud de un sitio determinado (punto central de la antena receptora de la señal) como resultado de la recepción simultánea de señales provenientes de varios satélites, para fines de navegación, transporte, hidrográficos, agrícolas, investigación científicas, entre otros. Dicha información puede ser obtenida a nivel mundial, las veinticuatro horas del día y bajo cualquier condición climática. Es posible obtener precisiones inferiores a 2,5 metros de las posiciones verdaderas de un punto conocido, siempre y cuando se acuda al denominado “Sistema de aumentación GNSS”. La utilización de tal sistema consiste en la activación del sistema de satélites llamado SBAS (Space Based Augmentation Systems) que comprende el WAAS (Wide Area Augmentation System), EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) y MSAS (Multi-Functional Satellite Augmentation System), dando como resultado una precisión inferior a un metro. Los sistemas SBAS no aplican en Sudamérica, ya que no hay disponibilidad de satélites geoestacionarios. La precisión del desempeño de los sistemas de posicionamiento global puede ser mejorada haciendo uso de las técnicas de “incremento espacial” producto de la corrección diferencial y la transmisión de señales en rangos más amplios proveídas por satélites geoestacionarios. Finalmente, GNSS abarca varias técnicas de posicionamiento satelital. Entre las más difundidas se encuentra la estadounidense Global Positioning System (GPS); sin embargo, actualmente existen de forma aislada o combinada otras técnicas disponibles tales como Global Navigation Satellite System (GLONASS) de Rusia, y, el nuevo sistema europeo GALILEO (Lechner & Baumann, 2000).

➤ *Sistema de Posicionamiento Global (GPS)*

Lechner y Baumann (2000) señalan que GPS es un sistema de posicionamiento basado en una constelación de satélites NAVSTAR operativos que orbitan la Tierra cada 12 horas. Este sistema proporciona información de posicionamiento mundial las 24 horas del día en cualquier condición

meteorológica. El sistema GPS tiene una estructura claramente definida: un segmento espacial, de control y de usuarios. El segmento espacial está compuesto por los satélites que forman el sistema, tanto de navegación como de comunicación, así como las diferentes señales que envían y reciben cada uno de los receptores. El segmento de control está formado por el conjunto de estaciones en tierra que recogen los datos de los satélites y monitoriza el sistema GPS. Finalmente, el segmento de usuarios se conforma de todos los receptores GPS que reciben las señales del segmento espacial y sus programas de procesamiento de datos. Un receptor se fundamenta en la mezcla de frecuencias que permiten pasar de la frecuencia recibida en la antena a una baja frecuencia para ser manejada por el receptor.

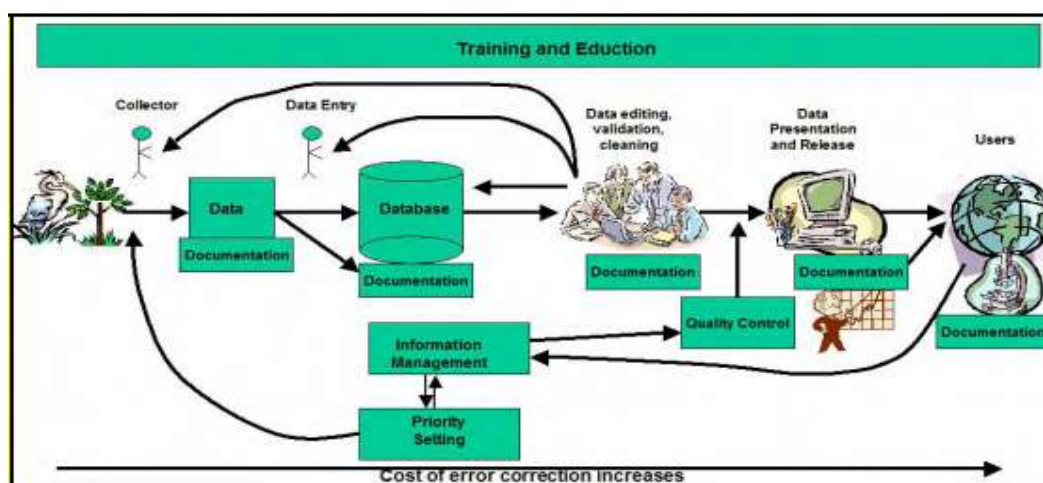
Entre las características principales del Sistema de Navegación Satelital NAVSTAR de los Estados Unidos, se señalan las siguientes a continuación (Lechner y Baumann, 2000):

- Número de satélites operacionales: 24 satélites (4 distribuidos en 6 órbitas)
- Número de satélites visibles desde cualquier punto del planeta: 5-8 satélites
- Inclinación: 55^a respecto al Ecuador
- Instalación máster del segmento de control: ubicada en Colorado, EEUU. Fuerza Aérea Falcon
- Altitud: 20.200 km
- Periodo orbital: 718 minutos
- Cobertura: mundial
- Tipo de señal: en longitud de onda microondas, con una frecuencia 1575,42 MHz (L1) para uso civil utilizando el Código de Adquisición Aproximativa (C/A). Otra señal para uso militar (L2) transmitida a una frecuencia de 1227,60 MHz es utilizada con un Código de Precisión (P) cifrado.

1.5.8.3. *Depuración de registros de ocurrencia de especies*

Se conoce con el nombre de depuración de registros de ocurrencia de especies al proceso de determinación de datos imprecisos e incompletos, y su posterior mejora de la calidad por medio de la corrección de errores y omisiones. De manera general, es importante conocer que a lo largo de la cadena de manejo de información, los costos de corrección de errores incrementan (ver Figura 6), y para ello se deben incluir técnicas de educación, entrenamiento y documentación de datos desde el inicio de la colección hasta la liberación de información al usuario (Chapman, 2005).

Figura 6. Cadena de manejo de información de colecciones de especies



Fuente: Chapman, 2005

Bajo los intereses del presente estudio, Chapman (2005) hace una clara diferenciación de tipos de depuración de datos: depuración geográfica de valores atípicos o “outliers”, y depuración taxonómica. Así mismo se incluyen tres grandes subprocesos: identificación de errores, validación de datos y corrección de errores.

A. Identificación de errores en los registros de ocurrencia de especies

Según Graham y colaboradores (2004), las colecciones naturales de registros históricos de presencia de especies a menudo conllevan errores significantes relacionados con fallas en la instrumentación, metodología y predisposición de quienes realizan identificación de especies en campo. Frente a ello se hace difícil la utilización de información medioambiental a escalas finas. Iniciativas de georreferenciación actuales (bancos de datos mundiales como GBIF, por ejemplo) para corregir dichos errores incluyen un estimado de incertidumbre de ubicación denominado “error máximo de la distancia” para cada punto de ocurrencia. Para Redman (1996), el porcentaje de error esperado producto del levantamiento en campo se sitúa entre 1 a 5%. Por otro lado, otros autores (Williams et al., 2002) sostienen que los dos errores más comunes se dan en la incorrecta identificación de especies y la asignación de una imprecisa posición espacial o “georreferenciación” (Chapman, 2005).

Los errores taxonómicos se refieren a la negligencia en la identificación al momento de la colecta de la especie. Posterior a la colecta, algunos herbarios y museos poseen tradicionalmente un sistema de depuración de colectas, mediante el cual, expertos taxónomos examinan especímenes para identificarlos y localizarlos espacialmente. La información verificada por taxónomos se pone a

disposición de los usuarios, permitiendo el acceso a colecciones con imágenes o ejemplares de los especímenes y descripciones espaciales de los sitios de colecta. De tal manera, la depuración taxonómica se hace efectiva toda vez que el usuario tiene acceso a las colecciones, y su experticia le permita corroborar que los sitios de colecta y los especímenes están correctamente identificados.

Además, los errores espaciales o geográficos se relacionan con la incorrecta determinación de la posición de una especie (latitud y longitud). Algunas colecciones en museos y herbarios datan de hace 300 años y se basan en datos observados en campo: localización de especímenes a partir de un área de referencia (ubicaciones en cartas topográficas) y localización basada en información ráster. Por lo tanto, se puede depurar errores geográficos en función de errores de georreferenciación tomando en cuenta el “error de posición y precisión horizontal”. Por un lado, el “error de posición horizontal” corresponde a la precisión de información de posicionamiento proveniente de las señales del Sistema de navegación global por satélite (GNSS) o del Sistema de posicionamiento global (GPS); así como, de la precisión horizontal del receptor de señal GPS utilizado para determinar las coordenadas de localización de especímenes (Lechner & Baumann, 2000). Por otro lado, el “error de precisión horizontal” puede determinarse a partir de la precisión planimétrica de información ráster (e.g, modelo digital de elevación), y de productos cartográficos (e.g, cartas topográficas) (Chapman, 2005).

B. Validación de datos

IGM (2006) señala las especificaciones técnicas para productos cartográficos topográficos a cualquier escala, en donde establece la precisión planimétrica que sirve para identificar errores de georreferenciación en registros de especies. La posición del noventa por ciento (90%) de los puntos bien definidos, no diferirá de la verdadera, en más de dos décimas de milímetro (0,2 mm), a la escala del mapa. La posición en el mapa digital del 95% de los puntos bien definidos, no diferirá de la verdadera en más de 0,3 mm por el denominador de la escala. Es decir, registros de presencia de especies localizados a partir de cartas topográficas deben considerar entre 0,2 y 0,3 mm de precisión dependiendo de la escala de la carta (comúnmente la escala es 1:50.000).

Por otro lado, la precisión planimétrica de información ráster corresponde a la resolución espacial del modelo digital de elevación para el Ecuador que es igual a 30 metros (Souris, 2017). Lo que significa que cualquier posición de un registro de una especie dentro de un píxel de 30 metros corresponde al valor de altitud que señala el píxel.

Además, los registros de presencia anteriores al año 2000 y recolectados con receptores GPS comunes tienen un valor de “Selective Availability” (referirse a sección 1.5.8.2.3) que considera 100

metros (95% de probabilidad) y 300 metros (99,99% de probabilidad) de precisión horizontal. Esto indica que los registros de presencia tienen un error de desplazamiento de entre 100 y 300 metros sobre el terreno si fueron colectados con receptores GPS (Lechner & Baumann, 2000).

1.5.9. Características ecológicas del oso andino

1.5.9.1. Distribución del oso andino en el Ecuador

En los Andes del Norte, el Oso de Anteojos ocupa un aproximado de 208 086 km² repartidos en 110 hábitats fragmentados por la ocupación del ser humano, de los cuales solo un 25% recaen en áreas con algún estatus de conservación (Rodríguez et al., 2003). En el Ecuador se han identificado 24 núcleos poblados por osos ocupando aproximadamente 58.000 km² de páramo, bosque montano y bosque nublado, los cuales al menos están presentes en 15 áreas protegidas declaradas por el Ministerio de Ambiente (García & Suárez, 1986). Muchos de estos núcleos de hábitat resultan insuficientes para albergar poblaciones viables de oso andino, dentro de los cuales y en sus alrededores la sobrevivencia del mamífero está amenazada por la fragmentación de su hábitat original y aislamiento de sus poblaciones, dando como resultado una diversidad genética baja en su rango de distribución en el Ecuador (Castellanos *et al.*, 2010).

El oso andino es la especie emblemática del Distrito Metropolitano de Quito y se conoce que habita el noroccidente del Ecuador ocupando las Reservas Ecológicas Cotacachi-Cayapas, El Ángel y los Ilinizas, así como la Reserva Étnica Forestal Awá, los Bosques Protectores Maquipucuna, Cuenca Alta del Río Guayllabamba, Mindo-Nambillo, en las vertientes occidentales del Volcán Pichincha, y los Bosques Protectores Toachi-Pilatón y Zarapullo (Peyton, 1999).

1.5.9.2. Beneficios de la conservación de oso andino

La conservación del oso andino y su hábitat en los Andes presenta tres beneficios principales. El primero asociado al mantenimiento de bienes y servicios ecosistémicos provenientes de bosques donde habita el oso andino y que se relacionan con zonas de importancia hídrica de las cuales se benefician entre el 50 y 75% de la población en países andinos (Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia). En efecto, una larga proporción de la distribución geográfica del oso andino en el Ecuador coincide con zonas de captación de agua con presencia de cobertura boscosa propia de bosque nublado. La conservación, mejoramiento y manejo sostenible de estos bosques aportan también al enriquecimiento del suelo, la reducción de emisiones de carbono forestal a la atmósfera, la producción de oxígeno y la captación de carbono como medidas de mitigación del cambio climático.

Otro beneficio derivado del manejo y conservación de bosques es la conservación de las cuencas hidrográficas por donde el oso andino se desplaza, las cuales abarcan áreas protegidas estatales, entre las que se pueden señalar: Cotacachi-Cayapas, Cayambe-Coca, Antisana, Sangay, Podocarpus, y áreas privadas de conservación dentro de Bosques Protectores como la Reserva Maquipucuna, Cambugán, Bellavista, y decenas más que pertenecen a la Red de Bosques Privados del Ecuador. La importancia de *Tremarctos ornatus* radica también en su idoneidad para servir como especie paraguas pues apoya la conservación de otras especies de flora y fauna presentes en su rango de distribución. De hecho, dentro del 3,2% del territorio Sudamericano, que corresponde a su rango de distribución a lo largo de la cordillera oriental andina, se encuentra el 76% de todas las especies de mamíferos del continente. Debido a sus grandes desplazamientos y hábitos alimenticios es vital su rol de dispersor de semillas modificando así la vegetación. Finalmente, la conservación del oso andino puntualiza un bagaje histórico que recae en las creencias de culturas pre-hispánicas cuyos habitantes relacionan la figura de la imponente especie con la valentía y el espíritu de superación personal (Peyton, 1999). Finalmente, en el caso supuesto de la extinción de esta especie vulnerable, el aporte cultural-ancestral y ecológico del cual dependen las poblaciones urbanas en las principales cuencas hidrográficas donde habita el oso andino se perdería.

1.5.9.3. *Tremarctos ornatus* y el rol dispersor de semillas

El éxito de colonización del *Nectandra acutifolia*, además de sus requerimientos vitales, depende esencialmente de frugívoros para la dispersión de sus semillas y la viabilidad de su población. *Tremarctos ornatus* es un frugívoro pues sus requerimientos alimenticios se basan en este fruto y la propagación de sus heces favorece la dispersión de semillas de los frutos de árboles de Pacche (Molina, com. per.; Molina, 2012a). En este contexto, la efectividad del oso andino como dispersor de semillas influye sobre la reproducción de la planta y se debe a tres razones principales: primero, la ingestión de los frutos de *Nectandra acutifolia* no daña las semillas; segundo, al ingerir la semilla se remueve la pulpa del fruto, la cual podría contener un inhibidor de la germinación y de esta manera se promueve una rápida geminación de la especie; tercero, el largo período de retención de la semilla en el estómago del oso (entre 5 a 7 horas) permite al mamífero dispersar la semilla lejos del árbol original (Koike *et al.*, 2007).

En el área de influencia del Corredor del Oso Andino, Molina (datos no publicados), realizó un estudio preliminar para evaluar el rol de dispersor del oso andino con *N. acutifolia*. El estudio consistió en coleccionar 100 semillas obtenidas de heces de los osos y 100 semillas del suelo. Las semillas fueron sembradas en platabandas diferenciando su procedencia. Las semillas coleccionadas en las heces germinaron más rápido y con mayor tasa de germinación en comparación con aquellas

obtenidas del suelo: 28 días promedio y 75% de germinación versus 37 días promedio y 55% de germinación, respectivamente (Molina, datos no publicados). Estos datos son similares a los obtenidos por Rivadeneira (2008) en Bolivia utilizando muestras de semillas comidas por osos de *Nectandra cuneatocordata*. Esta relación positiva entre el fruto de aguacatillo y los osos en el área de estudio, sugiere la viabilidad de restaurar los hábitats degradados con esta especie de árbol, lo cual proporcionaría una fuente de alimento estacional importante en la ecología de los osos (Molina, 2012 a).

1.5.9.4. Alimentación del oso andino

A. Patrón de alimentación con frutos de árboles de Pacches

Los osos andinos tienen una dieta muy diversificada, realizan grandes desplazamientos y los recursos que utilizan para alimentarse son estacionales, pudiendo consumir varios recursos de un mismo ecosistema. Por ejemplo, su dieta se basa en fibra que obtienen de plantas como el suro (*Chusquea spp.*), bromelias terrestres y epífitas (*Puya agu.*, *Greigia spp.*, *Guzmania spp.*, *Pitcairnia spp.*, *Tillandsia spp.*) palmas (*Ceroxylon spp.*, *Euterpe spp.*, *Geonoma spp.*, *Prestoea acuminata*), y heliconias (*Heliconia spp.*) También se alimentan de higos (*Ficus spp.*), frutos de ericáceas (*Disterigma spp.*, *Macleania rupestris*, *Pernettya prostrata*, *Vaccinium spp.*) y lauráceas (*Nectandra spp.*, *Ocotea spp.*). Estas dos últimas especies poseen los contenidos de lípidos que resultan difíciles de conseguir en la naturaleza y que forman parte de la dieta del mamífero (Castellanos *et al.*, 2005; Castellanos *et al.*, 2010; Castellanos *et al.*, 2016).

Por ejemplo, dentro y en los alrededores de la Reserva Biológica Maquipucuna, los osos andinos comen los frutos de aguacatillo de árboles de Pacches (*N. acutifolia*). El oso andino sube a los árboles hasta los 20-25 metros para alcanzar los frutos, y rompe las ramas con sus mandíbulas (Molina, 2012a). Además, los osos andinos no solamente dejan rastros cuando comen en los aguacatillos, sino también cuando comen bromelias en el páramo, incluyendo marcas en los troncos de los árboles que suben y las hojas de las bromelias que caen al suelo después de que los osos comen la base (Goldstein, 2004)

Los osos normalmente viven en las partes más altas de las montañas, pero bajan durante la fructificación de Pacches para comer sus frutos. Sin embargo, los Pacches no tienen frutos en los mismos meses o aún las mismas estaciones cada año. Si bien hay una relación positiva entre la presencia de oso y su alimentación con Pacches, no está bien entendida y estudios de esta especie vegetal puede clarificar el comportamiento de los osos con miras a su conservación (Scottgale, 2015). Por su parte, el estudio realizado por Campaña (1992) aporta las bases fenológicas de *Nectandra*

acutifolia y señala una relación de la época de floración con períodos lluviosos y fríos; mientras que, la fructificación se asocia con períodos cálidos y secos (Campana, 1992). A ello se suma el gran éxito de colonización actual de la especie en Maquipucuna, entre los 1.300 y 1.500 m.s.n.m (Molina, 2012a; Justicia, 2007; Justicia, com. pers.).

B. Ataque del oso andino a ganado y cultivos

Además, la proteína animal la obtiene al consumir lombrices, insectos, larvas, huevos, carroña o cazar roedores, aves, conejos, venados, tapires de montaña (*Tapiru spinchaque*) u otros osos muertos; algunos ejemplares, especialmente machos, pueden atacar ganado vacuno (Castellanos, 2010).

Reportes iniciales de depredación al ganado hecho por osos andinos, inician en Chaupiloma-Oyacachi (septiembre 2003) cuando los biólogos Espinosa y Aigaje observaron el momento en que un oso andino se alimentaba de un toro que presentaba severas heridas previas en su lomo (Castellanos *et al.*, 2010). Peyton (1999) asegura que *Tremarctos ornatus* no es un cazador nato, pero puede ser carroñero más que predador. En contraste, el seguimiento realizado a 3 osos reintroducidos en 1995 en la Reserva Biológica Maquipucuna, señala que uno de ellos mató a 3 terneros para su alimentación (Castellanos *et al.*, 2005). Por lo tanto es importante considerar la necesidad de proteína animal en la dieta del oso andino, que la obtiene de pequeños invertebrados y vertebrados.

1.5.10. Características ecológicas de *Nectandra acutifolia*

*1.5.10.1. Descripción de *Nectandra acutifolia**

Árbol nativo de 20 a 30 metros de altura que pertenece a la familia *Lauraceae*, género *Nectandra*. Crece principalmente entre 800-2.000 msnm en vertientes y valles de los Andes, se extiende en América tropical y está restringida a las Antillas, Guayana, Venezuela, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú. Rara vez se encuentra sobre los 2.400 msnm en tierras bajas del Occidente de los Andes y de la Amazonía sudamericana. Crece en bosque secundario, a lo largo de caminos, plantaciones y en pastizales (Rohwer, 1993). En el Ecuador está presente en Costa, Sierra y Amazonía (Cerón & Muñoz, 2015).

Posee un tronco con raíces tablares bajas o sin ellas y corteza externa de color café con pocas lenticelas (verrugas) dispersas. Sus frutos son drupas de una sola semilla, de color negro al madurar y con dimensiones de 1,5 cm de largo y ancho. Sus flores son blancas que presentan tres pétalos y tres sépalos poco diferenciados. Posee hojas simples con nervaduras longitudinales curvas de color verde oscuro por el haz y verde claro por el envés, las mismas que miden entre 8 y 10 cm de largo.

El diámetro a la altura del pecho es 1,3 metros a los 35 años de edad, y generalmente, el tronco es recto con diámetro entre 0,5 a 1 metro (González-Chávez, 2003; Cerón & Muñoz, 2015).

Los requerimientos edafológicos se fundamentan en suelos con altos contenidos de materia orgánica aunque soporta suelos con baja fertilidad natural y es muy tolerante a las sombras, por lo cual compete mejor con otras especies del bosque. *N. acutifolia* presenta gran relación con el ecosistema de niebla al servir como soporte y sombra de plantas epífitas. Por otro lado, su poder germinativo alcanza de 80-90% en semillas frescas y también se reproduce por estacas (González-Chávez, 2003).

Figura 7. Frutos, tronco y hojas de *Nectandra acutifolia*



Fuente: González-Chávez, 2003; Cerón & Muñoz, 2015

1.5.10.2. Fenología de la floración

A. Tiempo, duración y frecuencia de la floración

Los individuos de *Nectandra acutifolia* presentan una floración extensiva, lo que provee algunas ventajas como: un control de inversión de recursos para producir flores; incremento de la posibilidad

de fecundación, por un mayor tiempo de exposición de flores para los polinizadores; y, reducción de riesgos de baja fecundidad producto del mal tiempo. Existe otra ventaja que se deriva de la ubicación de esta especie en bosque secundario, ya que la producción de pocas flores en un largo período (floración extensiva) evita la competencia por los polinizadores para aquellos individuos de *Nectandra acutifolia* ubicados en sitios dispersos y abiertos. Por su parte, el estudio realizado por Campaña (1992) señala una periodicidad de los episodios florales anual y una floración asincrónica de los individuos de esta especie. Esto se explica a partir de la observación realizada durante 2 años a siete individuos en la Reserva Florística “Río Guajalito”; en donde, tres individuos iniciaron la floración en octubre y concluyeron en diciembre; mientras otros cuatro individuos lo hicieron un mes tarde y por lo tanto finalizaron en enero. Este estudio aclara que el período de floración extensiva comprende cuatro meses que coinciden con el inicio del invierno de los años 1990 y 1991, que se caracteriza por un aumento de lluvias desde el inicio al fin de la floración entre octubre a enero.

Algo característico de las especies del género *Nectandra*, es que se produce una caída y cambio de hojas uno a dos meses antes que se produzca la nueva floración, patrón que puede servir como indicador de la aproximación del período reproductivo (Campaña, 1992).

B. Período de antesis

La maduración de la antesis comprende el período receptivo del estigma, apertura de las tecas y disposición del polen. Las flores inician su proceso de antesis en las primeras horas del día, entre las 05h00 y 06h00 am. En la noche ninguna flor cierra sus pétalos como respuesta a una diversa fauna de polinizadores. Entre el primer y segundo día el estigma presenta una coloración blanca y secreta una sustancia transparente indicando su predisposición a recibir polen. En los tres días siguientes termina sus días receptivos y las anteras empiezan su proceso de maduración. Al quinto día, los paquetes de polen se hallan aptos para transportarse alargándose dos días para este proceso. En total el período de antesis se extiende a seis días: dos para la fase femenina y 4 para la fase masculina (Campaña, 1992).

C. Sistema de floración

Nectandra acutifolia es una especie hermafrodita a nivel de flor individual, de planta como individuo y a nivel de grupos de plantas. El hermafroditismo implica la existencia de órganos masculinos y femeninos activos dentro de una flor. Sin embargo, existe una clara separación espacial de los estambres y pistilos de manera que se impida una auto-fecundación intrafloral; a pesar de que con ello no se impide una fecundación entre las flores de un mismo árbol (geitonogamia). En *Nectandra acutifolia* existe un período de un día para el paso de la fase femenina a masculina (Campaña, 1992).

1.5.10.3. Potenciales polinizadores y entomofauna asociada

Los insectos que se encargan de la polinización corresponden a las familias: *Curculionidae* (Coleoptera), *Melolonthinae* (Coleoptera: Scarabaeidae), *Bibionidae*, *Membracidae* (Homoptera), *Lepidoptera* (larvas); y finalmente, otro grupo perteneciente a *Pseudoscorpionidae* (artrópodo). La planta tiene que atraerlos al interior de la flor para que el insecto transporte el polen. No siempre el coleóptero transporta polen y, en algunos de los casos, las piezas florales son su alimento antes que hayan madurado. Por esta razón, el estudio efectuado por Campaña (1992) no pudo afirmar que los coleópteros observados sean polinizadores efectivos. Por otro lado, la floración extensiva de *Nectandra acutifolia* pretende asegurar la fecundación de un mayor número de flores por una prolongada exposición de las flores, señalando un patrón de relación directa entre la duración de la floración y la presencia de herbívoros florales.

1.5.10.4. Fructificación: consecuencia de la fecundación

La existencia de un número considerable de herbívoros florales durante el período prolongado de floración de *Nectandra acutifolia*, no significa una disminución de la cantidad de ovarios fecundados en *Nectandra acutifolia*. Es característico que algunos frutos caigan durante los primeros meses luego de la floración; mientras que otros, presentan un crecimiento degenerativo (alargamiento) que posteriormente se desprende, permaneciendo pocos frutos al inicio de la siguiente floración. Existen entre 3 y 4 frutos por inflorescencia. Wyatt (1980) reconoce que el porcentaje de flores fecundadas siempre es mayor que la cantidad de frutos producidos. Mientras que otros autores enfatizan que menos del 1% de las flores de toda la familia *Lauraceae* se desarrolla en fruto (Campaña, 1992).

Se pueden encontrar frutos entre agosto y septiembre. También se han reportado períodos de floración entre febrero a abril y fructificación en mayo. Los frutos son drupas ovaladas, verdes,

insertas hasta casi la mitad de su tamaño en una cúpula de igual color. En Colombia, por ejemplo se señala que maduran desde mayo hasta junio o julio (González-Chávez, 2003; Cerón & Muñoz, 2015).

1.5.10.5. *Uso maderable de especies de Nectandra*

Los árboles de Pacches colonizan en bosques secundarios entre 1.300 y 1.500 m.s.n.m. asociados a Bosque Siempreverde Montano Bajo. Al menos una especie de Pacche es conocida localmente como una especie maderera de calidad que puede ser un sustituto de productos maderables de alto impacto y es una especie pionera de rápido crecimiento, favoreciendo hábitats para otras especies de flora y fauna. Árbol de madera fina y durable, inatacable por los insectos. Es utilizado en fabricación de muebles, postes para cercas y vigas (González-Chávez, 2003; Justicia, com. per.). Esta es una ventaja que señala la importancia de extender áreas cubiertas con Pacches para fortalecer el hábitat idóneo del oso andino que asegure su persistencia en el corredor que lleva su nombre.

CAPÍTULO II

2. ÁREA DE ESTUDIO

2.1. LOCALIZACIÓN DEL CORREDOR DEL OSO ANDINO EN EL DMQ

2.1.1. Límites

El Corredor del Oso Andino (CEOA) limita al norte partiendo de la desembocadura del río Meridiano en el Río Intag, con coordenadas 78°37'30"W y 00°13'01"N, cubriendo la totalidad de los límites del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). En dirección nor-este limita con la divisoria de aguas del Río Jondanga (78°28'19"W y 00°10'47"N). El límite continúa aguas abajo con dirección sur hasta el Río Guayllabamba (78°29'09"W y 00°07'17"N). En dirección sur-este el CEOA limita con la Reserva Geobotánica Pululahua (78°27'57"W y 00°02'09"N), y abarca la reserva y ACUS (Área de Conservación y Uso Sustentable) Yunguilla (78°31'44"W y 00°01'49"N), estableciendo un límite sur-central con el Río Blanco (78°35'09"W y 00°00'35"N). El límite sur-occidental comprende la desembocadura en el río Pichán. (78°35'26"W 00°00'34"N), y abarca el Bosque Protector Cuenca del Río Guayllabamba (área 1). En el extremo occidental limita con la Quebrada Guaycape, poblado Nanegalito y el ACUS Pachijal (78°41'47"W y 00°02'03"N). Finalmente limita al nor-occidente con el Río Alambi (78°40'06"W 00°08'09"N) y el centro poblado de Nanegal (ver Anexo 3. Mapa Base del Corredor del Oso Andino) (Molina, 2014).

2.1.2. Áreas protegidas y bosques protectores

El Corredor Ecológico del Oso Andino (CEOA) ha sido descrito y reconocido mediante Resolución No.431 del Consejo Metropolitano de Quito (2013) y cuenta con una extensión de 64 554 hectáreas. El CEOA forma parte de un territorio más extenso que incluye áreas con importantes remanentes naturales que sirven para la movilización del oso andino como especie paisaje/paraguas. Estas áreas parcialmente protegidas se extienden geográficamente entre dos áreas protegidas: la Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas y la Reserva Ecológica Los Illinizas. El fundamento de los corredores naturales radican en permitir la conectividad entre áreas protegidas tomando en consideración áreas que no se encuentran protegidas, que incluyen especies importantes o emblemáticas y también la presencia del ser humano. Por este motivo, el CEOA fue delimitado en función de disponibilidad de hábitat (bosque) para el oso andino y al 2017 se ha estimado una población de 40 osos ocupando este

corredor. La importante conectividad que se puede establecer a partir del CEOA radica, en primer lugar, en la disponibilidad de cinco áreas protegidas metropolitanas (reconocidas bajo Ordenanza Metropolitana No.213 del DMQ), constituyendo así, el Subsistema Metropolitano de Áreas Naturales Protegidas (SMAP) que protegen el 31% del DMQ. En segundo lugar, la existencia de áreas protegidas del Estado (SNAP), 22 bosques protectores y superficies cubiertas por el Programa Socio Bosque, permiten establecer un corredor de conectividad que enlace poblaciones de oso andino que se movilizan entre R.E. Cotacachi-Cayapas y R.E. Los Illinizas (Molina, 2017).

En la Tabla 3 se detallan el conjunto de áreas protegidas que constituyen zonas núcleo para el establecimiento de un corredor natural, del cual forma parte el CEOA como zona con hábitat disponible para poblaciones de oso andino en el DMQ.

En total, 10 bosques protectores, 1 área protegida del SNAP, 1 área protegida del SMAP y 1 categoría comprendida en el Programa Socio Bosque comparten superficie con los límites del Corredor Ecológico del Oso Andino y se señalan con tono gris.

Tabla 3. Sistema de áreas protegidas y bosques protectores enlazando hábitat entre R.E. Cotacachi-Cayapas y R.E. Los Illinizas para el oso andino

Tipo de Protección declarada	Manejo	Nombre	Superficie hectáreas
Programa Socio Bosque	comunitario	Cooperativa de Conservación y Desarrollo Comunitario Sustentable Santa Lucia	472,73
Bosque Protector	privado	San segundo	32,46
	privado	Hacienda san Eloy	36,58
	estatal	Siempre vida	310,23
	privado	Estación Científica Rio Guajalito	385,42
	privado	La Paz y San José de Quijos	399
	privado	Siempre Verde	406,6
	privado	Predio Pacay	519
	privado	San Carlos de Yanahurco	645,11
	estatal	Nebliña Sur	1.029,37
	privado	Animanga o Taminanga grande	1.096,13
	estatal	Cuenca rio Guayllabamba (área 2), área entre el rio Tulumbi y margen derecha del rio Alambi	1.174,30
	privado	Toaza	1.247
	privado	Tanlahua y ampliación	1.862,28
	privado	Maquipucuna	2.474,22
	privado	Santa Rosa y Yasquel	2.597,16
	comunitario	Cambugán	4.115,83
	estatal	Paso Alto	4.813,80
		estatal	Cuenca rio Guayllabamba (área 1), área de drenaje de los rios Umachaca, quebrada Afilana, margen izq. del rio Pichan, Alambi alto y Tandayapa
	estatal y privado	Míndo Nambillo	19.530,82
	privado	Zarapullo	21.328,83
	estatal	Flanco Oriental de Pichincha y cinturón verde de quito	33.079,44
	estatal y privado	Toachi Pilatón	70.892,75
Reserva Geobotánica	estatal	Pululahua	3.541,90
Reserva Ecológica	estatal	Los Illinizas	154.648,16
		Cotacachi-Cayapas	232.569,32
ACUS Área de Conservación y Uso Sustentable	municipal	Yunguilla	2.982
AIER Área de Intervención Especial y Recuperación		Pichincha-Atacazo	9.932,50
ACUS		Pachijal	16.118,60
APH Área de Protección de Humedales		Mashpi-Guaycuyacu-Shahuangal	17.236,92
CE		Cerro Las Puntas	28.177,43
		Corredor Ecológico del Oso Andino	64.554
TOTAL			712.662,31

Fuente: Carrera *et al.*, 2016; modificado por Parra, 2018

2.2. CARACTERIZACIÓN BIOGEOGRÁFICA

El Corredor del Oso Andino en el Distrito Metropolitano de Quito se halla inmerso en la biorregión del Chocó Andino del Ecuador, la misma que se encuentra en dos “puntos calientes de biodiversidad” (hotspots, por su traducción al inglés): el Chocó-Darién-Ecuador Occidental y Andes Tropicales. A su vez, estos “hotspot de biodiversidad” abarcan los bosques húmedos de tierras bajas del Chocó-Darién que se extienden hasta Panamá; y, los bosques montanos de los Andes del Norte sobre los 900 m.s.n.m. Dodson y Gentry (1991) advirtieron que para inicios de los años 90, los bosques húmedos de tierras bajas del occidente ecuatoriano desaparecían gradualmente; sin embargo, aún existen extensiones de bosque remanente en el Corredor del Chocó Andino que están gravemente amenazadas por la deforestación (Dodson & Gentry, 1991; Justicia, 2007). Este suceso pone en peligro la biodiversidad y endemismo del Chocó Andino, al cual pertenecen dos Áreas Endémicas de Aves (EBA, por sus siglas en inglés): “EBA Chocó” y una porción del “EBA Andes Centrales del Norte”. Así mismo, abarca 19 de las 114 IBAs (áreas importantes para aves y biodiversidad) establecidas en el Ecuador (Aves y Conservación-Birdlife Ecuador, 2017). El corredor protege cinco sistemas hídricos: Chota-Mira-Mataje, Santiago-Cayapas, Río Verde y Guayllabamba-Esmeraldas. Finalmente, el Chocó Andino cubre un rango altitudinal diverso, razón por la cual, incluye una variedad de ecosistemas que van desde tierras bajas en el costa ecuatoriana hasta el páramo en la Cordillera Occidental de los Andes (MAE-Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2016).

Por otro lado, la distribución de ecosistemas en el Ecuador considera factores biogeográficos enfocados en la composición florística de unidades jerárquicas y son: región, provincia, sector y las comunidades vegetales a escala local (ecosistemas). Puntualmente, el Corredor del Oso Andino se halla descrito por 3 sectores biogeográficos y 8 ecosistemas bajo el Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental (ver Tabla 4). El primer sector biogeográfico “Cordillera Occidental de los Andes” comprende bosques que se caracterizan por un mayor índice de endemismo, contando con 5 ecosistemas siempreverdes piemontanos a montano altos. En el piso piemontano es notoria la fuerte influencia del Chocó biogeográfico, en donde las especies de tierras bajas encuentran su límite superior de distribución (e.g. *Myristicaceae*) y las epífitas se vuelven más abundantes. En los “bosques de neblina”, los árboles están cargados de briofitas y presentan una altura del dosel entre 20 y 25 m. Sobre los 3.100 msnm se encuentran los bosques montano altos, muy similares a los “bosques de neblina” pero se diferencian por la gran cantidad de briofitas que se encuentran en el suelo (MAE, 2013).

En el área de estudio, el “Bosque siempreverde piemontano de Cordillera Occidental de los Andes” comprende bosques multiestratificados, con un dosel entre 25 a 30 metros, comparte muchas especies con los bosques de tierras bajas, y algunas especies de bosques montano bajos. Se presenta sobre

laderas muy pronunciadas. Las familias vegetales dominantes son *Arecaceae*, *Rubiaceae* y *Lauraceae* con especies del género *Ocotea*, *Nectandra*, y *Aniba*. Además, las especies diagnósticas que reflejan condiciones o gradientes específicos de clima, humedad, nutrientes, sustratos, hidrología y perturbación son: *Nectandra guararipo*, *Ocotea sodiroana*, entre otras (MAE, 2013).

También se presenta el “Bosque siempreverde montano bajo de Cordillera Occidental de los Andes” cuyo dosel es generalmente cerrado, alcanza de 20 a 30 metros de altura, y los árboles emergentes suelen superar los 35 metros. La vegetación herbácea es densa dominada por helechos y aráceas; mientras que, la vegetación arbustiva es escasa con dominio de *Rubiaceae* y *Melastomataceae*. De 1.500 a 2.000 msnm la riqueza de especies trepadoras, leñosas y árboles disminuye mientras que el número de epifitas aumenta. Entre las familias representativas se encuentran: *Lauraceae*, *Rubiaceae*, *Moraceae* y otras. Entre los géneros arbóreos, en el dosel se encuentran: *Ficus*, *Ocotea*, *Nectandra*, *Persea*, *Guarea*, *Carapa* e *Inga*. Por su parte, entre las especies diagnósticas se hallan: *Nectandra acutifolia*, *N. globosa*, *N. lineata* (MAE, 2013).

Además, la presencia de “Bosque siempreverde montano de Cordillera Occidental de los Andes” se halla descrita por bosques siempreverdes multiestratificados, cuyo dosel alcanza entre 20 a 25 m y árboles cubiertos de briofitos. En el dosel una de las familias frecuentes son *Lauraceae* y el género representativo *Nectandra*; a su vez, entre las especies diagnósticas se señalan *Nectandra laurel*, *Ocotea floribunda*, *O. rugosa*. En el subdosel están las familias *Rubiaceae*, *Actinidiaceae*, y otras. En este ecosistema, la gran cantidad de nubes afecta la energía, luz y regímenes de temperatura y aportan potencialmente una gran cantidad de agua como lluvia y precipitación horizontal. Las plantas del estrato herbáceo y epífita son captadoras y filtradoras de esta gran humedad ambiental. De manera complementaria, el ecosistema “Arbustal siempreverde montano del norte de los Andes” es discontinuo ubicado en quebradas y áreas de difícil acceso con pendientes de hasta 60°. Se encuentra en las vertientes internas y laderas occidentales montañosas húmedas de la cordillera de los Andes. Está compuesto por vegetación sucesional, donde los bosques montanos han sido sustituidos por cultivos entre los cuales quedan remanentes formados por una vegetación arbustiva alta con dosel de aproximadamente 5 m. y sotobosque arbustivo de hasta 2 m. (MAE, 2013).

Finalmente, el ecosistema “Bosque siempreverde montano alto de Cordillera Occidental de los Andes” cuenta con bosques siempreverdes con un dosel bajo entre 15 y 20 m. El sotobosque es denso con abundantes herbáceas, epífitas y briofitas que cubren el suelo, ramas y fustes. Una diferencia importante con el bosque montano es que el suelo tiende a cubrirse por una densa capa de musgo. Adicionalmente, los árboles crecen irregularmente con troncos ramificados e inclinados ya que el metabolismo de los árboles está limitado por las temperaturas bajas y suelos menos fértiles a causa de la baja tasa de descomposición de la materia orgánica. Este ecosistema se presenta en forma de islas de bosque natural (fragmentos o parches) relegados a las quebradas o en suelos con

pendientes pronunciadas. Este aislamiento del bosque se debe a varios factores, como los provocados por deslizamientos, derrumbes u otros desastres naturales y los ocasionados por el ser humano (MAE, 2013).

El sector biogeográfico “Páramo” que recae sobre el Corredor Ecológico del Oso Andino se halla sobre los 3.400 msnm de la línea de bosque en la Cordillera Occidental de los Andes hasta los 3.560 msnm y cuenta con dos ecosistemas. El primero corresponde “Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo” que se caracteriza por arbustales frecuentemente dispuestos en parches de hasta 3 m de altura, mezclados con pajonales amacollados de alrededor de 1,20 m. En todo el país este ecosistema se caracteriza por la presencia de *Calamagrostis spp.* y es considerado como la franja del ecosistema de bosque montano alto. Además, el “Herbazal del Páramo” es un ecosistema que abarca la mayor extensión de los ecosistemas de montaña en el Ecuador con herbazales densos dominado por gramíneas mayores a 50 cm de altura. Se extiende a lo largo de los Andes desde el Carchi hasta Loja. Es característico del piso montano alto superior y se localiza generalmente en los valles glaciares, laderas de vertientes disectadas y llanuras subglaciares sobre los 3400 msnm. Gracias a sus condiciones climáticas de alta humedad contiene una gran cantidad de agua por unidad de volumen (80-90% por cm³) con una excepcional capacidad de regulación hídrica. Su estructura y composición de la vegetación está influenciada fuertemente por las quemaduras asociadas a la ganadería extensiva. Un complejo mosaico que resulta de estas prácticas crea diferencias temporales y espaciales a lo largo de la gradiente altitudinal. En lugares donde existe una mayor intensidad de quemaduras y pastoreo, los herbazales tienen una menor altura, el estrato arbustivo está ausente y muchas de las especies rastreras son escasas (MAE, 2013).

El sector biogeográfico “Valles”, en el área de estudio, se compone del ecosistema “Bosque y Arbustal semidecídulo del norte de los Valles”. Este ecosistema se registra aproximadamente entre 1200 y 2600 msnm; en áreas abiertas degradadas y con pendiente fuerte. Los bosques que alcanzan entre 8 y 12 m de altura, se encuentran en los valles interandinos secos sobre colinas y laderas de suelos pedregosos (MAE, 2013). De manera general en el Corredor del Oso Andino, existen zonas intervenidas por acción humana, en donde el mayor porcentaje de intervención se localiza en la Cordillera Occidental de los Andes (ver Tabla 4).

El clima está influenciado por los vientos provenientes de la costa ecuatoriana en dirección a la cordillera andina, lo que genera una cobertura nubosa y precipitación. El promedio anual de precipitación en dos poblados cercanos (Nanegalito y Nanegal) varía entre 204 y 243 milímetros; mientras que, la temperatura media anual oscila entre 18°C (bajo rango altitudinal) y 12°C (alto rango altitudinal) (Molina *et al.*, 2017).

De manera general, dentro del DMQ hay cinco tipos de climas ecuatoriales: 1) Ecuatorial de Alta Montaña (750–2.000 mm de precipitación), 2) Ecuatorial Mesotérmico Seco (<750 mm de

precipitación), 3) Ecuatorial Mesotérmico Semi-húmedo (600–2.000 mm de precipitación), 4) Tropical Megatérmico Húmedo (> 2.000 mm de precipitación) y 5) Nival (> 1.000mm de precipitación) (MECN, 2009; MECN- SA (DMQ), 2010).

Tabla 4. Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental para el Corredor del Oso Andino

Sector biogeográfico	Nomenclatura	Ecosistema	Rango Altitudinal Referencia geográfica	Superficie (ha.) /% Ocupación
Valles	BmMn01	Bosque y Arbustal semidecíduo del norte de los Valles	1.200-2.600 msnm Pichincha: Guayllabamba, Bosque Protector Jerusalem, San Antonio de Pichincha, Tababela	4.562,7 ha. 7,07%
	Zona intervenida			481,5 ha. 0,75%
Cordillera Occidental de los Andes	BsPn01	Bosque siempreverde piemontano de Cordillera Occidental de los Andes	300-1.400 msnm Parte oriental de la Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas. En Esmeraldas: Reserva Awá	3.433,43 ha. 5,32%
	BsBn04	Bosque siempreverde montano bajo de Cordillera Occidental de los Andes	1.400-2.000 msnm Reserva Maquipucuna y parte Baja Rio Guajalito	15.558,95 ha. 24,10%
	BsMn03	Bosque siempreverde montano de Cordillera Occidental de los Andes	2.000-3.100 msnm Reserva Maquipucuna, Míndo	23407,29 ha. 36,26%
	AsMn01	Arbustal siempreverde montano del norte de los Andes	2.000-3.100 msnm Pichincha: Quebradas de Quito, via Pifo-Papallacta, via Quito-Nono	57,77 ha. 0,09%
	BsAn03	Bosque siempreverde montano alto de Cordillera Occidental de los Andes	3.100-3.600 msnm Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas y Los Illinizas	667,91 ha. 1,03%
	Zona intervenida			16276,84 ha. 25,21%
Páramo	AsSn01	Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo	3300-3900 msnm-norte del Ecuador El Tablón (Reserva Ecológica Antisana), Guagua Pichincha	2,7 ha. 0,00%
	HsSn02	Herbazal del Páramo	3.400-4.300 msnm-norte del Ecuador Pichincha: Cayambe, Guamani, Oyacachi, Reserva Ecológica Antisana	87,72 ha. 0,14%
	Zona intervenida			17,53 ha. 0,03%

Fuente: MAE, 2013; modificado Parra, 2018

2.3. CARACTERIZACIÓN ECONÓMICA Y POBLACIONAL

El Corredor Ecológico del Oso Andino se ubica en las parroquias rurales de Calacalí, Nanegal, Nanegalito, Nono, San José de Minas, Puéllaro y Perucho dentro del Distrito Metropolitano de Quito. Un aspecto característico tanto en el sur-occidente (Nono), en Calacalí y otras poblaciones de las estribaciones occidentales, el actual noroccidente quiteño, fue ocupado por pueblos Yumbos (SIPAE, 2013).

En cuanto a dinámicas extractivas, la explotación de bosques primarios para el comercio de madera alcanza un ritmo intenso solo después de 1940, cuando se construye la vía que conecta al noroccidente con Quito, pasando por Nono. El desbroce de bosques y la necesidad de implementar límites a las propiedades impulsa el auge de la producción de caña, estableciéndose cañaverales en Nanegal, Pacto y Gualea (que se especializan en producir panela y aguardiente), lo cual crea la necesidad de contratar mano de obra y con ello un flujo migratorio desde Carchi y Colombia. Los cultivos de pitahaya, cacao, café, cítricos en general, maní, plátano, yuca, entre otros, se destinan al autoconsumo familiar y mercado local. Con la vía Quito-Nono-Noroccidente, se activa la producción de aguardiente, principalmente negociada por comerciantes de Calacalí, que trasladan en mulas el producto hasta las parroquias aledañas y Quito.

En cuanto a la explotación de bosques de guayacán, laurel y otros que permiten la obtención de madera fina, esta fue la principal actividad de los pobladores noroccidentales hasta los años 60. En estos años surge una nueva legislación sobre tierras baldías y, desde luego, la reforma agraria y colonización. En este contexto, la el noroccidente vive por segunda vez un flujo de inmigración. Surge la crisis de la producción tradicional y el estímulo estatal a la colonización, (desde la segunda mitad de 1960, aunque con fuerza a raíz de 1970). Paralelamente, la ganadería de leche y de carne cobran trascendencia en toda la microrregión. En los años 70 y 80, la imagen de prosperidad que proyecta el noroccidente quiteño, atrae a personas y familias que vienen en búsqueda de tierras y oportunidades de vida. La apertura de la vía Calacalí-La independencia y la construcción de una red vial al interior de la microrregión favorece la indicada tendencia que termina por estimular la producción de leche y conducir a los tanqueros de recolección a sitios distantes. Para la década de los 90, se consigue consolidar la producción de leche, lo cual despierta iniciativas de transformación de la producción láctea expresadas en la instalación de plantas procesadoras artesanales y pequeñas dedicadas a la producción de queso y demás derivados. (SIPAE, 2013).

Grandes empresas agroindustriales amplían su mirada a la microrregión: Pronaca, Pofasa y Grupo Oro instalan grandes criaderos de aves y porcinos. Incluso al interior de la Reserva Geobotánica Pululahua hay un plantel avícola de Pofasa. Para 1996, despega la explotación minera enfocada en el oro y cuarzo mediante la conformación de asociaciones y grupos. Con ello surgen conflictos se

hacen presentes entre quienes abogan a favor o en contra de tal actividad. Las expectativas generadas por el extractivismo atraen población, en su mayoría de Manabí y Loja. En la década de 2000, varias propiedades privadas que habían preservado bosques y vegetación primaria presionan para ser reconocidas como “bosques y vegetación protectores”, entre los que se señala la Reserva Maquipucuna (45.000 hectáreas) (SIPAE, 2013).

En las parroquias Nanegal y Nanegalito (zona alta de montaña), los sistemas de producción son caña de azúcar y pastizales, las mismas que están en grandes extensiones privadas y coexisten con pequeñas unidades familiares. Desde hace cinco años, nuevos sistemas productivos se están implementando, este es el caso del café. En Calacalí, la explotación de canteras (material pétreo) constituye una actividad con impactos ambientales y económicos, que principalmente amenazan los Bosques protectores Tanlahua, Flanco oriental de Pichincha y Cinturón Verde de Quito y Bosque nublado de Yunguilla. A inicios del año 2012, de 33 canteras en explotación en la zona, solo una cumple con normas técnicas para su funcionamiento. Motivo tal que lleva a la decisión de las autoridades municipales a proceder al cierre de las canteras. No obstante, la presión de las Cámaras de la Construcción, el chantaje de propietarios de canteras y volquetas que elevan el precio del material pétreo, influyeron en la decisión de autorizar la reapertura de esas canteras (SIPAE, 2013).

En Perucho y Puéllaro, el maíz suave se cultiva entre los 2400 a 2900 msnm de forma extensiva y se constituye como el segundo cultivo en importancia del sector, por la superficie que ocupa. La mayoría de agricultores dedicados a este cultivo son pequeños productores, con propiedades de entre 1 y 5 hectáreas sin acceso a riego. Generalmente, el cultivo del maíz se asocia con el fréjol y es de producción temporal, dependiendo del inicio de lluvias que entre septiembre a noviembre, y la cosecha entre abril y mayo. El maíz ha incrementado su superficie, ocupando las superficies de trigo y cebada, tanto por la poca tecnología aplicada, la poca dependencia de uso de agroquímicos cuanto por las labores culturales que no requieren mayor uso de mano de obra. El frutal de mayor superficie es el de caña de azúcar (47%) y, sobre todo, en parte occidental de la parroquia San José de Minas es usada para producción de panela. El aguacate ocupa 21% y la chirimoya el 12%. Ambos se encuentran ubicados en bosque seco Montano Bajo (bsMB), que se concentra alrededor del río Guayllabamba, en las parroquias de Puéllaro, Perucho, Atahualpa y San José de Minas. Puéllaro es la parroquia con mayor porcentaje de suelo dedicado a cultivo de hortalizas (94%), cuyo manejo es intensivo y manual (SIPAE, 2013).

En la parroquia San José de Minas, el 75% de la zona Palma Real evidencia procesos de deforestación y quema de bosques, lo que ocasiona erosión del suelo y extinción de varias especies, como el oso de anteojos, los tigrillos, las pavas, el gallito de la peña, los tucanes y otras especies (Junta parroquial de San José de Minas: plan de Desarrollo y ordenamiento territorial, 2011). Además, el sistema tradicional de producción ganadera extensiva afecta principalmente a áreas naturales. A su vez, el

sistema tradicional de producción ganadera afecta principalmente a áreas naturales, provocando sobrepastoreo y con el consecuente apareamiento de afloramientos de cangahua. En San José de Minas hay comunidades ancestrales: Quitzaya, Anagumba, Minas Chupa, Motilón, Jatumpamba y Barrio nuevo, que mantienen la minga como actividad colectiva; sin embargo, sufren conflictos organizativos. Situación agravante sufren varias comunidades de Puéllaro y Perucho con poca capacidad organizativa (SIPAE, 2013).

En los últimos 12 años, en el noroccidente se multiplican los lugares para turismo de fin de semana y, con ese propósito, se construyen instalaciones de descanso y recreación, aumentan hostales y restaurantes, las actividades de diversión y el turismo. Sin embargo, también se amplían las inversiones inmobiliarias de capitales ciudadanos que buscan establecer propiedades para vivienda y descanso en lotes de hasta 5 hectáreas (SIPAE, 2013).

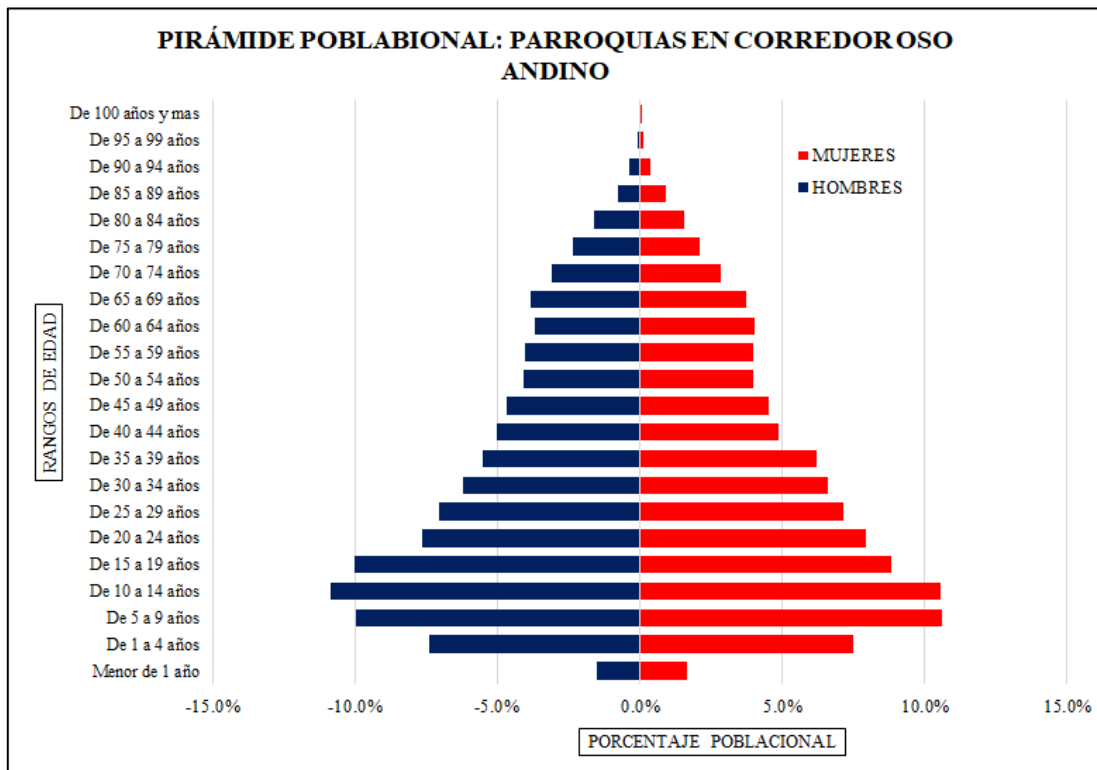
Tabla 5. Reconocimiento de parroquias de Quito (hoy consideradas parroquias rurales)

Calacalí	1861	Reconocida como tal por la Ley de División Territorial de 1861
Nono	1861	
Nanegal	1861	
Perucho	1861	
Puéllaro	1861	
San José de Minas	1884	Reconocida como tal por la Ley de División Territorial de 1884
Nanegalito	1952	Mediante Ordenanza 775, se constituye esta nueva parroquia. En los considerandos de esta Ordenanza se señala "Que la zona denominada Nanegalito ocupa la sección más cultivada y poblada del sector noroccidental de Quito; que por efecto de la falta de caminos, se hace imposible la atención a la zona de Nanegalito, tanto desde Gualea como desde Nanegal que quedan a varios días de distancia, lo que se vuelve insalvable en etapa invernal. Aparte de la población de Nanegalito, esta nueva parroquia quedó integrada por los barrios de los Dos Puentes, Taguaguirí, Nueva Granda, Culantropamba, Tandayapa y Santa Elena, con lo cual quedaron reformados los límites de Gualea y Nanegal.

Fuente: Instituto de la Ciudad & SIPAE, 2013

A continuación se establece la pirámide poblacional de las siete parroquias rurales (Calacalí, Nanegal, Nanegalito, Nono, San José de Minas, Puéllaro y Perucho) sobre las cuales se extienden los límites del Corredor Ecológico del Oso Andino:

Figura 8. Pirámide poblacional de las parroquias rurales en el CEOA



Fuente: INEC-Ecuador, 2010; modificado por Parra, 2018

La pirámide poblacional señala una base demográfica joven que comprende registros altos entre los 5 y 29 años de edad, y una marcada disminución demográfica entre el intervalo entre los 30 y 54 años de edad. El porcentaje poblacional es el menor entre los 75 y 89 años de edad, aunque se evidencian registros de longevidad menor a partir de los 95 años de edad. Se puede deducir que la fuerza de trabajo establecida por la población joven es significativa hasta llegar a la tercera edad. La necesidad de fuerza laboral dedicada a actividades mayormente agropecuarias y turísticas se describe en la consolidada base demográfica mayormente joven, que se reparte equitativamente entre población masculina y femenina.

Para describir la composición demográfica se ha considerado el indicador denominado Población en Edad de Trabajar (PET), ya que es una medida demográfica que refleja indirectamente la oferta de trabajo y para el presente caso de estudio, se ha estimado el 81% de la población total. Se ha escogido este indicador por la naturaleza informal de las actividades agropecuarias que se fundamentan en mano de obra familiar constituida por el núcleo de padres e hijos. Según las pautas de la Organización Internacional del Trabajo, el límite inferior de la PET es la edad a la cual las personas deben terminar la educación básica. La Constitución del Ecuador (2008) establece la obligatoriedad de la enseñanza inicial, básica y bachillerato; sin embargo, la definición de PET se aplica a partir de los 10 años con

la finalidad de captar las estadísticas el trabajo infantil (INEC-Ecuador, 2010). La tabla a continuación señala las cifras demográficas de las parroquias rurales en estudio:

Tabla 6. *Población a nivel parroquial por sexo*

	Número de habitantes			Porcentaje
	Hombre	Mujer	Total	Población
PERUCHO	407	382	789	3%
NONO	910	822	1.732	7%
NANEGAL	1.417	1.219	2.636	11%
NANEGALITO	1.555	1.471	3.026	12%
CALACALI	1.947	1.948	3.895	16%
PUELLARO	2.772	2.716	5.488	22%
SAN JOSE MINAS	3.775	3.468	7.243	29%
POBLACIÓN < 9 años			4.798	19%
PET			20.011	81%
TOTAL POBLACIONAL			24.809	100%

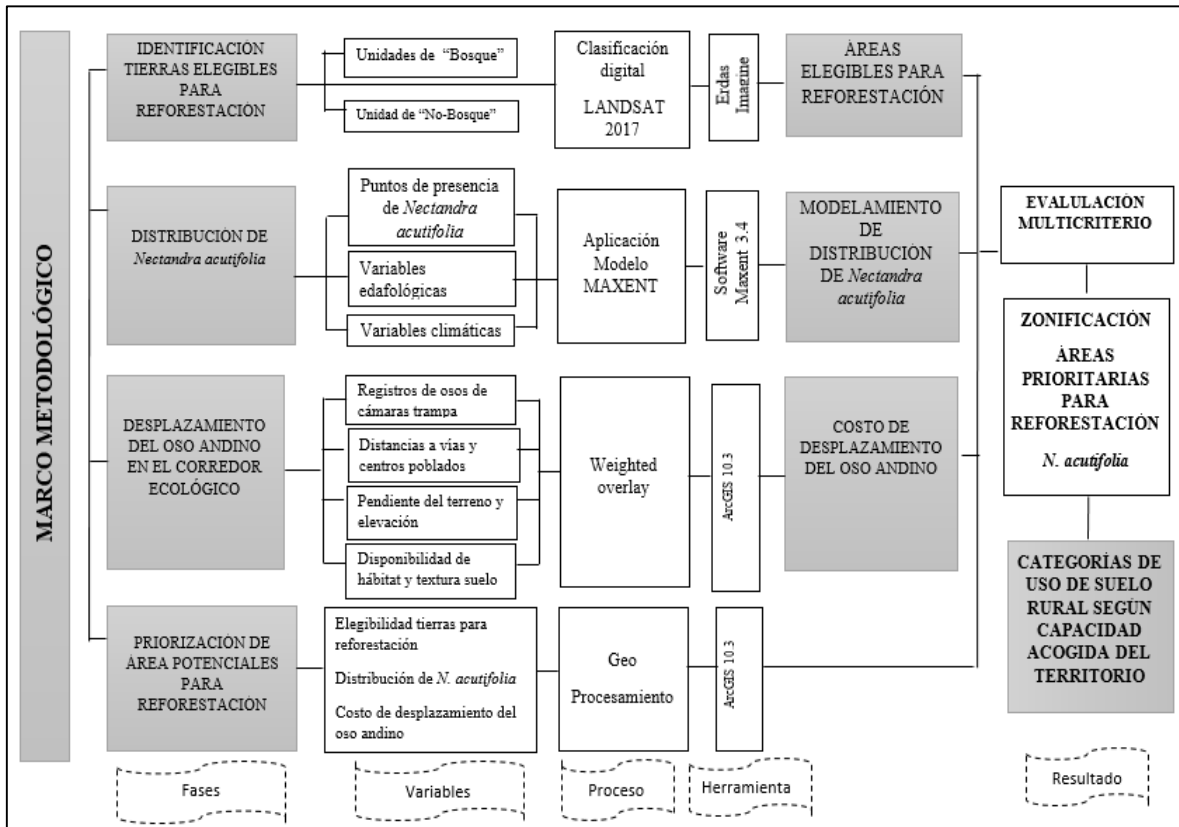
Fuente: INEC-Ecuador, 2010; modificado Parra, 2018

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

La identificación de áreas potenciales para reforestación consta de cuatro etapas principales, la primera de ellas se enfoca en diferenciar unidades con cobertura vegetal que cumplan con la definición de “bosque” adoptada por el Ecuador en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y aquellas que sean consideradas “no bosque”. Este proceso se realizó con la finalidad de identificar los remanentes de bosque que necesitan conectividad para facilitar la movilidad de poblaciones de oso andino a través de una matriz de paisaje antropizada (unidades de “no- bosque”) sobre las cuales establecer la propuesta de reforestación con *Nectandra acutifolia*. La segunda etapa consistió en predecir las condiciones ambientales de nicho ecológico que identifiquen áreas de distribución de *Nectandra acutifolia* sobre el Corredor del Oso Andino. Este segundo proceso permitió agregar precisión biológica a la sectorización de reforestación, pues satisface las necesidades edafológicas y climáticas de esta especie nativa, estableciendo así un mayor éxito de colonización de *Nectandra acutifolia* para fines de manejo forestal. La tercera etapa consiste en la priorización de áreas de reforestación en función de la mejor ruta de desplazamiento para osos andinos. Esto se ha logrado a través de la evaluación multicriterio de variables espaciales que describen funciones de costo de movilización del mamífero en el corredor ecológico. Finalmente, la sectorización de áreas potenciales para reforestación combinó unidades de uso de suelo, áreas de distribución de *Nectandra acutifolia* y rutas de desplazamiento de *Tremarctos ornatus*, estableciendo conectividad con áreas naturales protegidas existentes dentro del Corredor Ecológico del Oso Andino y proyectándose a núcleos de conectividad fuera de sus límites. Este último proceso se ha complementado con la propuesta de categorías de uso de suelo rural dentro del corredor ecológico con el objetivo de planificar el ordenamiento del territorio en la zona de estudio y que la reforestación se incluya como una estrategia de conservación.

Figura 9. Marco metodológico



Elaborado por: Paola Parra

3.1. IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS ELEGIBLES PARA REFORESTACIÓN SEGÚN EL CONCEPTO DE BOSQUE

La identificación de tierras elegibles consiste en la interpretación de uso del suelo y cobertura vegetal en dos imágenes satelitales (2015 y 2017). Con ambas imágenes se logró seleccionar las áreas de bosque y “no bosque”, por ser aquellas con menor cobertura de nubes disponible a la actualidad. En segundo lugar se obtuvieron los cambios de uso de suelos en el período 2001-2017 mediante la comparación de la interpretación de uso de suelo actualizada y las coberturas de uso de suelo del Proyecto “Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, Ecuador, escala 1:25.000” (MAGAP-IEE, 2013), y la cobertura y uso del suelo realizado por la Secretaría del Ambiente-DMQ (2010). Por lo tanto, las series de datos de diferentes años permitieron evidenciar la dinámica reducción de remanentes de bosque e identificar áreas alteradas por actividades agropecuarias y productivas, que sean elegibles para reforestación y permitan la conectividad.

3.1.1. Definición de Bosque según el CMNUCC

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) establece una definición de “bosque” adoptada por el Ecuador donde se señala una superficie mínima de tierras de 1 hectárea, con una cubierta de copas del 30%, y con árboles que pueden alcanzar una altura mínima de 5 metros a su madurez in situ.

Tabla 7. *Definición de bosque adoptada por los países de la región Andina*

País	Cobertura (%)	Área (ha)	Altura (m)
Colombia	30	1	5
Perú	30	0,5	5
Ecuador	30	1	5
Bolivia	30	0,5	4

Fuente: Gálmez & Kómetter, 2009, modificado por Parra, 2018

3.1.2. Pre-procesamiento de imágenes satelitales

Para la presente disertación se seleccionaron dos imágenes LANDSAT 8 OLI/ TIRS: 11 de Junio del 2015 y 18 de Marzo del 2017, obtenidas a partir del servidor gratuito del Servicio Geológico de los Estados Unidos-USGS que dispone de imágenes satelitales provenientes del Programa Landsat, el cual se constituye en una serie de misiones de observación de la tierra por satélite desde 1972. Actualmente, el programa se encuentra en su octava versión denominada “Landsat Data Continuity

Mission-LDCM” con el octavo satélite de observación de la Tierra de mediana resolución para registrar imágenes multispectrales. LANDSAT 8 es el nombre de este satélite, cuya plataforma está compuesta de dos sensores de observación terrestres: Operational Land Imager (OLI) y el sensor térmico infrarrojo Thermal Infrared Sensor (TIRS). OLI y TIRS recogen los datos de forma conjunta para proporcionar imágenes coincidentes de la superficie terrestre. Las dos imágenes (2015 y 2017) que cubren el área de estudio corresponden al Path 10 / Row 60, cuyas escenas presentaron la menor cantidad de nubes, 35% y 40% respectivamente. Con fines operativos y en ausencia de una imagen nítida, el porcentaje de la imagen 2017 que está cubierta de nubes fue interpretado visualmente con la imagen del año 2015.

Para el presente estudio, se necesitaron imágenes que permitan trabajar a escala 1:250.000 para interpretar los diferentes usos y cobertura del suelo. Motivo por el cual, se escogieron las imágenes del programa LANDSAT 8. La calidad de los datos (relación de la señal en función del ruido) y la resolución radiométrica (12 bits) del OLI y TIRS es más alta que los anteriores instrumentos Landsat (8 bits para TM y ETM+), proporcionando una mejora significativa en la capacidad de detectar cambios en la superficie terrestre. Los datos de productos Landsat 8 son entregados a un Nivel 1T (ortorectificado) y se encuentran radiométrica y geoméricamente corregidos, con las siguientes características: Formato de datos GeoTIFF, Proyección cartográfica: Universal Transversa de Mercator (UTM); y Datum: Sistema Geodésico Mundial (WGS) 84. El sensor OLI fue diseñado para obtener cartografía temática a una resolución espacial de 30 metros; mientras que, la distribución de bandas en el sensor TIRS incluye dos térmicas: 10 y 11, las mismas que son útiles para proporcionar temperaturas más precisas de la superficie y se toman a 100 metros de resolución (Ariza, 2013). A continuación se describen las características:

Figura 10. Características de las bandas en los sensores OLI y TIRS

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) February 11, 2013	Bandas	longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
	Banda 1 - Aerosol costero	0.43 - 0.45	30
	Banda 2 - Azul	0.45 - 0.51	30
	Banda 3 - Verde	0.53 - 0.59	30
	Banda 4 - Rojo	0.64 - 0.67	30
	Banda 5 - Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Banda 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Banda 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Banda 8 - Pancromático	0.50 - 0.68	15
	Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	* Banda 10 - Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
* Banda 11 - Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100	

(USGS, 2013)

Fuente: Ariza, 2013

3.1.2.1. *Corrección geométrica*

La corrección geométrica considera errores en las posiciones relativas de los píxeles y están inducidos por variaciones del terreno (Posada, 2012). En el presente estudio se ha aplicado una técnica convencional de corrección geométrica basada en asignación de coordenadas ligadas a puntos de referencia: vías y ríos que se derivan de cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar a escala 1:50.000. Este proceso se realizó para la imagen 2015; mientras que, la imagen 2017 fue georreferenciada a partir de la anterior para mantener la integridad espacial de los datos. Las imágenes fueron proyectadas al sistema de coordenadas UTM con el datum WGS 84 utilizando el software Erdas Imagine.

3.1.2.2. *Selección de bandas espectrales y Composición a color*

A partir de la información multi-espectral que brindan las bandas contenidas en una imagen satelital, pueden obtenerse distintas composiciones de color. Basta para ello aplicar cada uno de los tres colores primarios (azul, verde y rojo) a una banda distinta de la imagen, seleccionada con el criterio y en el orden que se estima más oportuno. El proceso permite visualizar, simultáneamente, imágenes de distintas regiones del espectro, lo que facilita la delimitación visual de algunas coberturas de la superficie terrestre. La composición más habitual se denomina falso color (Chuvieco, 2010). Para fines operativos del presente estudio, se creó una imagen compuesta por las bandas 1 a la 7 utilizando el software Erdas Imagine y su extensión “Layer Stack”. Para la interpretación visual y posterior clasificación supervisada de las dos imágenes se optó por una composición en falso color (Rojo, Verde y Azul-RGB) de las bandas del Infrarrojo de onda corta (Banda 6-SWIR1), infrarrojo cercano (Banda 5-NIR) y del espectro visible (Band 4-Roja). La selección de estas bandas radica en su utilidad para diferenciar la humedad del suelo y para resaltar contrastes entre rocas y suelos (Banda 6); así como, la banda 5 tiene la bondad de reflejar el agua de las hojas de vegetación sana en el espectro del infrarrojo cercano. Por último, la combinación con la banda 4 posibilita un análisis más preciso de la vegetación.

Tanto la imagen 2015 como 2017 fueron posteriormente recortadas a los límites del Corredor Ecológico del Oso Andino utilizando la herramienta “Subset and chip” de la caja de herramientas “Raster” en Erdas Imagine.

3.1.2.3. *Mejoramiento radiométrico: realce de desviación estándar*

El realce radiométrico es el proceso mediante el cual las características más importantes de una imagen se hacen más interpretables al ojo humano. Dicho de otra manera es un proceso que mejora la imagen con base en valores de píxeles individuales dentro de cada banda espectral, sin alterar sus niveles digitales (Chuvieco, 2010). En la presente disertación se ha realizado un realce de “desviación estándar” para identificar objetos utilizados como muestras de entrenamiento para la clasificación supervisada. Con el software Erdas Imagine se ha realizado un realce temporal sobre las imágenes compuestas (RGB: 6, 5,4), aplicando una transformación de los niveles digitales en valores de brillo (0-255). Es decir, se crean tablas de color para convertir el rango de niveles digitales al máximo rango ofrecido por el dispositivo de despliegue. Puntualmente, con la expansión del contraste utilizada en este caso de estudio, se usan los niveles digitales que están a dos desviaciones estándar por encima y por debajo de la media para cada banda de datos. La medida de desviación estándar permite valorar visualmente información radiométrica de una imagen para determinar el promedio aritmético o fluctuaciones de los datos respecto a su punto central o media; y mejorar visualmente la imagen. Para ello se ha utilizado la herramienta Multiespectral/ General Contrast y la opción “standard deviation” en Erdas Imagine.

3.1.3. **Clasificación digital de imágenes satelitales 2015 y 2017**

Por un lado, la interpretación visual permite incorporar variables visuales en la identificación de objetos tale como: forma, tamaño, textura, contexto espacial y sombras. Estas características del suelo son aún difíciles de determinar en el método de procesamiento digital de imágenes. La interpretación visual es un proceso subjetivo, lo que significa que los resultados varían de acuerdo a los trabajos realizados por diferentes intérpretes; sin embargo, ya que el análisis digital se fundamenta en la manipulación de números en un computador, los resultados de los procesos pueden ser algo más objetivos. Frente a ello, en el proceso de validación y exactitud de estas salidas se muestra que lo resultados son más coherentes y precisos sobre todo en las clases heterogéneas para el método de interpretación visual, que los logrados por el método digital (Posada, 2012). Motivo por el cual, en la presente disertación se ha optado por una clasificación supervisada de cobertura y uso de suelo de las imágenes 2015 y 2017, ya que este proceso de clasificación automático permitió la introducción de muestras de entrenamiento señaladas en función del conocimiento previo del terreno. Las características espectrales de estas áreas se utilizaron para "entrenar" el algoritmo de clasificación “MaximuLikelihood”, el cual calcula los parámetros estadísticos de cada banda para cada sitio de entrenamiento; y posteriormente, evaluar cada nivel digital de la imagen, compararlo y asignarlo a una respectiva clase. Se seleccionó un robusto número de muestras de entrenamiento y

se asignaron un mínimo de 500 píxeles para cada “muestra”, utilizando la caja de herramientas Drawing/ Insert geometry y la extensión “Región Growing Properties”. Paralelo a ello, se creó un archivo de firmas mediante las opciones Raster / Classification / Supervised y la opción “Signature Editor”. Este procedimiento permitió adicionar las “áreas de entrenamiento” a un conjunto de clases temáticas que, para los fines operativos del presente estudio, incluyeron las siguientes categorías:

Tabla 8. *Unidades de uso y cobertura vegetal para el año 2017*

Categoría	Cobertura Vegetal y Uso 2017
Plantación Forestal	Pino, aliso, eucalipto
Bosque Nativo	Bosque Húmedo, plantaciones eucalipto
Erial/sin cobertura vegetal	Suelos erosionados
Páramo	Páramo herbáceo y arbustivo
Cuerpos de agua	Ríos
Infraestructura Antrópica	Complejo Industrial, área en proceso urbanización
Cultivos anuales	Maíz, yuca, misceláneo hortalizas, misceláneo ciclo corto
Cultivos semi-permanentes	Caña de azúcar, plátano, uvilla
Cultivos permanentes	Cacao, café, chirimoya, pasto cultivado con maíz/árboles, frutales
Vegetación herbácea	Herbácea húmeda y seca, pastos naturales
Pastizal	Pasto cultivado
Vegetación arbustiva	Matorral Húmedo y seco

Fuente: MAGAP-IEE, 2013; modificado Parra, 2018

Como resultado de la interpretación se obtuvieron las 12 categorías antes indicadas para obtener datos de cobertura y uso de suelo actualizados al 2017, en función una imagen 2015 puesto que permitió la interpretación en áreas que presentaron cobertura de nubosidad en la imagen 2017. Las categorías corresponden a aquellas señaladas por el Instituto Espacial Ecuatoriano en el Proyecto “Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, Ecuador, escala 1:25.000” (MAGAP-IEE, 2013). Por lo tanto, se ha realizado una actualización de disponibilidad de la cobertura boscosa en el Corredor del Oso Andino considerando la definición de “bosque” de la CMNUCC.

3.1.4. Áreas elegibles para reforestación con criterio “no-bosque” al 2017

Para realizar la interpretación y clasificación de áreas según el criterio de “bosque”, se consideraron los tres requerimientos del concepto de bosque definido por la Conferencia de las Partes en la CMNUCC (Gálmez & Kómetter, 2009). Posterior a ello, se determinaron cuáles de las categorías de cobertura y uso del suelo, resultantes de la clasificación supervisada, satisfacen el objetivo de

reforestación con fines de conservación del Corredor del Oso Andino. A su vez, este objetivo enfocado en la conservación, debe garantizar tierras elegibles en donde la seguridad alimentaria no se vea amenazada; es decir, que la reforestación no debe desplazar actividades agrícolas que sirven de sustento económico y alimenticio a los propietarios de las tierras. Justicia (com. per.) afirma que gran parte de los propietarios de tierras no conocen un manejo adecuado sobre sus cultivos y tampoco maximizan su producción, principalmente, porque la tenencia “no legal” de la tierra no les permite el acceso a créditos. Una pequeña parte de propietarios privados y comunitarios con tenencia formal de la tierra, realizan esfuerzos por desarrollar un uso ordenado del suelo dentro de su jurisdicción al ser reconocidos como reservas privadas o parte del sistema de áreas protegidas metropolitanas. Sin embargo, el uso desordenado del suelo se incrementa, y por tal motivo, la presente disertación ha considerado dos grupos de unidades de cobertura y uso de la tierra: “bosque” y “no-bosque”. De tal manera que, aquellas elegibles para reforestación según el criterio “no-bosque” ayuden a consolidar actividades orientadas hacia sistemas productivos más sostenibles y diversificados con plantaciones nativas de *Nectandra acutifolia* en posibles sistemas agroforestales. Esta iniciativa encuentra su fundamento en las opciones estratégicas y actividades REDD+ definidas para el Ecuador (Leguia & Moscoso, 2015).

La clasificación de unidades “bosque” y “no-bosque” se llevó a cabo dentro del programa ArcGIS 10.3, de la siguiente manera:

Tabla 9. Usos del suelo considerados como bosque y no-bosque

Categoría	Cobertura Vegetal y Uso 2017	Bosque
Plantación Forestal	Pino, aliso, eucalipto	SI
Bosque Nativo	Bosque Húmedo, plantaciones eucalipto	
Erial/sin cobertura vegetal	Suelos erosionados	NO
Páramo	Páramo herbáceo y arbustivo	
Cuerpos de agua	Ríos	
Infraestructura Antrópica	Complejo Industrial, área en proceso urbanización	
Cultivos anuales	Maíz, yuca, misceláneo hortalizas, misceláneo ciclo corto	
Cultivos semi-permanentes	Caña de azúcar, plátano, uvilla	
Cultivos permanentes	Cacao, café, chirimoya, pasto cultivado con maíz/árboles, frutales	
Vegetación herbácea	Herbácea húmeda y seca, pastos naturales	
Pastizal	Pasto cultivado	
Vegetación arbustiva	Matorral Húmedo y seco	

Fuente: MAGAP-IEE, 2013; modificado Parra, 2018

3.1.5. Análisis multitemporal de Cambio de Uso del Suelo y Cobertura Vegetal

2001-2017

En lo que se refiere a estudios multi-anales, la mayor parte de los trabajos de clasificación digital aborda cada imagen de manera independiente, para luego detectar los cambios por comparación de las clasificaciones obtenidas en las distintas fechas (Chuvienco, 2010).

El análisis tiene como insumos las coberturas de cambio multitemporal de uso del suelo del año 2001 proporcionado por la Secretaría de Ambiente-DMQ; como también, la cobertura de uso del suelo actualizada al 2017, realizada para esta disertación, en función de información oficial del Proyecto “Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, Ecuador, escala 1:25.000” (MAGAP-IEE, 2013).

Para realizar la comparación de cambio se calculó tanto para el año 2001 como para el año 2017 la superficie en hectáreas por unidad de uso y cobertura vegetal. Posterior a ello, se realizó un cruce de las coberturas de ambos años con el fin de evidenciar el tipo de cambio ocurrido y determinar aquellas unidades que han mantenido su uso entre una fecha y otra. Además se descartaron unidades de cambio de uso de suelo que son menores a la Unidad Mínima Cartografiada acorde a la escala a la que realizó la interpretación y clasificación digital de la imagen 2017. Es decir, unidades menores a 4 hectáreas (ecuación 1, ver sección 1.5.8.2), considerando la escala de interpretación 1:50.000. Para realizar este proceso se ha acudido a la herramienta “eliminate” de la caja de herramientas “Arctoolbox” incluidos en el software ArcGIS 10.3.

De todos los cambios suscitados, únicamente se seleccionaron aquellos que cumplen con el criterio de “elegibilidad” al 2017 y que corresponden a unidades de uso de suelo y cobertura vegetal con potencial de reforestación; es decir, corresponden a unidades agropecuarias productivas cuya intensidad de manejo en sistemas extensivos permite la combinación de reforestación dentro de sistemas agroproductivos. Por otro lado, corresponden a unidades de cobertura vegetal cuya cubierta de dosel sea menor al 30% en superficies mínimas de 1 ha (ver Tabla 7) (Gálmez & Kómetter, 2009). Este procedimiento fue llevado a cabo con la ayuda del programa ArcGIS 10.3 y una de las herramientas de la extensión “Analysis tools” para realizar sobreposiciones de capas: “Intersect”.

Tabla 10. Cambios de uso del suelo para la implementación de reforestación

USO 2001	USO 2017
Vegetación arbustiva con Bosque Nativo	Cultivos anuales Cultivos permanentes Erial/ sin cobertura vegetal Pastizal Vegetación arbustiva Vegetación herbácea
Vegetación arbustiva y en regeneración natural	Cultivos anuales Cultivos permanentes Cultivos semi-permanentes Erial/ sin cobertura vegetal Pastizal Vegetación arbustiva Vegetación herbácea
Cultivos	Cultivos anuales Cultivos permanentes Cultivos semi-permanentes Erial/ sin cobertura vegetal Pastizal Vegetación arbustiva Vegetación herbácea
Bosque Nativo o Plantación Forestal	Cultivos anuales Cultivos permanentes Cultivos semi-permanentes Erial/ sin cobertura vegetal Pastizal Vegetación arbustiva Vegetación herbácea

Fuente: MAGAP-IEE, 2013; modificado Parra, 2018

3.2. ESTIMACIÓN DE ÁREAS CON ALTA PROBABILIDAD DE DISTRIBUCIÓN DE *NECTANDRA ACUTIFOLIA* CON BASE EN REGISTROS DE PRESENCIA

3.2.1. Protocolo de modelamiento de distribución de *Nectandra acutifolia*

En el presente estudio, se han considerado registros de presencia de *Nectandra acutifolia* a lo largo de su área de distribución extendida en Sudamérica, registros en el Sector Biogeográfico Cordillera Occidental de los Andes del Ecuador y en el Corredor del Chocó Andino, de donde se tiene información ambiental disponible. Ya que el método de Máxima entropía basa sus predicciones solo a partir de datos de presencia de la especie, se ha considerado todo el conjunto de registros y además un conjunto de datos de “background” o “background points” que caracterizan el entorno. Para demostrar el efecto que tiene tratar a esta información según esta perspectiva, se han considerado tres áreas diferentes de movilidad de la especie: Sudamérica, Sector Biogeográfico Cordillera Occidental de los Andes y Corredor del Chocó Andino. En estas tres áreas de movilidad se seleccionaron 30.000, 20.000 y 10.000 “background points” respectivamente para asegurar representatividad en las diferentes variables climáticas de modelamiento y para abordar la relativa incertidumbre del sesgo en la colecta de registros. Por otro lado, se ha considerado abordar la complejidad de la construcción de modelos mediante la modificación de parámetros de regularización relacionados a la construcción de funciones matemáticas o “features”, multiplicadores de regularización y umbrales de corte (Elith *et al.*, 2010; Elith *et al.*, 2011).

El presente planteamiento metodológico surge del estudio realizado por Elith y colaboradores (2011) sobre la especie arbustiva-nativa *Banksia prionotes*, en el que se evaluó el desempeño predictivo del modelamiento de su distribución considerando efectos subyacentes producto de sesgos en la colección de registros y de la selección de diferentes tamaños del área de movilidad de la especie. MaxEnt utiliza valores ambientales o “background points” asumiendo que los registros de presencia de *Nectandra acutifolia* (diferentes puntos de ocurrencia considerados en este estudio) son una muestra aleatoria de todas las localidades donde la especie está presente; y que, por ello, pudo haberse dispersado a lo largo de toda su área de movilidad (tres áreas de movilidad diferentes consideradas en este estudio). Los resultados de probabilidad de distribución de *Nectandra acutifolia* en consideración de las restricciones factores ambientales, se presentan como un resultado logístico entre 0 y 1. Se ha escogido este formato de salida logístico porque pone en consideración la prevalencia de la especie y el esfuerzo de colección de registros de ocurrencia para establecer resultados de idoneidad ambiental de *Nectandra acutifolia* (Elith *et al.*, 2011).

A continuación se detalla un protocolo de modelamiento de distribución que consta de tres etapas generales y 9 procesos, seguida de una explicación teórica para que la terminología técnica usada en el software MaxEnt se vuelva más familiar.

3.2.2. Definición del Área de movilidad de la especie y puntos de “background”

El software MaxEnt construye modelos de distribución de especies teniendo como recursos: registros de ocurrencia y variables ambientales que representan las condiciones óptimas para la existencia de una especie; sin embargo, no se usan datos de ausencia de la especie y a cambio se utilizan “background píxels”; es decir, la información que contiene cada píxel de las variables ambientales (e.g., precipitación, temperatura, entre otros). VanDerWal y colaboradores (2009) han demostrado que, los modelos construidos por el programa MaxEnt se ven afectados por el tamaño del área de movilidad de la especie, la cual contiene información ambiental útil para el cálculo de la distribución de máxima entropía. En la construcción del modelo se deben incluir, sin excepción, todas las áreas que han sido exploradas geográficamente por una especie (VanDerWal *et al.*, 2009); sin embargo, las barreras biogeográficas que limitan su dispersión establecen los límites de esta región de movilidad conocida como “background” (Phillips *et al.*, 2006).

MaxEnt extrae aleatoriamente muestras de valores ambientales de la región “background” para calcular la distribución de máxima entropía, y las contrasta con los aquellos valores existentes en los registros de presencia a lo largo de toda el área de movilidad. Las muestras extraídas se denominan “background samples” y provienen de un conjunto más grande de datos llamados “background locations” que equivalen al número de píxeles con información acerca de las variables ambientales consideradas para el modelamiento. La presencia o ausencia de una especie es desconocida en los píxeles o “background points”; sin embargo, las muestras o “background samples” son llamadas “pseudo-ausencias”; y MaxEnt asume que cada “background location” tiene la misma probabilidad de ser seleccionada como “pseudo-ausencia” para calcular la distribución de una especie. Frente a estas consideraciones, es crucial la selección del tamaño de la región de donde se extraen las muestras; así como, el número de “background samples” que se extraen para caracterizar las condiciones ambientales más favorables para *Nectandra acutifolia*.

Como respuesta a esto, algunos autores sugieren que dependiendo del objetivo de conservación para la especie, se debe especificar el número de píxeles usados como “background samples” y el tamaño del área de movilidad (de aquí en adelante denominado “background”). Por ejemplo, si el objetivo es conservar una especie dentro de un área protegida, entonces el “background” debe delimitarse a su rango de distribución conocido. Mientras que, si el objetivo es conocer las regiones climáticas de posible invasión de una especie en ausencia de barreras de dispersión, entonces el “background” se

delimitaría en función de regiones climáticas en todo el globo terráqueo. El enfoque del presente estudio tiene una prioridad de conservación a escala de paisaje, y por ende, escalas regionales que consideran un amplio rango de distribución de especies desvían el objetivo principal. VanDerWal y colaboradores (2009) sugieren hacer comprobaciones estableciendo límites más finos de “background” e incluso llegar a delimitar parches de hábitat individuales (Elith *et al.*, 2010; Elith *et al.*, 2011; VanDerWal *et al.*, 2009; Merow *et al.*, 2013).

Por otro lado, no es aconsejable limitar el desarrollo de un modelo de distribución estableciendo un “background” de igual extensión que las áreas donde la especie ha sido observada (e.g., donde los especímenes han sido colectados) porque MaxEnt puede aproximar sus predicciones lo más similar a la distribución en los sitios de colecta. Así pues, el área de movilidad de una especie es el espacio donde MaxEnt construye el modelo y debe incluir barreras biogeográficas que limitan la dispersión de una especie, pero que permitan al modelo desarrollar su potencial predictivo (Elith *et al.*, 2011). Una explicación más profunda de los efectos del tamaño del “background” se detallan en la sección 1.5.5.1. del presente estudio y en la publicación realizada por VanDerWal y colaboradores (2009).

En resumen, MaxEnt selecciona aleatoriamente muestras del área de movilidad o “background” para compararlas con cada píxel que posee un registro de presencia de la especie. Este proceso determina si las condiciones ambientales están siendo empleadas desproporcionalmente para la construcción del modelo frente a toda la disponibilidad de variables predictoras en el área de movilidad de la especie.

Por ello, se han construido tres modelos considerando tres áreas de movilidad:

- a) *Área de movilidad extendida – Regiones biogeográficas de América Latina y el Caribe (Morrone, 2002)*: considera todo el rango de distribución de la especie entre los 800 y 2400 m.s.n.m. en las vertientes y valles de los Andes sudamericanos (Rohwer, 1993). Esta primera área se ha delimitado geográficamente en función de los límites de las regiones biogeográficas presentadas por Morrone (2002).
- b) *Área de movilidad restringida – Sectores biogeográficos del Ecuador Continental (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013)*: considera el rango de distribución de *Nectandra acutifolia* según barreras biogeográficas de dispersión en el Ecuador. Esta segunda área se delimita comprende el sector biogeográfico “Cordillera Occidental de los Andes del Ecuador”.
- c) *Área de movilidad experimental – Corredor del Chocó Andino (Justicia, 2007)*: considera el área de dispersión de la especie dentro de los límites del Corredor del Chocó Andino en Ecuador. Esta tercera área incluye los siguientes sectores biogeográficos, pero no se encuentra delimita por ellos: Chocó Ecuatorial, Cordillera costera del Chocó, Jama-Zapotillo, Cordillera Occidental de los Andes, Páramo, Valles, y una porción occidental del sector biogeográfico denominado “Norte de la Cordillera Oriental de los Andes”. Es un área experimental porque tiene un gradiente

ambiental amplio y para esta zona existe una mayor disponibilidad de variables edafológicas-categorías ajustadas a un tamaño de píxel de 30 metros.

Tabla 11. *Diversidad biogeográfica del Ecuador continental*

Biogeografía del Ecuador						
Regiones biogeográficas	1	Amazonía	2	Andes	3	Litoral
Provincias biogeográficas	1	Amazonía Noroccidental	2	Andes del Norte Chocó	3	Pacífico Ecuatorial
Sectores biogeográficos	1	Abanico del Pastaza	6	Cordillera Costera del Pacífico Ecuatorial	11	Norte de la Cordillera Oriental
	2	Aguarico-Putumayo-Caquetá	7	Cordillera Occidental	12	Páramo
	3	Catamayo-Alamor	8	Cordilleras Amazónicas	13	Sur de la Cordillera Oriental
	4	Chocó Ecuatorial	9	Jama-Zapotillo	14	Tigre-Pastaza
	5	Cordillera Costera del Chocó	10	Napo-Curaray	15	Valles

Fuente: Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2016

La siguiente figura describe las tres áreas de movilidad de calibración de los modelamientos:

Figura 11. *Áreas de Movilidad de Nectandra acutifolia*



Elaborado por: Paola Parra

3.2.3. Recopilación, depuración, estandarización y estructuración de la información

3.2.3.1. Recopilación y depuración geográfica de registros de presencia de *Nectandra acutifolia*

La importancia de cada registro depende de su capacidad única de abarcar el mejor grupo de características ambientales que representan su nicho ecológico. Pearson y colaboradores (2007) denominan autocorrelación espacial de localidades a la tendencia de coleccionar registros y eventos de manera agrupada, dando la posibilidad de sobredimensionar una validación estadística del modelo ya que se incluyen registros que no son espacialmente independientes (e.g., registros de ocurrencia que se sitúan muy agrupados). Es decir, en ciertas ocasiones bastarían pocos registros de presencia de cierta especie para caracterizar su nicho ecológico cuando tales registros son espacialmente independientes y abarcan un amplio rango de variables ambientales. Por lo tanto, la colección de registros de ocurrencia es un grupo de información “sesgada” porque puede cubrir tan solo una parte de todo el rango de distribución de la especie o porque se coleccionan con mucha proximidad; creando así, un sesgo espacial. Este sesgo crea confusión ya que datos agrupados pueden indicar que la especie prefiere tales condiciones ambientales, o simplemente, hubieron mayores esfuerzos de colección de datos en tal sector. MaxEnt ajusta sus modelos asumiendo que todos los píxeles con información ambiental (o “background locations”, ver definición en sección 3.2.1) están igualmente distribuidos sobre el área de movilidad de la especie y tienen la misma probabilidad de ser muestreados. Una solución al sesgo espacial es incluir un “Muestreo de Grupo Objetivo-TGS” usando presencias de especies relacionadas taxonómicamente con la especie focal. Sin embargo, otra solución es el enfoque de sesgo “background” incluyendo una “grid” en el modelamiento, la cual, indique la relativa frecuencia de muestreo o el esfuerzo de muestreo (Merow *et al.*, 2013; Pearson *et al.*, 2007).

Para resolver este problema, el presente estudio ha considerado un buffer de 1km para seleccionar los puntos de presencia de *Nectandra acutifolia*, y así, evitar la intensidad de sobre-muestreo y garantizar independencia. Se consideró una distancia mínima de 1km porque la resolución espacial de las variables ambientales detallan información a 0,0083 grados decimales, es decir, aproximadamente 1 km² de tamaño de píxel (Hijmans *et al.*, 2005). Puntos agrupados dentro de un píxel de 1.000x1.000 metros representarían la misma información ambiental. En un segundo ejercicio, se han seleccionado registros de presencia separados por un buffer de 30 metros, únicamente en el caso de la calibración del modelamiento en el área de movilidad experimental, puesto que las variables ambientales utilizadas tienen una resolución espacial de 30 metros.

En el caso del presente estudio, las colecciones de presencia de *Nectandra acutifolia* provienen de los Herbarios QCNE, QCA y de la base de datos del (Missouri Botanical Garden (www.tropicos.org)). Los detalles metodológicos y precisión horizontal de las técnicas de colección de datos han variado

en el transcurso de los años de colecta, razón por la cual se vuelve crucial establecer un valor de precisión horizontal estandarizado para todos los herbarios y bases de datos. Sin embargo, los registros de presencia que fueron colectados antes del 2000 con receptores GPS tienen un error de desplazamiento de 100 y 300 metros sobre el terreno (Lechner & Baumann, 2000).

Para el presente estudio, se ha realizado un levantamiento de 76 registros de *Nectandra acutifolia* en el Noroccidente de Pichincha con el posicionador marca Trimble Juno 3B, de tal manera que los registros se han documentado en coordenadas geográficas medidas en grados decimales como se muestra a continuación:

Figura 12. Registros de presencia de *Nectandra acutifolia* en el Noroccidente de Pichincha

FID	x1	y1	Shape *
26	-78.633807	0.119889	Point
27	-78.631522	0.118176	Point
28	-78.634592	0.116962	Point
29	-78.629738	0.111823	Point
30	-78.631094	0.111608	Point
31	-78.632379	0.111252	Point
32	-78.633521	0.111751	Point
33	-78.633878	0.112751	Point
34	-78.632307	0.112822	Point
35	-78.630237	0.109538	Point
36	-78.629238	0.108182	Point
37	-78.635234	0.126742	Point
38	-78.634235	0.127456	Point
39	-78.633807	0.12924	Point
40	-78.634877	0.130311	Point
41	-78.636376	0.130382	Point
42	-78.636519	0.12924	Point
43	-78.63552	0.127527	Point
44	-78.634949	0.128812	Point
45	-78.62988	0.128098	Point
46	-78.629381	0.127099	Point
47	-78.629095	0.125814	Point
48	-78.628667	0.127027	Point
49	-78.629381	0.128669	Point

(76 out of 102 Selected)

Recopilado por: Parra, 2018

Lugar: alrededores Reserva Ecológica Maquipucuna, Noroccidente de Pichincha

Fecha: 01, 02 y 03 de Septiembre, 2017

El receptor GPS Trimble Juno 3B fue facilitado por el Laboratorio de Cartografía de Pontificia Universidad Católica del Ecuador para el levantamiento en campo y posee las siguientes especificaciones:

Tabla 12. Especificaciones técnicas del posicionador GPS

Computadoras de mano con GNSS	Juno Serie 3
Precisión DGNSS con postprocesamiento	1m - 3m
Precisión DGNSS en tiempo real	2m - 5m

Fuente: Trimble Navigation Limited, 2013-2016

Trimble Juno 3B es un radio receptor de señales satelitales que utiliza la frecuencia L1 de la constelación de satélites GPS (Sistema de Posicionamiento Global) con 12 canales de recepción; sin embargo combina un receptor GNSS. El receptor GNSS integrado proporciona un posicionamiento preciso junto con correcciones diferenciales en tiempo real de entre dos y cinco metros o la precisión con postprocesamiento entre uno y tres metros. El software *TerraSync™*, instalado en el colector Juno 3B, activa automáticamente el receptor GNSS integrado y lo conecta al puerto COM4, que es el puerto GNSS en el colector de mano, de tal forma que puede realizar una corrección diferencial en tiempo real o postprocesamiento. En el presente estudio no se ha realizado postprocesamiento de los datos receptados en campo.

A. Validación de registros de presencia de *Nectandra acutifolia*

En el presente estudio, se consideró el documento “Especificaciones técnicas generales para la realización de cartografía topográfica a cualquier escala” (Instituto Geográfico Militar, 2006) para establecer el error de precisión planimétrica de los productos cartográficos que fueron usados por los Herbarios QCA y QCNE al momento de localizar especies.

El Herbario QCA señaló que varias de sus colecciones fueron localizadas a partir de cartas topográficas (escala 1:50.000); mientras que, colecciones recientes fueron georreferenciadas usando receptores GPS sin realizar postprocesamiento de coordenadas. Por esta razón, se consideró que “la posición en el mapa digital del 95% de los puntos bien definidos, no diferirá de la verdadera en más de 0,3 mm por el denominador de la escala”, es decir, un desplazamiento de 15 metros. Además de comparar las coordenadas, se ha desplazado puntos hasta 300 metros cuando la altitud señalada por la base de datos no coincidía sobre el Modelo Digital de Elevación (30 metros resolución). Esta consideración se ha tomado, ya que el levantamiento realizado con receptores GPS sin

procesamiento, indica 300 metros como error de desplazamiento (Lechner & Baumann, 2000) (ver sección 1.5.8.2).

El reconocimiento de árboles de *Nectandra acutifolia*, fue posible bajo la supervisión de la Dra. Rebeca Justicia, presidenta ejecutiva de Fundación Maquipucuna, y con el acompañamiento de un guía de la Reserva Maquipucuna.

3.2.3.2. *Recopilación y caracterización de variables predictoras: climáticas y edafológicas*

Para los fines metodológicos del presente estudio, se han tomado en cuenta dos grupos de variables: climáticas a una resolución espacial de 1 kilómetro y topográficas-edafológicas generadas a 30 metros, con la finalidad de comparar el desempeño del modelamiento a tales escalas. Además, la información edafológica corresponde al año 2002 y 2013. Si bien el componente edafológico se mantiene relativamente constante en el tiempo, se ha comparado la información de diferentes años para actualizar aquellas que presentaron variaciones.

En el primer caso, la base para la selección del primer grupo de variables ambientales es el estudio de potencialidad de reducción de gases de efecto invernadero, realizado por Justicia (2007) en el Corredor del Chocó Andino. En el estudio, se examinaron 37 variables ambientales edafo-climáticas (clima, topografía, características edafológicas y distancias a ríos (ver Tabla 13) y su potencialidad en la construcción del nicho ecológico de *Guadua angustifolia*, con el objetivo de modelar su distribución y establecer programas de restauración (Justicia, 2007). La autora señala que las variables ambientales analizadas representan las limitaciones físicas y fisiológicas para la distribución de una especie, motivo por el cual han sido utilizadas también en la construcción del nicho ecológico de *Nectandra acutifolia* (Pacche, por su nombre común). Las 37 variables se utilizaron para el modelamiento en el área de movilidad experimental y fueron reescaladas a una resolución espacial de 30 metros, 9075 x 7573 GRID. Dentro de este grupo, las 19 variables climáticas se obtuvieron de la base de datos mundial “WorldClim” (Hijmans *et al.*, 2005) a una resolución de 1 km, y posteriormente reescaladas a 30m. bajo la técnica “Nearest Neighborhood”. Aún cuando la resolución espacial no mejora con el reescalamiento, este proceso es necesario para estandarizar la información y aprovechar la mayor resolución espacial del Modelo Digital de Elevación (30 m.). Las 3 variables topográficas: elevación, pendiente y aspecto se derivan del Modelo Digital de Elevación (MDE, 30 metros de resolución) compilado y construido por Souris (2017) mediante la digitalización de cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar a escala 1:50.000. La obtención de las 13 variables edafológicas a mayor detalle ha sido posible por la disponibilidad de información edafológica proveniente del Proyecto “Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, Ecuador, escala 1:25.000” (MAGAP-IEE, 2013). Tales

variables describen características físicas y químicas del suelo, generadas a partir de datos vectoriales del componente “Geopedológico” por MAGAP-IEE (2013) a escala 1:25.000. Siguiendo las consideraciones metodológicas de Arias-Suárez (2007), respecto a la selección de tamaño de píxel idóneo que garantice el nivel de percepción en relación con la escala del mapa (referirse a ecuación 4, Capítulo I), se ha escogido un tamaño de ráster de 30 metros (pudiendo ser hasta 10 metros) para todas las 37 variables ambientales predictoras. Esta información fue validada y actualizada a partir del Proyecto “Generación de Información Georeferenciada para el Desarrollo Sustentable del Sector Agropecuario en Ecuador”, escala 1:50.000 (MAG-IICA-CLIRSEN, 2002). Las variables “distancia a ríos” y “aptitud del suelo” provienen de la cartografía básica generada por CLIRSEN (2000) y MAGAP-SIGAGRO (2014) a escala 1:250.000.

Tabla 13. Variables edafológicas, topográficas y climáticas a 30 metros de resolución

No.	Código	Descripción	Tipo
1	c1_tannual	BIO1= Temperatura media anual	Continuo
2	c2_tdrange	BIO2=Promedio del rango diario (Promedio mensual)	Continuo
3	c3_tisoth	BIO3= Isotermalidad (BIO2/BIO7*100)	Continuo
4	c4_tseas	BIO4= Temperatura estacional (Desviación estándar)	Continuo
5	c5_tmwxam	BIO5= Max Temperatura del mes más caliente	Continuo
6	c6_tmncolm	BIO6= Min Temperatura del mes más frío	Continuo
7	c7_tarange	BIO7= Rango de Temperatura Anual (BIO5-BIO6)	Continuo
8	c8_twetq	BIO8= Promedio de temperatura del trimestre más húmedo	Continuo
9	c9_tdryq	BIO9= Promedio de temperatura del trimestre más seco	Continuo
10	c10_twarmq	BIO10=Promedio de temperatura del trimestre más caliente	Continuo
11	c11_tcoldq	BIO11=Promedio de temperatura del trimestre más frío	Continuo
12	c12_pannual	BIO12= Precipitación anual	Continuo
13	c13_pwetm	BIO13=Precipitación del mes más húmedo	Continuo
14	c14_pdrym	BIO14= Precipitación del mes más seco	Continuo
15	c15_pseas	BIO15= Precipitación estacional (Coeficiente de variación)	Continuo
16	c16_pwetq	BIO16= Precipitación del trimestre más húmedo	Continuo
17	c17_pdryq	BIO17= Precipitación del trimestre más seco	Continuo
18	c18_pwarmq	BIO18= Precipitación del trimestre más caliente	Continuo
19	c19_pcoldq	BIO19= Precipitación del trimestre más frío	Continuo
20	c20_elev	Elevación	Continuo
21	c21_slope	Pendiente	Continuo
22	c22_aspect	Aspecto	Continuo
23	c23_spH	Ph del suelo	Categórico
24	C24_stext	Textura del suelo	Categórico
25	c25_sdepth	Profundidad efectiva para crecimiento de plantas	Categórico
26	c26_stons	Pedregosidad	Categórico
27	c27_sorgma	Contenido de materia orgánica	Categórico
28	c28_sphre	Nivel freático del agua	Categórico
29	c29_sflood	Inundabilidad	Categórico
30	c30_ssalin	Salinidad del suelo	Categórico
31	c31_sfert	Fertilidad natural del suelo	Categórico
32	c32_sdrain	Drenaje del suelo	Categórico
33	c33_stoxic	Toxicidad del suelo	Categórico
34	c34_serosn	Erosión del suelo	Categórico
35	c35_stype	Tipo de suelos	Categórico
36	c36_stream	Distancia a ríos	Continuo
37	c39_aptuse	Capacidad Uso suelo	Categórico

Fuente: Hijmans *et al.*, 2005; Justicia, 2007; modificado por Parra, 2018

Las 13 variables categóricas (edafológicas) fueron reclasificadas tal como se detalla en la Tabla 14). A continuación se describen las variables utilizadas con una breve descripción por categorías:

Tabla 14. Variables edafológicas generadas por Parra (2018) a 30 metros de resolución

Variables edafológicas		
pH del suelo (23_sph)		
Código	Clase	Rango Ph
1	muy ácido	< 4.5
2	ácido	4.5 – 5.5
3	ligeramente ácido	5.6 – 6.5
4	neutro	6.6 – 7.4
5	moderadamente alcalino	7.5 – 8.5
6	alcalino	> 8.5
Descripción: Nivel de acidez o alcalinidad del suelo, concentración de ión hidrógeno expresado como valor de ph.		
Textura del suelo (24_stext)		
Código	Clase	Contenido de partículas
1	gruesa	arenosa (fina, media, gruesa), arenoso franco
2	moderadamente gruesa	franco arenoso (fino a grueso), franco limoso
3	media	franco, limoso, franco arcilloso (< 35% de arcilla), franco arcillo arenoso, franco arcillo limoso
4	fina	franco arcilloso (> a 35%), arcilloso, arcillo arenoso, arcillo limoso
5	muy fina	arcilloso (> 60%)
Descripción: Refleja la distribución proporcional de los diferentes tamaños de partículas minerales en el suelo.		
Profundidad efectiva para crecimiento de plantas (25_sdepth)		
Código	Clase	Profundidad efectiva del suelo (cm)
1	Muy superficial	0 – 10
2	Superficial	11 – 20
3	Poco profundo	21 – 50
4	Moderadamente profundo	51 – 100
5	Profundo	> 100
Descripción: La profundidad efectiva de un suelo constituye el espesor de las capas del suelo y subsuelo en las cuales las raíces pueden penetrar sin dificultad, en busca de agua, nutrientes y sostén. Medido perpendicular a la superficie del suelo.		

Variables edafológicas (continuación)		
Pedregosidad (26_stones)		
Código	Clase	Porcentaje de pedregosidad
1	Sin	No posee fragmentos gruesos.
2	Muy pocas	< 10 % de fragmentos gruesos, y no interfieren con el laboreo
3	Poca	10 a 25 % de fragmentos gruesos, existe interferencia con el laboreo, es posible el cultivo de plantas de escarda (maíz, plantas con raíces útiles y tubérculos)
4	Frecuente	25 a 50 % de fragmentos gruesos, existe dificultad para el laboreo, es posible la producción de heno y pasto
5	Abundantes	50 a 75 % de fragmentos gruesos, no es posible el uso de maquinaria agrícola, solo se puede utilizar máquinas livianas y herramientas manuales
6	Pedregoso rocoso	> 75 % de fragmentos gruesos en la superficie, excesivamente pedregoso como para ser cultivado
Descripción: Se refiere a la presencia o ausencia de fragmentos gruesos superficiales o presentes en los horizontes del suelo, que afecten a la mecanización y desarrollo de la plantas		
Contenido de Materia Orgánica (27_sorgma)		
Código	Clase	Porcentaje de materia orgánica en el suelo
1	Alto	Sierra > 5 %; Costa > 2 %
2	Medio	Sierra 3 – 5 %; Costa 1–2 %
3	Bajo	Sierra < 3 %; Costa < 1 %
Descripción: Consiste en materia orgánica de origen animal o vegetal que está en estado de descomposición en el suelo.		
Nivel freático del agua (28_sphre)		
Código	Clase	Profundidad hasta el nivel freático (cm)
1	Superficial	0 – 20
2	Poco profundo	20 – 50
3	Moderadamente profundo	50 – 100
4	Profundo	> 100
Descripción: La profundidad a la cual se puede encontrar agua subterránea.		
Inundabilidad de los suelos (29_sfflood)		
Código	Clase	Duración de inundaciones
1	Sin o muy corta	0 – 1 mes
2	Corta	1 – 3 meses
3	Mediana	3 – 6 meses
4	Larga	6 – 9 meses
5	Permanente	> 9 meses
Descripción: Período de tiempo que el suelo permanece saturado, inundado o encharcado, aumentando a lo largo de una estación de tal forma que desarrolla condiciones anaeróbicas en el estrato superior del suelo.		

Variables edafológicas (continuación)		
Salinidad del suelo (30_ssalin)		
Código	Clase	Nivel de conductividad eléctrica Decisiemens por metro (dS/m)
1	No salino	< 2,0 dS/m. Nivel de sales que no limitan el rendimiento.
2	Ligeramente salino	2,0 – 4,0 dS/m. Nivel de sales ligeramente tóxico con excepción de cultivos tolerantes.
3	Salino	> 4,0 – 8,0 dS/m. Nivel de sales tóxico en mayoría de cultivos.
4	Muy salino	> 8,0 – 16,0 dS/m. Nivel de sales muy tóxico en los cultivos.
5	Extremadamente salino	> 16,0 dS/m. Nivel de sales muy tóxico en los cultivos.
Descripción: Contenido excesivo de sales y en especial de sodio (Na) que limita el crecimiento de los cultivos, pues las plantas no pueden absorber una cantidad suficiente de agua para funcionar adecuadamente. Característica inducida por acción antrópica o natural.		
Fertilidad Natural del suelo (31_sfert)		
Código	Clase	Niveles de fertilidad natural
1	Muy baja	Baja capacidad de intercambiar los cationes, muy baja disponibilidad de nutrientes debido al bajo pH, muy baja saturación de bases, suelos con texturas arenosas y contenidos de materia orgánica muy bajos
2	Baja	Escasa capacidad de intercambio de cationes, baja disponibilidad de nutrientes, baja saturación de bases, suelos con contenidos de materia orgánica bajos y de texturas arenosas a areno-francosas
3	Mediana	Moderada capacidad de intercambio catiónico, buena disponibilidad de nutrientes, mediana saturación de bases, estos suelos presentan clases texturales variables de arcillosos a francos, con contenidos de materia orgánica medios
4	Alta	Alta capacidad de intercambio catiónico, alta saturación de bases y óptima disponibilidad de nutrientes, suelos con altos contenidos de materia orgánica y de texturas francas
Descripción: Contenido de nutrientes necesarios en el suelo para el crecimiento normal de las plantas. Se mide según su capacidad de intercambio catiónico, el nivel de nutrientes, el pH y el porcentaje de saturación de bases.		

Variables edafológicas (continuación)		
Drenaje del suelo (32_sdrain)		
Código	Clase	Capacidad de drenaje
1	Excesivo	Eliminación rápida del agua en relación al aporte por la lluvia. Normalmente ningún horizonte permanece saturado durante varios días después de un aporte de agua.
2	Bueno	Eliminación fácil pero no rápida del agua de precipitación. Algunos horizontes permanecen saturados durante unos días después de un aporte de agua. La humedad no inhibe el crecimiento de raíces.
3	Moderado	Eliminación lenta del agua en relación al aporte de agua. Algunos horizontes permanecen saturados por más de una semana después de la precipitación. Algunos cultivos mesofílicos son afectados por la prolongación de la humedad.
4	Mal drenado	Eliminación muy lenta del agua en relación al suministro. Los horizontes permanecen saturados por varios meses. Rasgos gléicos, propiedades estagnicas (moteados y coloraciones naranja o herrumbrosas en los canales de raíces). Problemas de hidromorfismo. Estas características se observan por lo general en zonas deprimidas y con régimen de humedad ácuico.
<p>Descripción: Expresa la rapidez con que se elimina el agua sobrante en relación con las aportaciones. Usado en el diagnóstico de zonas inundables, zonas húmedas y definir limitaciones para el desarrollo de las raíces de las plantas</p>		
Toxicidad del suelo (33_stoxic)		
Código	Clase	Categorías de toxicidad
1	Nula	Ausencia de acidez de aluminio e hidrógeno intercambiable aplicable tanto para la Costa como para la Sierra. Ausencia de carbonatos, sin reacción al HCl.
2	Ligera	< 0,50 meq/100ml. Ligera acidez de aluminio e hidrógeno intercambiable aplicable tanto para la Costa como para la Sierra.
3	Media	0,50 - 1,5 meq/100ml. Media acidez de aluminio e hidrógeno intercambiable aplicable para la Costa y Sierra. Reacción moderada al HCl, presencia de burbujas con espuma baja. Contenido de carbonatos normal.
4	Alta	> 1,5 meq/100ml. Alta acidez de aluminio e hidrógeno intercambiable. Reacción fuerte y extremadamente fuerte al HCl, presencia de efervescencia con burbujas y espuma alta. Contenido de carbonatos alto y muy alto.
<p>Descripción: Es el efecto negativo que producen los aniones y cationes sobre las plantas cuando se encuentran presentes en exceso en el suelo. La toxicidad por acidez ocurre en los suelos minerales donde la hidrólisis del aluminio intercambiable es la fuente principal de iones hidrógeno, por lo que el grado de acidez del suelo está íntimamente relacionado con el aluminio intercambiable presente en el complejo coloidal (INPOFOS-SECS, 1998).</p>		

Variables edafológicas (continuación)		
Erosión del suelo (34_serossn)		
Código	Clase	Erosividad
1	Nula	Sin erosión
2	Ligera	Baja erosión
3	Moderada	Media erosión
4	Alta	Alta erosión
5	Severa (erosionado)	Severa erosión
Descripción: Erosión del suelo se refiere al daño inminente o riesgo de erosión el suelo.		
Capacidad Uso suelo (39_aptuse)		
Código	Clase	Erosividad
1	I	Tierras sin limitaciones
2	II	Tierras con algunas limitaciones
3	III	Tierras con severas limitaciones
4	IV	Tierras con muy severas limitaciones
5	V	Tierras para pastos y bosques
6	VI	Tierras con limitaciones ligeras para pastos y bosques
7	VII	Tierras con severas limitaciones para pastos y bosques
8	VIII	Tierras con muy severas limitaciones para cualquier uso
Descripción: Determinación en términos físicos, del soporte que tiene una unidad de tierra de ser utilizada para determinados usos o coberturas y/o tratamientos. Generalmente se basa en el principio de la máxima intensidad de uso soportable sin causar deterioro físico del suelo.		

Fuente: MAGAP-IEE, 2013. Escala 1:25.000

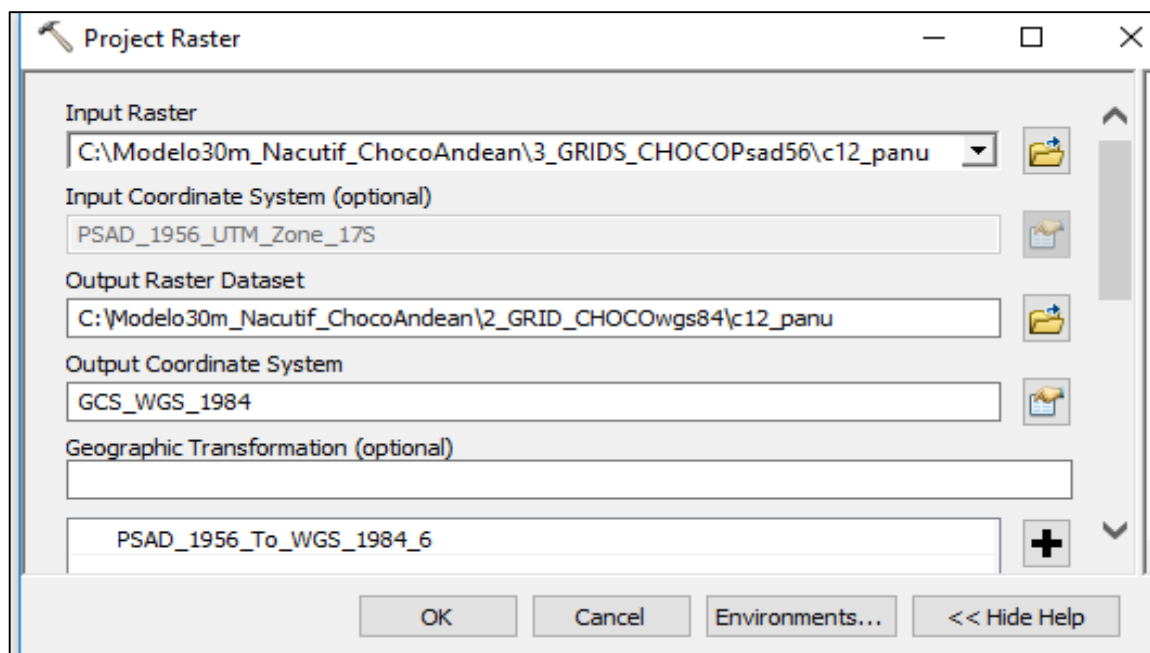
El segundo grupo de variables corresponden a las 19 variables climáticas de la base WorldClim, y las variables elevación, pendiente e “índice topográfico compuesto” a una resolución espacial de 30-arc segundos (0,008333grados decimales; 1 kilómetro aproximadamente). Las tres variables topográficas se derivan del modelo digital de elevación global generado por el Centro de Observación de Recursos de la Tierra del Servicio Geológico de los E.E.U.U (EROS), disponible en el geportal: <https://lta.cr.usgs.gov/GTOPO30>. Por lo tanto, 22 variables a una resolución espacial de 1 kilómetro son utilizadas para el modelamiento en las áreas de movilidad “extendida” y restringida”.

3.2.3.3. Estandarización de la información

Es necesario trabajar bajo un sistema de referencia geodésico común y que los dos grupos de variables ambientales posean la misma resolución espacial y extensión, antes de calibrar el modelamiento de distribución de *Nectandra acutifolia* con el software Maxent, versión 3.4.0. Para ello se ha recurrido al uso de la caja de herramientas “SMDtoolbox” (Scripts desarrollados en Phytom

para SIG por Brown, 2014). Esta se han incorporado en ArcGIS, y su extensiones (*Define projection* y *Project*) permitieron definir las variables al Sistema de Referencia Geodésico WGS84, Sistema de proyección cartográfico UTM, coordenadas planas UTM, zona 17 Sur. La transformación geográfica utilizada para reproyectar el sistema de referencia PSAD 56 a WGS 84 de las coberturas edafológicas fue: PSAD_56_to_WGS_1984_6 (definida para el Ecuador).

Figura 13. Transformación Geográfica



Sintaxis: Define as WGS 84 y Define Projection (Folder);transformación geográfica _6 (Ecuador)

Posterior a ello, la extensión “*Extract by mask*” permitió recortar las 37 variables ambientales de acuerdo a la extensión del área de movilidad “experimental” (9.075x7.573 GRID) y un tamaño de píxel de 30 metros. Las 22 variables se justaron a la extensión del área de movilidad “restringida” (252x545 GRID) y “extendida” (2231x 3761 GRID). Estas dos últimas a un tamaño de píxel de 1 kilómetro.

Además es necesario asignar valores de -999 a los registros de las coberturas vectoriales cuyos campos “otro” y “No aplicable” carecen de información, para que el software Maxent 3.4.0 los reconozca como valores “No Data” (sin datos). Es decir, se hace un reclasificación; caso contrario, el software no acepta espacios vacíos en la cobertura ráster a lo largo del área de modelamiento.

Finalmente, se ha realizado un conversión de todas las coberturas tipo GRID-Esri a formato GRID-ASCII (.asc) para que puedan ser incorporadas en el software MaxEnt 4.0.

3.2.4. Aplicación del modelo MaxEnt

3.2.4.1. Parámetros generales: regularización y umbrales de corte

El software de modelamiento de máxima entropía, MaxEnt versión 4.0. (Phillips & Dudík, 2008; Phillips, Dudík, & Schapire, 2017) es utilizado para modelar la distribución de *Nectandra acutifolia*.

El modelamiento de máxima entropía está sujeta a un conjunto de restricciones que representan la información incompleta con la que se cuenta acerca de la distribución de una especie. En la práctica, la información ambiental incompleta son los valores de las variables ambientales que se toman en cada punto donde es conocida la presencia de la especie. Este conjunto de valores se denominan “features” y son las barreras y limitaciones a las cuales está sujeta la estimación de probabilidad de distribución $\pi(x)$ en un área de estudio X . En el espacio X , los puntos de ocurrencia son muestras x_1, \dots, x_m , cada una de las cuales tiene una probabilidad $\pi(x)$ no-negativa entre 0 y 1.

A partir de ello, MaxEnt no estima valores de probabilidad usando directamente valores de las variables ambientales, pero si transforma dichas variables en “features”. Las “features” son funciones que representan la dependencia entre variables ambientales, y por ello, toman valores de la media entre variables, producto entre variables, su valor cuadrático, umbrales y hinge. Consecuentemente, las “features” aumentan la complejidad del modelamiento para ajustar dependencias más complejas valiéndose de un mayor número de datos de entrada. Los parámetros de regularización o “regularization parameters” controlan la complejidad de las funciones de dependencia o “features”, evitando “sobreajuste” u “overfitting”. Este último término se emplea para señalar una posible tendencia del algoritmo a predecir la distribución de una especie próxima a la distribución conocida (actual) de una especie. Para superar el “sobreajuste”, Maxent ha incorporado dos configuraciones que dependen del número de registros de ocurrencia: “feature types” y “regularization parameters” (Phillips & Dudík, 2008).

Por lo tanto, las “features” son funciones que poseen valores reales f_1, \dots, f_n para cada ocurrencia x en el espacio X . Entonces, también existe una probabilidad $\hat{\pi}(f_j)$ que se halla completamente definida por $\hat{\pi}(f_j) = \sum_{x \in X} \pi(x) f_j(x)$. Es decir, el principio de máxima entropía aproxima la probabilidad de distribución de cada “feature” al promedio de probabilidad de distribución de cada punto de ocurrencia, dando lugar a una nueva función $\tilde{\pi}(f_j)$. Asumiendo que se realiza un muestreo aleatorio de los puntos de ocurrencia (x) asociados a los valores de las “features” (f_j), la probabilidad de distribución de $\tilde{\pi}(f_j)$ debería ser igual a $\hat{\pi}(f_j)$; sin embargo, ya que el muestreo no es uniforme, ambas probabilidades no pueden igualarse y el promedio empírico de distribución de

$\hat{\pi}(f_j)$ se indica mediante la distribución de Gibbs. En esta distribución cada “feature” tiene un peso ponderado mediante una constante de normalización que asegura que la suma de las distribuciones de probabilidad sumen 1 (Phillips *et al.*, 2006; Justicia, 2007). En la praxis, ya que ambas probabilidades no pueden igualarse ($\tilde{\pi}(f_j)$ y $\hat{\pi}(f_j)$), MaxEnt permite que las funciones de dependencia ambiental se vuelvan menos complejas a través de parámetros de regularización que penalizan las fuertes ponderaciones realizadas a las “features” o la generación de muchas “features”. Tal penalización se efectúa por default en Maxent mediante un coeficiente de regularización $\beta = 1$. El usuario puede incrementar tal penalidad mediante la multiplicación de número mayor a 1, denominado “regularization multiplier” (Cao *et al.*, 2013; Merrow *et al.*, 2013; Elith *et al.*, 2010; Phillips *et al.*, 2006).

El algoritmo de máxima entropía es aplicado para realizar varias réplicas, en donde el programa empieza con una distribución uniforme o probabilidad cero, y después de cada iteración se incrementa la probabilidad de cada ocurrencia de la especie. La probabilidad se expresa como una ganancia que incrementa hasta llegar al máximo de iteraciones ejecutadas por el algoritmo, y de esta manera, maximiza la entropía de las especies aproximando su distribución al promedio de la distribución de las “features” sin necesidad de que sea exactamente igual a ellas. Esto da lugar, a que los valores de distribución de probabilidad se interpreten como índices relativos de idoneidad ambiental, en donde valores altos señalan una predicción de las mejores condiciones ambientales para la especie (*Nectandra acutifolia*) (Justicia, 2007).

En resumen, a mayor número de variables y registros de ocurrencia, se genera un mayor número de restricciones ambientales (“features”) producto de la combinación de valores ambientales coincidentes con los registros. Por esta razón, puede ocurrir un sobre-ajuste en el área de muestreo o movilidad de la especie. Justicia (2007) asegura que una interpretación ecológica de la máxima entropía equivale a la más confiable estimación de los sitios que presentan las más altas cualidades para la distribución de la especie en estudio.

MaxEnt ofrece otras configuraciones, tales como: formato de salida de las probabilidades (e.g., “logistic output” es un nuevo formato incorporado), umbrales de corte, métodos de muestreo de datos sesgados (e.g., extraer muestras del “background” con un sesgo similar al sesgo de los registros de ocurrencia para reducir el tiempo de construcción del modelo), entre otros. Las configuraciones más importantes se explicación a continuación (Phillips & Dudík, 2008):

- **Features:** es el conjunto de transformaciones matemáticas realizadas a las variables ambientales (e.g., lineal, cuadrática, producto, umbral, y hinge) creadas por MaxEnt y dependen del número de registros de presencia utilizados en el modelamiento. A mayor número de presencias, MaxEnt

aplica un mayor número de transformaciones matemáticas. A continuación se señalan las posibilidades: entre 2-9 registros (lineal), 10-79 registros (lineal+cuadrática), más de 80 registros (lineal+cuadrática+producto o umbral), más de 15 registros (hinge o cuadrática) (Philips *et al.*, 2017).

- **Regularization multiplier:** es un valor constante que el usuario puede modificar para seleccionar individualmente los “features” más útiles que reduzcan el “sobreajuste” en el modelamiento. El valor colocado por default es 1, pero puede ser modificado si se desean construir modelos cuyos “features” produzcan menor o mayor complejidad. Merow y colaboradores (2013) señalan que modelos excesivamente complejos tiene el mismo potencial que modelos simples porque los patrones ambientales persisten en ambos casos.
- **Random test percentage:** Divide el total de registros de ocurrencia de una especie en puntos de entrenamiento y de validación. La unidad de medida de este parámetro es el porcentaje.
- **Max number of Background points:** se refiere al número de píxeles extraídos de las variables ambientales, con la finalidad de construir el modelo de distribución (conocido en la literatura como “background data”) (VanDerWal *et al.*, 2009). Se emplean para informar al modelo que existe una densidad de variables ambientales en el área de calibración (o construcción) del modelo, que podría ser ocupada por la especie de manera proporcional a las condiciones ambientales que ocupa la especie en la actualidad.

Es una alternativa para superar el problema del sesgo en los datos de presencia, cuando no existen puntos de ausencia de la especie. Estos píxeles se extrajeron de las variables ambientales cuya extensión coincide con el área de movilidad de la especie, y por ello, influye en el desempeño predictivo del modelamiento (Merow *et al.*, 2013).

- **Prevalence:** Liu y colaboradores (2005) sostienen que la frecuencia de ocurrencia de una especie tiende a maximizar la concordancia entre áreas de distribución observadas y áreas pronosticadas. En el software MaxEnt 4.0. esta frecuencia de ocurrencia se denomina “prevalencia de la especie”, cuyo valor recomendado en la literatura es 0,5. La prevalencia se define como la proporción de ocurrencia de una especie frente al área total de estudio El estudio realizado por Liu y colaboradores (2005) evaluando distintos métodos de modelamiento concluye que, ante una prevalencia de 50% de presencia de una especie, existe una mínima variación de desempeño predictivo de los modelos, y por lo tanto, clasificar predicciones mediante umbrales de corte no se convierte en un problema. Es importante señalar que ante la falta de puntos de ausencia de la especie, la prevalencia de una especie no es identificable (Liu *et al.*, 2005; Elith *et al.*, 2011).
- **Logistic output:** son los resultados de predicción que señalan que los valores de probabilidad más diferentes tienen una mejor correspondencia con grandes diferencias de idoneidad ambiental

(Phillips & Dudík, 2008). El presente estudio usa salidas logísticas para expresar la idoneidad ambiental de distribución de *Nectandra acutifolia*.

Existen otros parámetros establecidos por default y sugeridos por los autores del software (Phillips *et al.*, 2017; Phillips *et al.*, 2006); como por ejemplo, el multiplicador de regularización =1 que ajusta la complejidad de los modelos incluyendo o excluyendo “features”. A pesar de ello, el presente estudio ha sometido a prueba las posibilidades de ajuste de complejidad de los modelos. Para ello, en primer lugar, se incrementa el multiplicador de regularización $\leq 2,5$ tal como lo han experimentado Elith y colaboradores (2010). En segundo lugar, se ha explorado la construcción de modelos más complejos utilizando diferentes “features” y la selección de “autofeatures” como lo sugiere Phillips y colaboradores (2006). En tercer lugar, se ha establecido un umbral de clasificación binaria “Maximum training sensitivity plus specificity” que minimiza errores de comisión (Moscoso *et al.*, 2013). Finalmente, se han probado tres áreas de movilidad de la especie en donde se han calibrado tres modelos con el afán de explorar los efectos del tamaño de “background data” en su desempeño predictivo (VanDerWal *et al.*, 2009; Moscoso *et al.*, 2013).

Todas las anteriores consideraciones resumen las discusiones que la literatura señala con respecto a abordar el “sobreajuste” de los modelamientos teniendo en cuenta : el área de movilidad de la especie, las restricciones ambientales y la evaluación del desempeño predictivo.

3.2.4.2. *Importancia de variables: Prueba de Jackknife*

La metodología de modelamiento de distribución de especies; y el modelamiento de máxima entropía especialmente utilizado en este estudio, no toma en cuenta la relación espacial (e.g., relación de proximidad) entre los puntos de ocurrencia de la especie porque las coordenadas de cada punto de presencia se utilizan únicamente para extraer los valores de las variables ambientales en ese punto. Por ello, el valor de idoneidad ambiental de un punto concreto sobre el terreno es estimado con independencia de los valores de sus vecinos, y la única correlación espacial existente se establece entre las variables ambientales. Consecuentemente, las condiciones ambientales son variables independientes sobre las cuales un punto de ocurrencia de *Nectandra acutifolia* tiene asignado un valor de idoneidad ambiental (Pearson *et al.*, 2007).

Es necesario conocer la contribución de cada variable ambiental en el modelamiento, y para ello MaxEnt asigna a cada variable un valor de la ganancia que el modelo ha alcanzado al final de proceso. Además, MaxEnt permite realizar una prueba estadística Jackknife (leave-one-out, en inglés) para

medir la importancia de las variables ambientales. La técnica consiste en dejar una variable fuera para evaluar el comportamiento del modelo generado sin considerar la variable excluida; y genera un modelo incluyendo todas las variables para comparar si en conjunto hay alguna variable que posee información importante que aún no está contenida en las restantes. Conocer la importancia y la contribución de cada variable en la ganancia del modelamiento, es un guía para obtener resultados que satisfagan los requerimientos ambientales de *Nectandra acutifolia* ya que existen variables autocorrelacionadas que pueden redundar información.

MaxEnt 4.0. ha permitido automatizar este proceso y se han establecido los siguientes parámetros: 0% de puntos de prueba (usa todas las variables), número máximo de iteraciones =500, umbral “Maximum training sensitivity plus specificity” y se procede a correr el modelo con la prueba estadística Jackknife. Las coberturas digitales ambientales de donde se extrae la información para aplicar la técnica jackknife, son previamente recortadas según el límite del área de movilidad de la especie, conocido como “background” (referirse a la sección 3.2.1) (Phillips & Dudík *et al.*, 2008).

3.2.4.3. *Correlación de Pearson: Past software y variables correlacionadas*

Previo a la construcción del modelo, Merow y colaboradores (2013) sugieren minimizar la correlación entre las variables predictoras y remover aquellas que aporten redundancia de información. El procedimiento estadístico más común para medir la fortaleza de las relaciones entre dos variables continuas es la correlación de Pearson. Se realiza un muestreo aleatoria entre pares de variables, y se establece que existe correlación cuando modificando los valores de una de las variables, la segunda también cambia con la misma magnitud que la primera (Delgado-Cueva, 2008). Para lograr este objetivo se ha considerado un valor de correlación de Pearson $|r| > 0,75$ o $|r| < -0,75$, indicando que las variables más correlacionadas entre sí tienen un valor $|r|$ mayor a $-0,75$ y mayor a $0,75$. Se han generado coeficientes de correlación de Pearson utilizando la herramienta computacional “Past software 3.16” de acceso libre a través de la página <http://folk.uio.no/ohammer/past/>, resaltando su fácil manejo y rapidez.

3.2.4.4. *Calibración o construcción del modelo*

Una vez seleccionadas las variables ambientales menos correlacionadas entre sí y que aportan mayor información ambiental por cada registro de ocurrencia de *Nectandra acutifolia*, se establecen los parámetros de construcción (conocidos como entrenamiento o calibración) del modelo.

En el presente estudio se desea poner a comprobación el desempeño y la significancia estadística del modelamiento de máxima entropía para tres áreas diferentes de movilidad de *Nectandra acutifolia*. Como VanDerWal y colaboradores (2009) lo han señalado, las prioridades de conservación de un estudio demandan ejercicios de comprobación que incluyan consideraciones más finas con respecto al hábitat individual de una especie; es decir, considerar la influencia del tamaño del área de movilidad sobre la capacidad predictiva del modelamiento. Por ello, se han construido tres modelos considerando tres áreas de movilidad: una que considera un amplio rango de distribución de *Nectandra acutifolia*, una que restringe el área de movilidad a Ecuador considerando factores biogeográficos de dispersión, y finalmente, un área de movilidad experimental basada en la disponibilidad de una mejor resolución espacial de las variables ambientales.

A continuación se detallan de manera general los parámetros de modelamiento que son comunes para las tres áreas de movilidad, y aquellos parámetros específicos de acuerdo al número de registros de ocurrencia disponible, el tamaño del área de movilidad de la especie y el estadístico que mide el desempeño del modelamiento para cada área de movilidad:

➤ *Parámetros de calibración comunes:*

1. *Autofeatures*: esta configuración no fue utilizada ya que las funciones lineal, cuadrática, producto, umbral y hinge son seleccionadas por “default” dependiendo del número de registros de presencia. MaxEnt selecciona las funciones más útiles cuando se selecciona la opción “autofeatures” (Phillips *et al.*, 2006).
2. *Features*: linear, cuadrática y umbral (funciones de dependencia ambiental) escogidas a partir de sugerencias analizadas en la literatura (Figueroa *et al.*, 2016; Delgado-Cueva, 2008; Elith *et al.*, 2010).
3. *Multiplicador de regularización*: 1,25. Valor escogido como resultado de una evaluación experimental realizada en el presente estudio (ver sección 4.2.1.; capítulo resultados) (Elith *et al.*, 2010; Elith *et al.*, 2011).
4. *Umbral de corte*: Maximum Training Sensitivity plus Specificity (MTSS). Umbral seleccionado como resultado de una evaluación experimental realizada en el presente estudio (ver sección 4.2.1.; capítulo resultados) (Elith *et al.*, 2010; Elith *et al.*, 2011)
5. *Formato de salida*: logístico o “logistic output”, permite interpretar las predicciones de modelamiento para tener un resultado de idoneidad ambiental entre 0 y 1.
6. *Tipo de archivo de salida*: ASCII (.asc).

7. *Puntos de entrenamiento y puntos de prueba*: 70 % puntos de entrenamiento y 30% puntos de validación.
8. *Random seed*: configuración seleccionada, ya que es deseable que MaxEnt 4.0. aplique el método de muestreo bootstrapping en cada una de las tres áreas de movilidad, seleccionando al azar todos los puntos de background.
9. *Número de réplicas*: 5 modelos generados (30 en total, 10 por cada área de movilidad).
10. *Extrapolate y Do clamping*: configuraciones no seleccionadas para evitar extrapolaciones en los extremos de las variables ecológicas-ambientales.
11. *Iteraciones máximas*: 1.000 repeticiones en las que el algoritmo puede alcanzar su optimización.
12. *Prevalencia*: 0,5. Se ha seleccionado el 50% de prevalencia de *Nectandra acutifolia* porque de esta manera el estadístico AUC no se ve alterado en toda su área de movilidad o “background” (Peterson *et al.*, 2008).

Nota: Las demás configuraciones de la interface del software Maxent que no se incluyen en los parámetros de calibración específicos, fueron establecidos por “default” según las consideraciones de Phillips y Dudík (2008).

➤ *Parámetros de calibración específicos:*

- a) *Área de movilidad extendida – Regiones biogeográficas de América Latino y el Caribe (Morrone, 2002)*
 1. *Número máximo de puntos de “background”*: 30.000 píxeles o “background data” muestreados por “bootstrapping”.
- b) *Área de movilidad restringida – Sectores biogeográficos del Ecuador Continental (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013)*
 1. *Número máximo de puntos de “background”*: 20.000 píxeles o “background data” muestreados por “bootstrapping”.
- c) *Área de movilidad experimental – Corredor del Chocó Andino (Justicia, 2007)*
 1. *Número máximo de puntos de “background”*: 10.000 píxeles o “background data” muestreados por “bootstrapping”.

3.2.4.5. Elección del umbral de corte y método de muestreo de datos “bootstrapping”

Para facilitar la interpretación de las predicciones hechas por el modelamiento de máxima entropía, es necesario convertir los resultados de idoneidad ambiental de *Nectandra acutifolia* en clasificaciones binarias (presencia/ausencia) porque los objetivos de conservación y manejo ambiental requieren información práctica antes que una probabilidad. Para ello, es necesario aplicar un umbral que discrimine entre presencia/ausencia. Además, el umbral facilita la posterior evaluación de la precisión del modelamiento porque mide errores de predicción que se fundamentan en una matriz de confusión construida a partir de datos independientes (ver Tabla 15) (Pearson *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2005).

Por lo tanto, también es necesario aplicar una técnica para generar datos independientes (“datos de prueba o validación”) con los cuales comparar los datos que fueron ocupados en la construcción del modelo (“datos de entrenamiento o calibración”). Es decir, una validación del desempeño es consistente, cuando dos grupos diferentes de datos son sometidos a evaluación. Lo más ideal, según Chatfiel (1995), es recoger nuevos “datos de prueba” después del modelamiento; sin embargo, en la práctica se dividen los datos originales en dos grupos usando un método de partición aleatorio (Fielding & Bell, 1997). Entre los métodos de división de datos que ofrece MaxEnt 4.0, se señalan: sub-sampling, bootstrapping y cross-validate. Esta partición de datos es crucial ya que el objetivo es obtener datos lo suficientemente representativos de la frecuencia de ocurrencia de una especie y representativos de las condiciones ambientales que caracterizan su nicho ecológico (Araújo & Guisan, 2006).

“Bootstrapping” es una técnica de muestreo con reemplazo fundamentada en el muestreo aleatorio que realiza diferentes particiones de los datos de entrenamiento. Se escogió esta técnica porque permite la validación estadística del modelamiento y garantiza la selección de todo el conjunto de registros de ocurrencia en la construcción del modelamiento. Es decir, cada punto es seleccionado al menos en una de las corridas o réplicas efectuadas por el algoritmo. En el presente estudio, se realizan 5 réplicas de modelamiento, y en cada caso, “bootstrapping” divide la muestra (total de registros de presencia de *Nectandra acutifolia*) en “puntos de entrenamiento” y “puntos de validación”. La evaluación estadística del desempeño de cada modelamiento se va a interpretar como la proporción de las muestras seleccionadas mediante “bootstrapping”. Las propiedades de independencia de este método de muestreo se expresan matemáticamente de la siguiente manera (Hernández-Abreau & Martínez-Pérez, 2012):

$$f(X_1, X_1, \dots, X_n) = f(X_1) f(X_2) \dots f(X_n) \quad (6)$$

Donde:

$f(x)$ = es la función de frecuencia de muestreo de los registros de la especie

X_1, X_1, \dots, X_n = son las muestras o registros de presencia

Los “puntos de entrenamiento” con los cuales el algoritmo construye el modelo representan una muestra aleatoria del total de registros que ha sido colectado; sin embargo, no representan el total de muestras de la especie en todo su rango de distribución. Consecuentemente, estas muestras no deben significar un sesgo en la distribución de los datos y para solucionar este sesgo e incrementar el desempeño del modelamiento, autores como Araújo y Guisan (2006) sugieren dividir el total de registros en dos sub-muestras: “validación y entrenamiento”. Por ello, lo ideal sería seleccionar muestras que cubran condiciones ambientales heterogéneas para obtener modelos lo suficientemente representativos de las condiciones óptimas para la persistencia de una especie. La selección de muestras aleatorias representativas mediante “bootstrapping” permite adicionar representatividad a los registros existentes de especies porque, en cada réplica, el algoritmo empleado en MaxEnt hace una selección con reemplazo de los registros de especie (Guisan & Zimmermann, 2000).

Por otro lado, el umbral de corte con el cual se generaron modelos binarios de idoneidad ambiental es “Maximum training sensitivity plus specificity”. Este umbral establece un balance entre la sensibilidad (tasa de verdaderos positivos) y especificidad (tasa de verdaderos negativos) y genera mapas menos inclusivos a comparación de otros umbrales de corte. El estudio realizado por Moscoso y colaboradores (2013) sugiere utilizar este umbral para minimizar los errores de comisión, lo cual es una estrategia recomendada cuando el objetivo del modelamiento es la conservación estricta de una especie. En este estudio, se desea estimar áreas donde reforestar con *Nectandra acutifolia*, por lo que umbrales estrictos son necesarios para ajustar el modelamiento a puntuales requerimientos ambientales para la especie (Cao *et al.*, 2013). En definitiva, el umbral escogido maximiza ambas oportunidades: de asignar erróneamente una distribución no idónea y omitir una distribución idónea.

3.2.4.6. Elección de la mejor réplica/modelo: Área Bajo la curva (AUC) y tasa de omisión

En función de los parámetros de calibración señalados en las dos secciones anteriores, se han generado 15 réplicas tipo “bootstrapping” (5 por cada área de movilidad), y es necesario conocer cuál de ellas alcanzó un desempeño predictivo significativamente mejor que el azar para cada una de las 3 áreas de movilidad de *Nectandra acutifolia*.

Para ello, se ha aplicado una primera prueba estadística binomial que considera un umbral de corte, el cual, clasifica idoneidad ambiental vs. áreas no idóneas para la existencia de la especie. Esta prueba estadística mide la proporción de casos clasificados incorrectamente por el algoritmo de máxima entropía. Según Pearson y colaboradores (2007), las predicciones espaciales de los modelos de distribución de especies presentan errores de clasificación que son de omisión y comisión. Para facilitar la comprensión de los errores de clasificación, de aquí en adelante se denominará “presencia de la especie” a idoneidad ambiental de distribución de *Nectandra acutifolia* y “ausencia” a la no idoneidad. Así pues, el error de omisión (falsos negativos) se fundamenta en clasificar presencias como si fueran ausencias, y por ende, es el error más criticable puesto que poseer registros de ocurrencia de una especie aporta cierta certeza en la clasificación. Por su parte, el error de comisión (falsos positivos) consiste en clasificar ausencias como presencias, y a fin de cuentas, el objetivo del modelamiento es la predicción de zonas donde no se tiene certeza de la ocurrencia de una especie. Como consecuencia, no hay una regla general para establecer el umbral que minimice uno de los dos errores, mas bien, depende del objetivo de la investigación y del grado de restricción del modelamiento para fines de conservación de la especie (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2011). Sin embargo, un modelo ideal requiere reducir la tasa de falsos negativos o lo que equivale a tener un alta “sensibilidad”; mientras que, minimizar los errores de comisión se vuelve crucial por no tener datos de “ausencias”. Por lo tanto, Phillips y colaboradores (2006) sostienen que es más importante en MaxEnt predecir correctamente una amplia área de distribución de la especie antes que evaluar los errores de comisión cometidos. Razón la cual, una medida del área fraccional de predicción se usa (“fractional predicted area”, en inglés) en reemplazo de la tasa de falsos positivos o error de comisión (Fielding & Bell 1997). Finalmente, ya que los errores de omisión tienen más peso se evalúan mediante una matriz de confusión.

Una matriz de confusión es una herramienta importante pues, sus cuatro elementos caracterizan errores de predicción, y a partir de estos errores, se miden el desempeño del algoritmo clasificador y la significancia estadística del modelo. Una matriz de confusión resume la frecuencia con la cual las presencias y “pseudo-ausencias” son correcta o incorrectamente predichas (Peterson *et al.*, 2008). Para entenderlo, es preciso señalar las siguientes definiciones:

- *Nivel de significancia o “p-valor” (C)*: es la probabilidad de cometer un “error de omisión” y se fija comúnmente en $p=0,05$ o $p=0,01$.
- *Nivel de confianza o sensibilidad (1- error de omisión)*: es la probabilidad de predecir correctamente la idoneidad ambiental.

Gráficamente, ambos conceptos quedan representados en la matriz de confusión de la siguiente manera:

Tabla 15. Matriz de confusión: confianza vs. significancia

		Datos de prueba	
		Hipótesis verdadera Presencias verdaderas	Hipótesis falsa Ausencias verdaderas
Datos de entrenamiento	Se acepta hipótesis Presencias predichas	Sensibilidad <i>(1 - error de omisión)</i> <i>a</i>	Error de comisión <i>b</i>
	Se rechaza hipótesis Ausencias predichas	Error de omisión <i>(significancia)</i> <i>c</i>	Especificidad <i>(1 - error de comisión)</i> <i>d</i>

Elaborado por: Paola Parra

Por lo tanto, se puede aplicar esta primera prueba binomial sobre una matriz de confusión. Cuando solamente se tienen datos de presencia de la especie, calcular la proporción de “presencias verdaderas” correctamente predichas por el algoritmo se obtiene mediante la medida de sensibilidad o “fracción de verdaderos positivos (1- error de omisión)”, con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{FVP} = \frac{a}{(a+c)} \quad (7)$$

Donde:

FVP= es la fracción de verdaderos positivos o ausencia de error de omisión

a = región del espacio donde el algoritmo identifica correctamente las presencias de una especie; se la conoce como región de verdaderos positivos (VP)

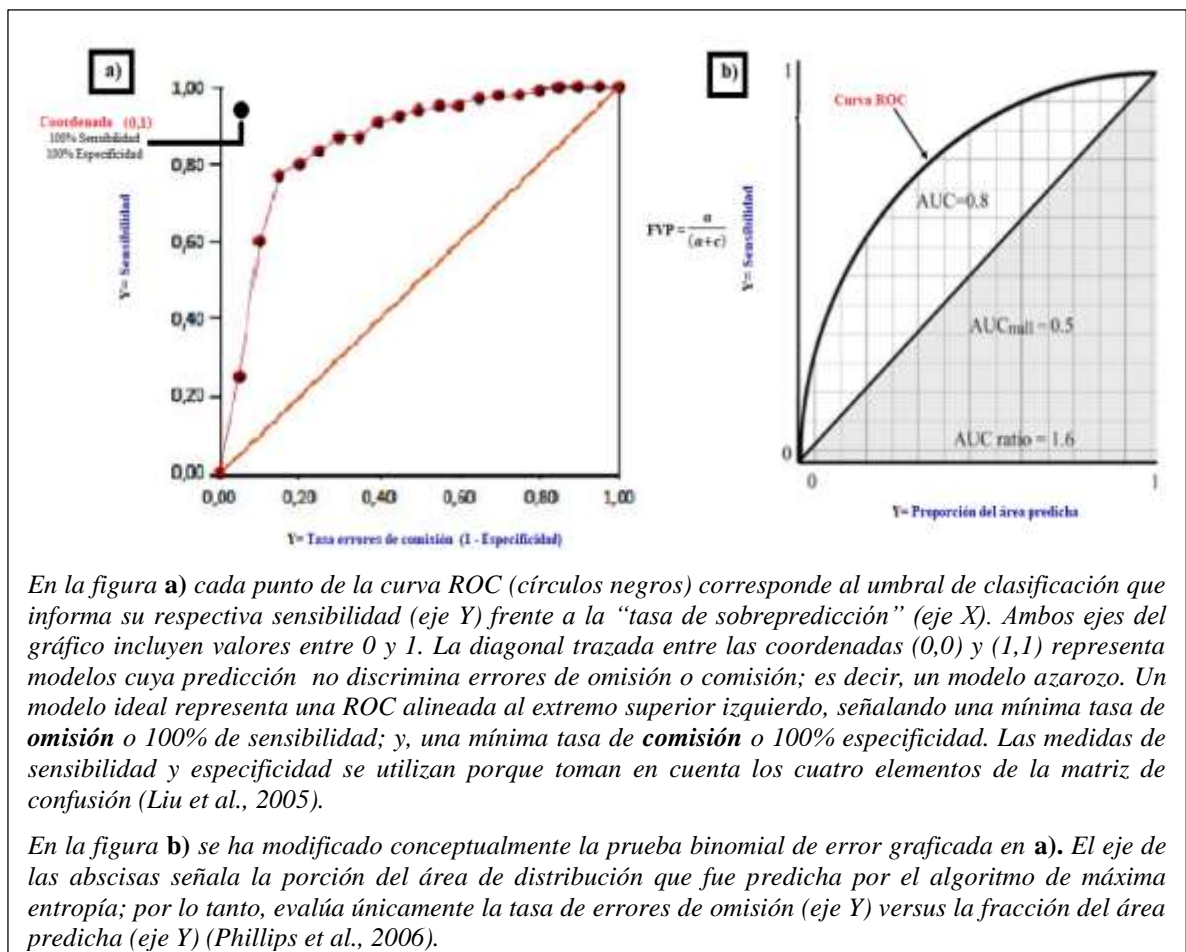
c = región del espacio donde el algoritmo incorrectamente identifica las presencias como si fueran ausencias; se la conoce como región de falsos negativos (FN)

Un segundo estadístico utilizado en el presente estudio es independiente del umbral de corte, pero evalúa la capacidad predictiva del modelamiento contrastando los “datos de entrenamiento” con los “datos de validación” divididos previamente mediante “bootstrapping”. Esta segunda evaluación valora dos aspectos del modelamiento: su significancia con respecto a una predicción azarosa; y, su desempeño (capacidad discriminativa de clasificar correctamente nuevos datos). En función de los resultados de la matriz de confusión, el estadístico ROC (Receiver Operating Characteristic) representa gráficamente la capacidad discriminativa del modelamiento a través de una curva en un eje de coordenadas; en donde, la forma de la curva y la superficie bajo ella (AUC-Área Bajo la Curva

ROC) señalan con precisión la “sensibilidad” (1-omisión; tasa de identificación correcta de presencias, en el eje Y); y el error de comisión (1-especificidad; tasa de sobrepredicción que es el complemento de la “especificidad” , en el eje X) de la prueba de clasificación binaria que previamente se basó en un umbral de corte (valor a partir del cual se decide si un punto califica como ausencia o presencia). En MaxEnt, Phillips y colaboradores han modificado el eje de las abscisas (x) estableciendo, a cambio, una medida del área fraccional de predicción (Peterson *et al.*, 2008; Hernández-González, 2007).

En conclusión, ROC y AUC son dos estadísticos que permiten seleccionar modelos posiblemente óptimos y descartar modelos subóptimos dependiendo del valor de AUC (oscila entre 0 y 1). Donde, un valor de 1 señala que todos los casos se han clasificado correctamente, y un valor AUC de 0,5 indica que el modelo no es diferente de clasificar los casos al azar. Además, valores menores a 0,5 indican que el modelo es realmente malo, ya que clasifica erróneamente más casos que el azar (Pearson *et al.*, 2007; Mateo *et al.*, 2011).

Figura 14. Representación de la matriz de confusión en la Curva ROC



Fuente: Cerda & Cifuentes, 2012; Peterson *et al.*, 2008; modificado por Parra, 2018

AUC representa gráficamente la probabilidad de que tomando al azar un par de puntos, uno de presencia y otro de “pseudo-ausencias” de especies, el modelo adjudique a la presencia un valor mayor de idoneidad. El proceso se repite para todos los posibles pares en la muestra (en MaxEnt, la muestra son los puntos de “background”; ver sección 3.2.1). Por lo tanto, AUC es un estadístico muestral que considera un nivel de significancia determinado y se fundamenta en la llamada “matriz de confusión”. Por su parte, la prueba de clasificación binaria evalúa las predicciones de idoneidad ambiental en cada celda de información ráster que contiene cada variable ambiental. Se puede efectuar tal clasificación cuando existen umbrales que discriminen “idoneidad ambiental” vs. “no idoneidad” (Pearson *et al.*, 2007; Mateo *et al.*, 2011).

Afortunadamente, el análisis de la curva ROC y su estadístico derivado, AUC, se han incorporado computacionalmente en el software MaxEnt, versión 4.0. Es decir, MaxEnt genera automáticamente valores de AUC al evaluar curvas ROC a lo largo de todos los umbrales posibles dando como resultado un único valor al final de proceso. La rutina elaborada por MaxEnt aplica el algoritmo iterativo siguiendo un número de iteraciones señaladas por el usuario y genera valores de predicción en todos los niveles de umbrales de corte. No existe una regla general para seleccionar un umbral de corte, y mas bien, la elección depende de la cantidad disponible de registros de presencia de la especie en estudio; así como de la certeza que exista acerca de la localización de los registros. Por lo tanto, MaxEnt realiza clasificaciones binarias de presencia/ausencia para varios tipos de umbrales, y la contrastación de predicciones de cada modelo se realiza considerando la matriz de confusión. A partir de ella, se generan valores que son representados por la Curva ROC para cada modelo generado. Finalmente, la curva ROC deriva el estadístico AUC, que conjuntamente con el umbral de corte elegido por el usuario, permiten seleccionar el modelo que mejor desempeño ha alcanzado, cuya tasa de omisión de puntos de prueba sea la menor (Pearson *et al.*, 2007; Peterson *et al.*, 2008; Mateo *et al.*, 2011).

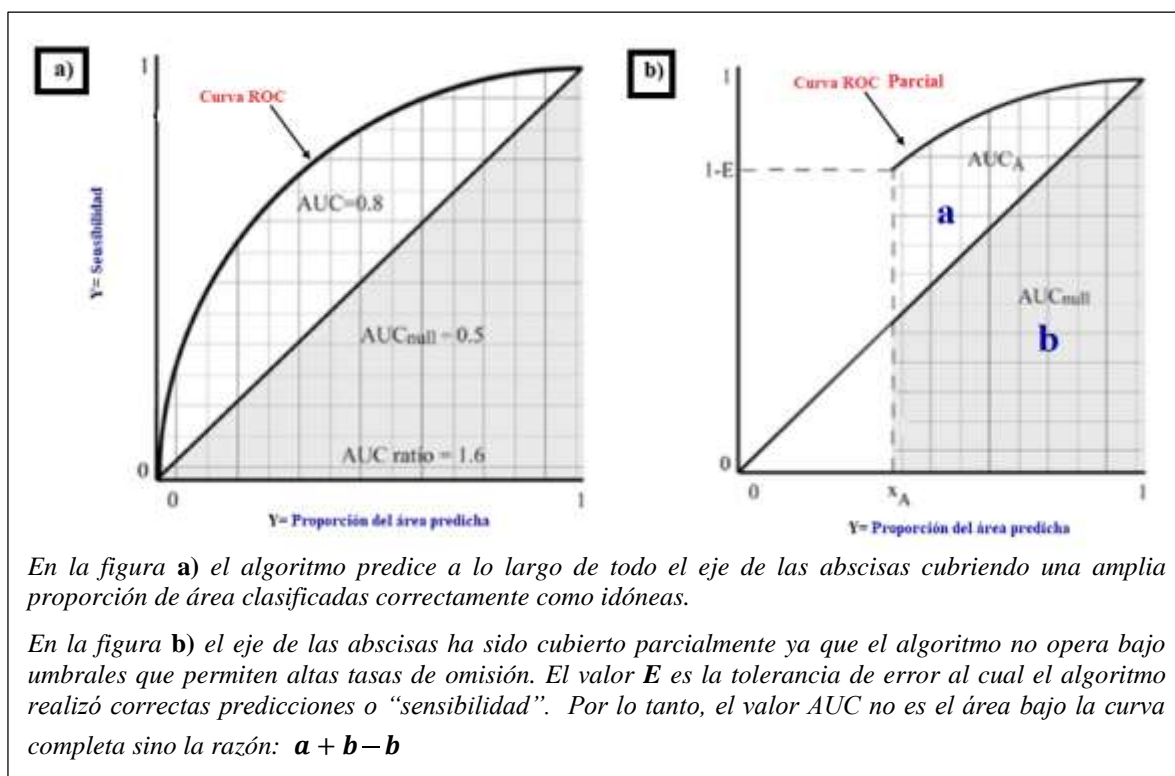
La literatura señala que modelos con valores de AUC sobre 0,75 son considerados potencialmente útiles en la predicción de distribución de una especie (Phillips & Dudík, 2008; Elith *et al.*, 2011). Sin embargo, Sweets (1988) señala que valores AUC mayores a 0,9 describen una muy buena capacidad de clasificación de errores de predicción.

3.2.4.7. Evaluación del desempeño y significancia estadística del modelo MaxEnt: Prueba ROC Parcial

El análisis de la curva ROC parcial se realiza únicamente con los “puntos de validación” dejados fuera de la construcción del modelamiento. El mayor objetivo de este análisis es conocer la capacidad discriminativa que ha desempeñado el modelo durante su construcción y cuál es su significancia estadística; es decir, su probabilidad de cometer errores de omisión. Para ello, se ha utilizado el software “Tool for Partial-ROC (versión 1.0)” desarrollado por Narayani Barve, del Instituto de Biodiversidad en Lawrence, Kansas (Barve, 2008). Esta herramienta ha permitido preestablecer una tasa extrínseca de omisión de registros de ocurrencia “*E*” igual al 5%, considerando que tasas de omisión bajas indican una alta precisión predictiva del modelo porque señalan la fracción de los puntos de “prueba” que fueron clasificados como “no idóneos” durante la construcción del modelamiento (Anderson *et al.*, 2011). A su vez, el 5% es una tasa de omisión óptima porque indicaría que los modelos no fallaron en su predicción en más del 95%. Esta consideración trasladada al software “Tool for Partial-ROC” es igual a una tasa “1 – omisión” de 0,95. El análisis consiste en generar un cálculo de área bajo la curva ROC Parcial para el 50% del total de los “puntos de validación” mediante muestreo aleatorio con reemplazo (“bootstrapping”) para 1.000 iteraciones. (Barve *et al.*, 2011; Barve, Tool for Partial-ROC. Versión 1.0., 2008).

Se ha seleccionado esta técnica de evaluación del desempeño porque en MaxEnt el estadístico ROC normal adopta una interpretación diferente en el eje de las abscisas (*x*). El algoritmo de máxima entropía no utiliza “ausencias” y por ello el eje de las abscisas no es la proporción de errores de comisión; sino mas bien, es la proporción del área predica como “idónea”. ROC parcial toma en cuenta esta consideración; sin embargo, existen varios algoritmos que no aportan valores de predicción a lo largo de todo el eje de las *x* cuando clasifican a partir de umbrales de corte bajos (e.g., el umbral “10 Percentil Training Presence” que admite altos errores de omisión). Por este motivo ROC parcial permite establecer un valor *E* (e.g., 5%) de tolerancia de error de omisión, en donde, el cálculo de AUC se limita a una sección del área total de predicción de idoneidad. El valor *E* ha permitido que el objetivo de este estudio establezca una tolerancia máxima de error sobre los datos de “prueba”; y así, contrastarlos con las características de error que han tenido los datos de “entrenamiento”.

Figura 15. Diferencias entre la Curva ROC normal y ROC Parcial



Fuente: Peterson *et al.*, 2008; modificado por Parra, 2018

AUC normal ha sido señalado como el estadístico más efectivo en medir la capacidad discriminatoria de los modelos probabilísticos en general. Sin embargo, las consideraciones descritas a continuación justifican el replanteamiento de una curva ROC parcial. Vaughan y Ormerod (2005) sugieren que una prueba estadística es precisa cuando representa "generalidad", es decir, cuando es capaz de establecer un valor de significancia p independientemente del número de puntos de "entrenamiento" y "validación". Esto indica que AUC es dependiente de la prevalencia de una especie, sin embargo, Peterson y colaboradores (2006) establecieron una nueva configuración en MaxEnt igual al 50% de prevalencia de la especie; a partir de lo cual, el valor AUC permanece estable. Otra propiedad ideal de AUC sería su capacidad de diferenciar los errores de omisión (falso-negativo) o comisión (falso-positivo), ya que usualmente, en el campo de los modelamiento ecológicos, existe una negativa correlación entre ambos errores. AUC normal ponderada igualmente tanto los errores de omisión como los de comisión (Peterson *et al.*, 2008).

Particularmente en este estudio, la prueba estadística ROC Parcial ha establecido que un modelo es significativo si su probabilidad de cometer errores de omisión es $p \leq 0,05$ (menor al 5%) y un nivel de confianza del 95%; es decir, la probabilidad de clasificar idoneidad ambiental donde en realidad existen puntos de presencia de *Nectandra acutifolia*.

3.3. DESPLAZAMIENTO DEL OSO ANDINO EN EL CORREDOR ECOLÓGICO

3.3.1. Registros de cámaras trampa de *Tremarctos ornatus*

En el Corredor Ecológico del Oso Andino existen cámaras trampa disponibles para el monitoreo de poblaciones de *Tremarctos ornatus*. Tales se detallan en la tabla a continuación y sirvieron como referencia para establecer los rangos altitudinales de distribución del oso andino para realizar la función de costos de desplazamiento del mamífero y así priorizar zonas de reforestación. Molina (2012 a) seleccionó los sitios para ubicar las cámaras de acuerdo a las siguientes características: 1) sitios en donde gente local había registrado la presencia de osos en el pasado; 2) sitios que exhibían abundantes evidencias de presencia de osos como marcas, fecas y huellas; 3) lugares con una facilidad de acceso moderado que permitiera revisar las cámaras; y 4) sitios que debido a la topografía, por lo general con laderas con pendientes mayores a 60°, fueron identificados como zonas de paso obligado a través de los filos de montaña. Por otro lado, la mayoría de las cámaras fueron ubicadas en el interior de bosques maduros con coberturas mayores al 70%. La principal diferencia entre sitios fue su elevación y la distancia hacia zonas alteradas, especialmente potreros y cultivos. Un 65% de los eventos de captura de osos se encontró en el rango altitudinal entre los 1800-3.000 msnm, mientras que el 35% restante se ubicó entre los 1.000-1.800 msnm. Las cámaras fueron reubicadas si en un período de 30 días no hubo registros de presencia de oso o algún otro mamífero.

Tabla 16. Localidades con registros de presencia de osos andinos

Sitio	Días en campo	# de eventos	Distancia a potreros (km)	Densidad (árboles/m ²)	Cobertura (%)	Altitud msnm
Maqui Camp 1	239	7	0,819	0,084	82	1.716
Maqui Camp 2	221	7	1,591	0,102	74	1.865
Montecristi 3	169	1	1,860	0,088	73	2.603
Montecristi 4	169	10	1,825	0,086	73	2.554
Platanera	194	2	0,194	0,012	73	1.609
Guagua Monte	94	1	0,887	0,082	76	2.793
Curipogrio 1	91	1	0,388	0,16	83	1.092
El Golán 1	95	1	0,422	0,131	72	2.184
El Ali 1	88	4	0,401	0,116	77	2.151
El Ali 3	48	4	0,424	0,126	77	2.144

Fuente: Molina, 2012 a.

3.3.2. Menor esfuerzo de desplazamiento de *Tremarctos ornatus*: Función de costos

Una vez determinada la idoneidad ambiental que favorece la distribución de *Nectandra acutifolia* y la selección de áreas elegibles para reforestación según un análisis de cambio de uso del suelo, el presente estudio ha considerado establecer las siguientes covariables que representan niveles de limitación para un adecuado desplazamiento de individuos de oso andino en el corredor. De tal manera, se proponen 5 categorías de covariables: distancias recorridas, pendiente del terreno, elevación, disponibilidad de hábitat y textura del suelo. La importancia de modelar individualmente cada categoría se fundamenta en la necesidad de conocer el comportamiento de las covariables dentro de cada categoría y su incidencia en la función final de costos de movilización de *Tremarctos ornatus*, como un indicador del menor esfuerzo de desplazamiento que el mamífero puede realizar dentro de su corredor ecológico. Como resultado, se ha obtenido un mapa de función de costos que establece ponderaciones para las covariables a través del método de jerarquías analíticas de Saaty (1990).

3.3.2.1. Distancias recorridas: a vías, centros poblados y potreros

Para establecer una ponderación de las presentes variables se ha acudido a la literatura, que señala el comportamiento característico de *Tremarctos ornatus* frente a la presencia del ser humano y la relación existente entre la presencia de osos y factores de origen antropogénico que podrían influir en los patrones de movimiento de osos andinos (Ríos-Uzeda *et al.*, 2009; Peyton, 1999).

Los estudios realizados por Castellanos (2005) y Molina (2012 a) sobre uso de hábitat del Oso Andino en el área de estudio, señalan que el mamífero utiliza senderos creados por campesinos en los filos de las cordilleras para efectuar sus grandes desplazamientos, característicos de otros grandes mamíferos andinos como el tapir andino (Castellanos 1994). De esta manera se confirma que los filos cordilleros son utilizados por los osos andinos como rutas de viaje entre las partes altas y bajas de la montaña (Peyton 1999, Castellanos *et al.*, 2005).

Por otro lado, observaciones de pobladores locales indican que la carretera Calacalí-Nanegalito puede ser considerada una barrera artificial que impida el movimiento de los osos hacia los páramos occidentales alrededor del volcán Pichincha, pues el paso del mamífero por esta vía genera riesgo de atropellamiento. Los caminos secundarios, como aquel que va desde Marianitas a Curipogrio (a orillas de río Guayllabamba), y el que conecta a Yunguilla con las asociaciones agrícolas el Golán y el Porvenir, si bien tienen un tráfico vehicular mínimo, son acceso de asentamiento humanos desordenados incluyendo la extracción ilegal de madera. Actualmente las características naturales a lo largo de estos caminos están ligadas a actividades productivas extractivas, que igualmente son

consideradas como una amenaza para los osos porque se reduce la disponibilidad de hábitat y se incrementan los posibles encuentros con el ser humano.

La caracterización de las presentes variables se fundamenta en el trabajo realizado en campo por Molina (2012 a), en donde se ha encontrado el mayor de registro de osos en el sitio Montecristi 4, Maqui Camp 1 y Camp2. Por motivos implícitos de confidencialidad de información no se pueden detallar las coordenadas de ubicación de cámaras trampa; sin embargo, es importante la inferencia de posibles recorridos realizados por *Tremarctos ornatus* entre un sitio y otro, mediante la determinación del “trayecto de menor esfuerzo” (o least cost path). Esta ruta de desplazamiento o “mejor vía” fue realizada por Molina (2012 a) teniendo como única variable el valor de la pendiente del terreno en función de las características topográficas del área de estudio utilizando el software ArcGIS 10.3 (ver Tabla 17).

Tabla 17. Recaptura de 5 individuos de oso andino y distancias recorridas entre cámaras trampa

OSO	Desde	Hacia	Distancia (metros) línea recta	Distancia (metros) según relieve
1	Guagua Monte	Montecristi 4	3.461,91	5.560,44
2	El Alí 1	Golán 1	3.597,53	5.448,87
3	Maqui-Camp 1	Montecristi 4	6.175,59	7.656,71
4	Maqui-Camp 2	El Alí 3	6.701,88	9.707,74
		Promedio	4.984,23	7.093,44

Fuente: Molina, 2012 a

Los desplazamiento realizados por osos andinos en dos o más sitios se registraron en un promedio de 54 días recorriendo 7,1 km en promedio. A esto se suma un evento particular, pues un individuo se trasladó del sitio Ali1 a Golán 1 en un lapso de 8 horas aproximadamente y recorrió 5,45 km. El presente estudio ha considerado este desplazamiento como el rango máximo de desplazamiento del mamífero, pues son 1,5 km recorridos por hora durante los cuales puede llegar a centros poblados y potreros. Esta magnitud indicaría la distancia a la cual *Tremarctos ornatus* se movilizaría sin predisponerse a descansos largos; y es en esta zona de influencia, donde existe el menor esfuerzo de movilización.

Con las consideraciones empíricas antes señaladas, el presente estudio ha ponderado las variables de esta categoría de la siguiente manera:

Tabla 18. Costo de desplazamiento del oso andino en función de distancias recorridas

Distancia recorrida desde sitio de trampeo (km)	Ponderación	Desplazamiento	Esfuerzo de desplazamiento
1,47	1	Muy adecuado	Sin limitaciones

Fuente: Secretaría de Ambiente-DMQ, 2014; modificado por Parra, 2018

Tabla 19. Costo de desplazamiento del oso andino en función de influencia de vías

Tipo de vía	Buffer (metros)	Ponderación	Desplazamiento	Esfuerzo de desplazamiento
Autopista o Carretera pavimentada: una, dos o más vías	200	20	Extremadamente No Adecuado	Restringido *
Carretera sin pavimentar: una, dos o más vías	100			
Sendero o Vereda	0	1	Muy Adecuado	Sin limitaciones
Camino de verano				

Fuente: MAGAP-IEE, 2013; modificado por Parra, 2018

*Restringido: parámetro que en el modelamiento final da como resultado valores “NO DATA”

3.3.2.2. Pendiente del terreno

En el Corredor del Oso Andino, el rango altitudinal sobre los 1.800 msnm abarca pendientes pronunciadas (>60°), por donde el desplazamiento del mamífero se ve restringido; mientras que pendientes menos pronunciadas, en fillos de montañas, facilitan su desplazamiento tal como ha señalado la mejor vía de desplazamiento realizada por Molina (2012 a).

Tabla 20. Costo de desplazamiento del Oso Andino en función de pendientes de terreno

Pendiente en grados	Ponderación	Desplazamiento	Esfuerzo de desplazamiento
0-15 °	1	Muy Adecuado	Sin limitaciones
15-45 °	5	Adecuado	Pocas limitaciones
45-60°	15	No Adecuado	Con limitaciones
60-90°	20	Extremadamente No Adecuado	Severas limitaciones

Fuente: Modelo Digital de Elevación a 30 metros; modificado por Parra, 2018

3.3.2.3. Elevación

Tal como lo han señalado diversos autores, en el Corredor del Oso Andino existen altitudes mayores a 1.800 msnm que presentan pendientes que restringen el desplazamiento del Oso Andino; mientras que zonas por debajo de los 1.500 msnm, especialmente aquellas que se encuentran a lo largo del camino que se dirige hacia Curipogrio y el río Guayllabamba, presentan menor disponibilidad de cobertura vegetal que facilite la movilización del mamífero. Sin embargo, debajo de los 1.500 msnm se ubican bosques secundarios con evidencia de árboles de *Nectandra acutifolia* y áreas con altos niveles de fragmentación del paisaje por actividades de origen antropogénico (Molina, 2012 a; Castellanos *et al.*, 2005).

Por su parte, el sitio Curipogrio 1, muy cerca del río Guayllabamba, es aquel con presencia de osos a menor altitud, con 1.093 msnm y con mayores niveles de fragmentación. En este sitio se incrementaron amenazas de cacería al animal por destrozos en maizales. En contraste, el sitio Montecristi 4 obtuvo el mayor número de eventos de captura de oso (e.g., en total 10), y conjuntamente con el sitio Guagua Monte, son los que se encuentran en la parte más alta del área de estudio < 2.700 msnm y a poco más de un kilómetro de la carretera Calacalí-Nanegalito.

La ponderación realizada a las variables de esta categoría ha considerado todo el rango posible de desplazamiento del Oso Andino; a pesar de la amenaza existente en altitudes menores por la intervención de actividades agro-productivas. Sin embargo, a esta categoría se aplicó un menor peso en la función general de costos de desplazamiento.

Tabla 21. Costo de desplazamiento del Oso Andino en función de rangos de elevación

Elevación (m.s.n.m)	Ponderación	Desplazamiento	Esfuerzo de desplazamiento
1.500-1.800	1	Muy Adecuado	Sin limitaciones
1.800-2.700	5	Adecuado	Pocas limitaciones
1.000-1.500	15	No Adecuado	Con limitaciones
895-1.000	20	Extremadamente No Adecuado	Severas limitaciones
2.700-3.525	20	Extremadamente No Adecuado	Severas limitaciones

Fuente: Modelo Digital de Elevación a 30 metros; modificado por Parra, 2018

3.3.2.4. Disponibilidad de hábitat

Para establecer rangos de ponderación de las unidades de uso y cobertura vegetal se han considerado estudios realizados sobre el comportamiento y uso de hábitat del oso andino en Maquipucuna y su zona de influencia. Así pues, el oso andino realiza grandes desplazamientos porque sus altas exigencias metabólicas requieren que el mamífero explore vastas áreas en busca de alimento, lo cual le obliga a atravesar zonas alteradas y con presencia humana. No obstante, *Tremarctos ornatus* establece áreas centrales de vida en donde encuentran disponibilidad alimenticia. Por ejemplo, Castellanos y colaboradores (2005) definieron como zona de vida importante, para tres individuos reintroducidos, al bosque húmedo Pre Montano (bhPM, 1200-1700 msnm), donde los más importantes estados de sucesión vegetal que se encontraron fueron remanentes de bosque maduro, bosque intervenido, rastrojos y monocultivos de caña de azúcar (*Sacharum officinarum*) y guayaba (*Psidium guajava*). Entre los 1700 y 2700 msnm, en el bosque húmedo Montano Bajo (bhMB) y el bosque húmedo Montano (bhM), la densidad de fuentes alimenticias disminuye y por lo tanto constituyen zonas de vida temporales o poco frecuentes para el oso andino (Castellanos *et al.*, 2005). Es importante considerar que el oso andino tiene una importante actividad nocturna que no implica desplazamiento necesariamente. Castellanos y colaboradores (2005) encontraron varios nidos terrestres juntos o entre la vegetación usada por el oso en su alimentación. Los nidos fueron contruidos con hojas o desechos de *Euterpe sp.*, *Prestoea acuminata*, *Heliconia sp.* y ramas de *Nectandra acutifolia*, por lo que no se descarta el uso de estos recursos alimenticios durante la noche (Castellanos *et al.*, 2005).

Los estudios realizados en el país y en la región por Goldstein (2004) y Castellanos y colaboradores (2005; 2010; 2016), muestran que la ganadería y la agricultura realizada por gente local en zonas de “montaña” y páramos, ha modificado los patrones de alimentación de los osos, registrando ataques a ganado y daños a cultivos por parte del mamífero. En el área de estudio se han registrado ataques a ganado en el pasado, pero estos han sido mínimos comparados a los registrados en el área de Chaupiloma-Oyacachi (septiembre 2003). Es importante señalar que los bosques secundarios con presencia de árboles de Pacches, se ubican en la actualidad en altitudes menores a 1.500 msnm, y tal como lo ha señalado Molina (2012 a; 2012b), estos constituyen una fuente estacional de alimentación para el oso andino.

Tabla 22. Costo de desplazamiento del oso andino en función de disponibilidad de hábitat

Categoría de Uso	Uso y Cobertura Vegetal al 2017	Ponderación	Desplazamiento	Esfuerzo de desplazamiento
Bosque Nativo	Bosque Húmedo	1	Muy Adecuado	Sin limitaciones
Plantación Forestal	Pino, aliso, eucalipto	1		
Páramo	Páramo herbáceo y arbustivo	1		
Vegetación arbustiva	Matorral Húmedo y seco	1		
Cuerpos de agua	Ríos	5	Adecuado	Pocas limitaciones
Vegetación herbácea	Herbácea húmeda y seca	5		
Cultivos permanentes	Cacao, café, chirimoya, pasto cultivado con árboles, etc, frutales	10	Medianamente adecuado	Algunas limitaciones
Pastizal	Pasto cultivado	15	No Adecuado	Con limitaciones
Infraestructura Antrópica	Complejo Industrial, área en proceso urbanización	20	Extremadamente No Adecuado	Severas limitaciones
Cultivos permanentes	Misceláneo indiferenciado: frutales, hortalizas	20		
	Pasto cultivado con presencia de maíz	20		
Cultivos semi-permanentes	Caña de azúcar, plátano, uvilla	20		
Cultivos anuales	Maíz, yuca, misceláneo hortalizas, misceláneo ciclo corto	20		
Erial/sin cobertura vegetal	Suelos erosionados	20		

Fuente: : MAGAP-IEE, 2013; modificado por Parra, 2018

3.3.2.5. Textura del suelo

La clasificación de la textura de suelo como variable de influencia en la movilización del oso andino, se ha considerado en función a los atributos morfo-edafológicos del suelo que el MAGAP-IEE (2013) identificaron en el Proyecto “Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, Ecuador, escala 1:25.000”. La ponderación se realizó tomando en consideración la relación existente entre el grosor del grano y características de las clases texturales. Ya que se ha considerado un amplio rango de elevaciones entre 1.093 y 2.700 msnm para la movilización de *Tremarctos ornatus*, el tipo de suelo no presenta las mismas condiciones en suelos húmedos de bosques premontanos y montanos. En el área de estudio, la presencia de nubes afecta la energía, luz y regímenes de temperatura y aportan potencialmente una gran cantidad de agua como lluvia y precipitación horizontal (MAE, 2013; Maldonado, 2016). Motivo por el cual, los efectos físicos producidos sobre el suelo pueden desencadenar en encharcamiento, escorrentía o erosión laminar; y con ello, imposibilitar la movilización del oso andino en filos de montañas y sus zonas de dispersión. Por este motivo, las clases texturales se han ponderado de la siguiente manera:

Tabla 23. Costo de desplazamiento en función de clases texturales del suelo

Textura	Ponderación	Desplazamiento	Esfuerzo de desplazamiento
Franco	1	Muy Adecuado	Sin limitaciones
Franco-arcilloso-arenoso	5	Adecuado	Pocas limitaciones
Franco-arcilloso-limoso			
Franco-arcilloso			
Franco-arenoso			
Franco-limoso	10	Medianamente adecuado	Algunas limitaciones
Arcillo-arenoso			
Arcillo-limoso	15	No Adecuado	Con limitaciones
Arcilloso			
Areno-francoso	20	Extremadamente No Adecuado	Severas limitaciones
Arenoso			

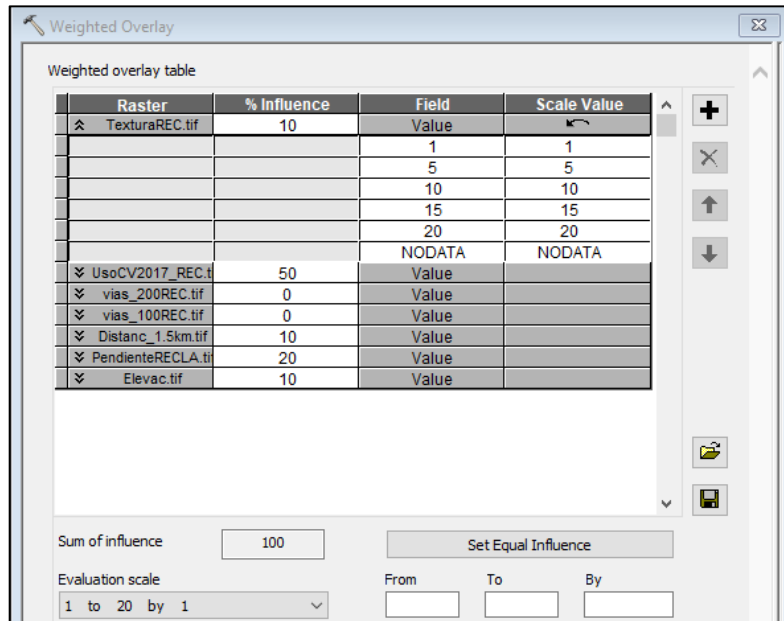
Fuente: MAGAP-IEE, 2013; modificado por Parra, 2018

3.3.2.6. Modelamiento de función de costos de desplazamiento

Las covariables analizadas fueron representadas espacialmente mediante coberturas ráster, obtenidas mediante la función “Polygon to Raster” de la herramienta *Conversion Tools* disponible en ArcGIS 10.3. Dentro de la categoría distancias recorridas, estas representan la distancia euclidiana desde los sitios de localización de cámaras trampa para oso andino hacia centros poblados y potreros. No obstante, en el caso de las vías, se realizó una ponderación previa según el tipo de vía (e.g. pavimentada, lastrada o sendero) y un área de influencia de 100 y 200 metros de acuerdo a la mayor presión que presentan algunos tramos. Motivo por el cual, las zonas de influencia alrededor de las distancias a vías representan verdaderas barreras de movilización. De manera general, todas las covariables fueron ponderadas individualmente y valoradas en porcentaje por categoría de acuerdo al método de Saaty que es una técnica de decisión multicriterio para el manejo de datos en una estructura jerárquica (1990). Este método de valoración permitió generar una medida o parámetro síntesis a través del agrupamiento de covariables, aspecto que constituye una ventaja ya que disminuye notablemente la cantidad de datos a analizar. Además, el parámetro que surge no es una simple agregación de variables, sino que pondera a cada una de ellas según la importancia relativa de las mismas en la función final de costos de desplazamiento de *Tremarctos ornatus* y utiliza una escala relativa entre 1 y 20. Para fines del presente estudio, las covariables cuya ponderación en la escala relativa sea igual o aproximada a 1 señalan condiciones adecuadas para la movilización del mamífero, y por lo tanto, un menor esfuerzo de desplazamiento. Por el contrario, valores cercanos a 20 indican condiciones no adecuadas para la movilización y un mayor esfuerzo de desplazamiento o restricción total. Esta restricción de desplazamiento se da solo en el caso de la zona de 100 y 200 metros de influencia alrededor de vías.

Las covariables y sus parámetros fueron integrados en un mapa de función de costos de desplazamiento mediante la aplicación de la función “Weighted Overlay” de la herramienta *Spatial Analyst Tools* disponible en ArcGIS 10.3. Esta función ha permitido asignar a cada covariable o celda del “ráster de entrada” un factor de ponderación definido empíricamente por la experiencia del investigador. A su vez, permitió asignar un peso de importancia para cada una de las 5 categorías. Como resultado se tiene que, las covariables de entrada se multiplican por el peso de su categoría respectiva y se suman para obtener un ráster de salida final que es el resultado del modelamiento de costos de desplazamiento (ESRI, 2016). A continuación se muestra el entorno jerárquico generado con la función “Weighted Overlay”:

Figura 16. Superposición ponderada de covariables y su jerarquía de ponderación



Fuente: ESRI, 2017

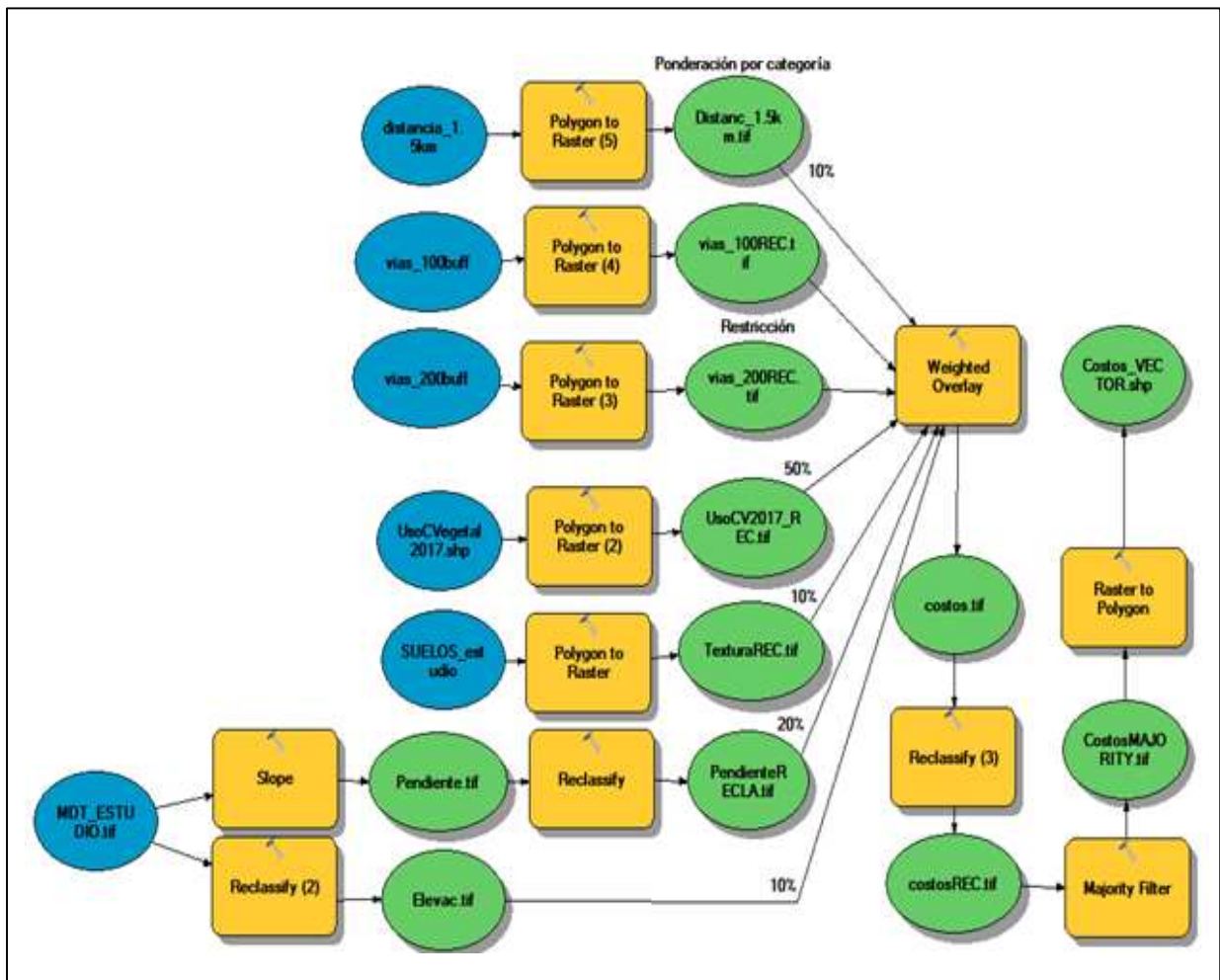
El modelamiento cartográfico fue llevado a cabo mediante una automatización de procesos utilizando la aplicación “Model Builder”, la misma que ha permitido establecer flujos de trabajo, encadenando secuencias de herramientas de geoprocésamiento. En la presente disertación, la automatización de procesos ha incluido la función “Weighted Overlay”. Posterior a ello, una reclasificación del modelo de *costos de desplazamiento* (ver Tabla 24), un filtro kernel de 4 píxeles o “Majority Filter”; y la conversión del ráster final a polígono (ver Figura No.17).

Tabla 24. Reclasificación del modelamiento de Superposición ponderada de costos de desplazamiento

Costos combinados de desplazamiento	Jerarquía de ponderación	Reclasificación	Desplazamiento	Esfuerzo de desplazamiento
	1-6	1	Muy Adecuado	Sin limitaciones
	6-12	2	Medianamente adecuado	Algunas limitaciones
	12-20	3	No Adecuado	Severas limitaciones

Elaborado por: Paola Parra

Figura 17. Modelo Cartográfico automatizado de costos de desplazamiento de Tremarctos ornatus



Elaborado por: Paola Parra

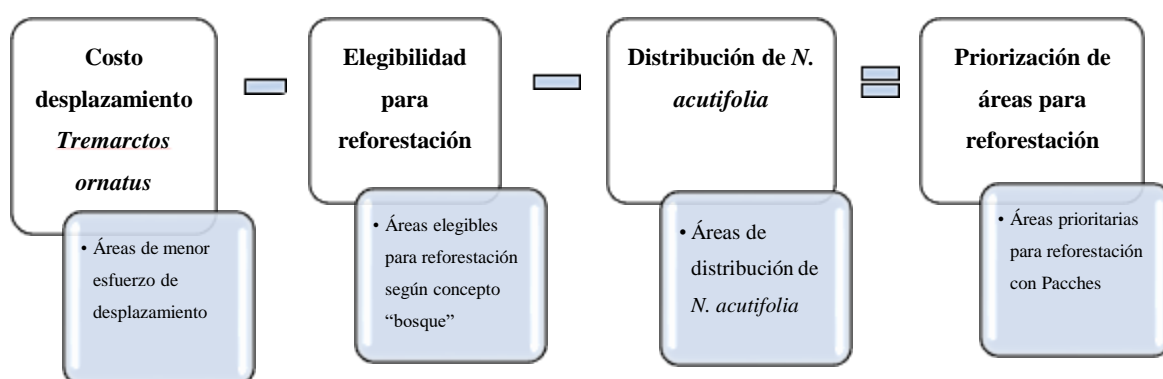
3.4. PROPUESTA DE PRIORIZACIÓN DE ÁREAS POTENCIALES PARA REFORESTACIÓN CON PACCHES

3.4.1. Selección de áreas de priorización

Una vez que se ha determinado la elegibilidad de tierras para reforestación según el concepto “no-bosque”, las áreas de distribución de *Nectandra acutifolia* y el mapa de menor costo de desplazamiento del oso andino, fue necesario priorizar áreas de reforestación a partir de los insumos construidos en el área de estudio.

Los resultados de los tres procesos anteriores se convirtieron en variables de priorización que se integraron en un cálculo final. Este análisis consistió en realizar sobreposiciones de las tres variables construidas y sustraer del mapa de costos de desplazamiento del oso andino aquellas áreas donde no existe distribución de *Nectandra acutifolia*; y a su vez, intersecar este resultado con áreas elegibles para reforestación. Este procedimiento fue llevado a cabo mediante el programa ArcGIS 10.3, con el módulo ArcToolbox/ Analysis Tools y dentro de este se escogió la herramienta de sobreposición que permite eliminar coberturas, denominada “Erase”; y la herramienta “Intersect” (ESRI, 2016). Al final del proceso se obtuvieron aquellas unidades prioritarias para reforestación con Pacches que satisfacen los criterios de: costos de desplazamiento del mamífero, áreas de distribución de Pacches y elegibilidad según uso del suelo y cobertura vegetal al 2017, tal como se ilustra a continuación:

Figura 18. Esquema de selección de áreas prioritarias para reforestación con Pacches



Elaboración: Paola Parra

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. ÁREAS ELEGIBLES PARA REFORESTACIÓN CON PACCHES

4.1.1. Áreas elegibles según el concepto de “no-bosque” al 2017

A partir de la clasificación supervisada de las imágenes satelitales se obtuvieron categorías de cobertura vegetal y uso del suelo, actualizadas al 2017, en donde se pudo identificar 12 categorías/unidades. Las superficies estimadas para cada una de ellas se establecen en la siguiente tabla (ver Anexo 4. Mapa de Uso del Suelo y Cobertura Vegetal al 2017):

Tabla 25. *Uso y cobertura vegetal para el año 2017*

Categoría	Cobertura Vegetal y Uso 2017	Superficie hectáreas	% Ocupación
Plantación Forestal	Pino, aliso, eucalipto	35,17	0,05%
Bosque Nativo	Bosque Húmedo, plantaciones eucalipto	41984,25	65,04%
Erial/sin cobertura vegetal	Suelos erosionados	83,83	0,13%
Páramo	Páramo herbáceo y arbustivo	93,48	0,14%
Cuerpos de agua	Ríos dobles	161,28	0,25%
Infraestructura Antrópica	Complejo Industrial, área en proceso urbanización	397,83	0,62%
Cultivos anuales	Maíz, yuca, misceláneo hortalizas, misceláneo ciclo corto	524,25	0,81%
Cultivos semi-permanentes	Caña de azúcar, plátano, uvilla	914,93	1,42%
Cultivos permanentes	Cacao, café, chirimoya, pasto cultivado con maíz/árboles, frutales	2.108,05	3,27%
Vegetación herbácea	Herbácea húmeda y seca, pastos naturales	2.129,77	3,30%
Pastizal	Pasto cultivado	5.735,82	8,89%
Vegetación arbustiva	Matorral Húmedo y seco	10385,77	16,09%
TOTAL		64.554,42	100%

Fuente: MAGAP-IEE, 2013; modificado por Parra, 2018

Según lo que muestra el Mapa de uso del suelo y cobertura vegetal del 2017 (ver Anexo 4), el 65,04% del área de estudio se encuentra cubierto por bosque húmedo y un 0,05% de plantaciones forestales que cumplen con la definición de bosque; mientras que el 34,9% del Corredor del Oso Andino se halla cubierto por usos del suelo sin existencia de cobertura boscosa significativa (ver Tabla 26).

Tabla 26. *Áreas clasificadas según concepto de bosque para el año 2017*

Categoría	Cobertura Vegetal y Uso 2017	Bosque	Superficie hectáreas	% Ocupación
Plantación Forestal	Pino, aliso, eucalipto	SI	42.019,42	65,09%
Bosque Nativo	Bosque Húmedo, plantaciones eucalipto			
Erial/sin cobertura vegetal	Suelos erosionados	NO	22.535	34,91%
Páramo	Páramo herbáceo y arbustivo			
Infraestructura Antrópica	Complejo Industrial, área en proceso urbanización			
Cultivos anuales	Maíz, yuca, misceláneo hortalizas, misceláneo ciclo corto			
Cultivos semi-permanentes	Caña de azúcar, plátano, uvilla			
Cultivos permanentes	Cacao, café, chirimoya, pasto cultivado con maíz/árboles, frutales			
Vegetación herbácea	Herbácea húmeda y seca, pastos naturales			
Pastizal	Pasto cultivado			
Vegetación arbustiva	Matorral Húmedo y seco			
TOTAL			64.554,42	100%

Elaborado por: Paola Parra

Según lo indicado en el Mapa de Unidades de “Bosque” y “No Bosque” (ver Anexo 5), existen 42.019, 42 hectáreas de unidades de bosque (e.g. bosque nativo y plantaciones forestales) en el Corredor del Oso Andino al 2017 y equivalen al 65% de toda el área de estudio. Del 100% de bosque existente en el área de estudio, el 67,25% recae sobre 10 bosques protectores, 1 área perteneciente al SNAP, 1 área reconocida dentro del Subsistema Metropolitano de Áreas Protegidas del DMQ y 1 área reconocida dentro del Programa Socio Bosque. Según lo estipulado en el Plan de Uso y Ocupación del Suelo vigente en el Distrito Metropolitano de Quito, las 14 unidades antes señaladas corresponden a categorías de Uso de Suelo de Conservación y Protección (ver sección 4.5.1). Por tal motivo estas unidades manejan un estatus de conservación y abarcan el 67,25 % de cobertura boscosa; mientras que el 32,75 % de bosque no está protegido, de acuerdo al reconocimiento realizado en la presente disertación (ver Tabla 27). Así pues, las unidades de “Bosque”, se hallan bajo algún estatus de conservación y se distribuyen sobre los siguientes bosques protectores y áreas protegidas: el 29,79% del Bosque protector (B.P.) Cuenca del Río Guayllabamba (áreas 1 y 2); el

9,88 % del B.P. Paso Alto, 9,10 % del B.P. Cambugán; el 8,12% de la Reserva Geobotánica Pululahua, el 5,88% del B.P. Maquipucuna; entre los porcentajes más representativos. Además, la presente disertación ha considerado como unidades de “bosque” a las plantaciones forestales y corresponden al 0,08% del total de bosque disponible en el área de estudio. A pesar de que este es un porcentaje no significativo, cabe mencionar que existen 10,18 ha. de plantaciones forestales en el ACUS Yunguilla y 11,16 ha. en el B.P. Cuenca del Río Guayllabamba (Área 1). De manera general, la siguiente tabla describe la disponibilidad de unidades de “bosque” en el área de estudio, las mismas que en su mayoría corresponden a la categoría de bosque nativo (99,92%):

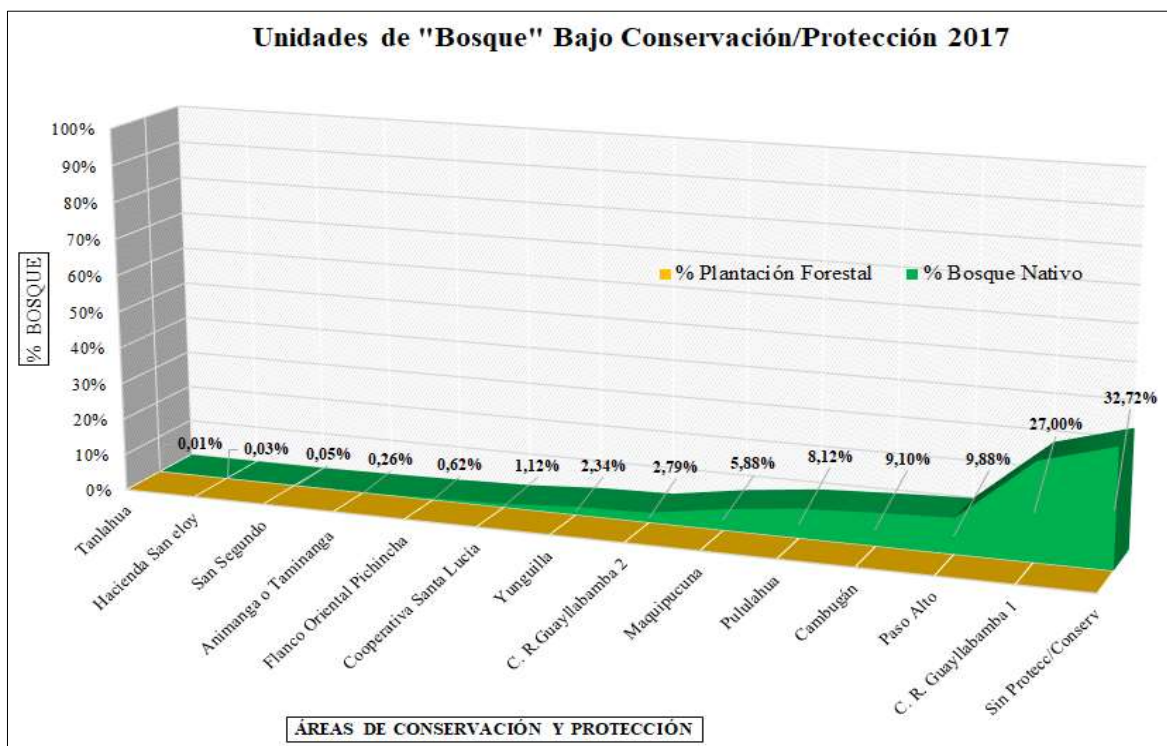
Tabla 27. Unidades de bosque bajo conservación y/o protección en el Corredor Oso Andino

Tipo de Protección declarada	Área de Conservación y Protección	Unidad de Bosque (hectáreas)		Unidad de Bosque %		Bosque conservado	Bosque bajo protección y/o conservación		
		Plantación Forestal	Bosque Nativo	% Plantación Forestal	% Bosque Nativo				
Bosque Protector	Tanlahua	0,00	3,70	0%	0,01%	NO	67,25%		
	Hacienda San Eloy	0,00	12,53	0%	0,03%				
	San Segundo	0,00	22,65	0%	0,05%				
	Animanga o Taminanga	0,00	108,69	0%	0,26%				
	Flanco Oriental Pichincha	0,00	258,42	0%	0,62%				
Programa Socio Bosque	Cooperativa Santa Lucía	0,00	472,61	0%	1,12%				
ACUS Área de Conservación y Uso Sustentable	Yunguilla	10,18	981,67	0,02%	2,34%				
Bosque Protector	C. R. Guayllabamba 2	0,00	1.173,61	0%	2,79%				
	Maquipucuna	0,00	2.472,75	0%	5,88%				
Reserva Geobotánica	Pululahua	0,00	3.411,53	0%	8,12%				
Bosque Protector	Cambugán	0,00	3.823,86	0%	9,10%				
	Paso Alto	0,00	4.149,51	0%	9,88%				
	C. R. Guayllabamba 1	11,16	11.344,57	0,03%	27,00%				
	Sin Protecc/Conserv	13,82	13748,15	0,03%	32,72%			SI	32,75%
	TOTAL PARCIAL	35,17	41984,25	0,08%	99,92%				
	TOTAL BOSQUE	42019,42		100%					

Elaborado por: Paola Parra

De la tabla anterior se puede concluir que existe un bajo porcentaje de plantaciones forestales dentro de las áreas de conservación y protección; sin embargo el porcentaje de bosque nativo tampoco cubre la totalidad de estas 14 unidades de conservación. Por ejemplo, el B.P. Tanlahua es el área de conservación que menos porcentaje de cobertura boscosa presenta y abarca el 2,34% de todo el bosque disponible en el corredor. El gráfico a continuación permite visualizar la disponibilidad de superficie boscosa señalada para cada área de conservación y protección, en donde, el 32,72% del bosque nativo no posee algún estatus de conservación. Por el contrario, el mayor porcentaje de bosque nativo (27%) se halla dentro del B.P. Cuenca del Río Guayllabamba-Área 1.

Figura 19. Porcentaje de unidades de bosque bajo conservación y/o protección en el Corredor Oso Andino



Elaborado por: Paola Parra

La mayor disponibilidad de bosque nativo se localiza en las áreas de conservación hacia la derecha de la figura 19 y que corresponden a los B.P Cuenca del Río Guayllabamba-Área 1 y 2, Paso Alto, Cambugán, Maquipucuna; así como la R.G. Pululahua. No obstante, en estas zonas todavía existe superficie sin bosque, en donde se pudo priorizar áreas potenciales para reforestación con *Nectandra acutifolia* y así enlazar los remanentes de bosque que se hallan bajo protección y/o conservación.

Por último, la determinación de áreas de bosque y no-bosque se realizó en función a lo mencionado en la sección 3.1.1, y se adicionó las áreas con infraestructura antrópica, cuerpos de agua, páramo y plantaciones forestales. Sin embargo, el objetivo de reforestación para conservación contemplado en el presente estudio no incluyó a estas dos últimas categorías en las tierras elegibles. La categoría de páramo no se incluyó en la elegibilidad por ser un ecosistema frágil, y en donde, *Nectandra acutifolia* difícilmente podrá tener éxito de colonización ya que en tales rangos altitudinales no se han tenido registros de presencia de árboles de Pacche (Rohwer, 1993). Además, la presente propuesta de reforestación no puede localizarse sobre plantaciones forestales e infraestructura antrópica, debido al estado de alteración que presentan estas categorías y la necesidad de proveer de alimento al oso andino en zonas donde su libre desplazamiento no se vea afectado.

De tal manera, según el Mapa de Áreas Elegibles para reforestación con *Nectandra acutifolia* (ver Anexo 6), el 33,9 % de la superficie del Corredor del Oso Andino es elegible para reforestación; mientras que el porcentaje restante ya se encuentra cubierto por unidades de bosque o no presenta condiciones favorables tanto para el desplazamiento del oso andino como para la colonización de árboles de Pacches.

Tabla 28. Áreas elegibles para reforestación según el criterio de bosque

Categoría	Cobertura Vegetal y Uso 2017	Bosque	Elegibilidad	Superficie hectáreas	% Ocupación
Plantación Forestal	Pino, aliso, eucalipto	SI	No Elegibles	42.672	66,10%
Bosque Nativo	Bosque Húmedo, plantaciones eucalipto				
Páramo	Páramo herbáceo y arbustivo				
Infraestructura Antrópica	Complejo Industrial, área en proceso urbanización	NO			
Cuerpos de agua	Ríos dobles				
Erial/sin cobertura vegetal	Suelos erosionados	NO	Elegibles	21.882,41	33,90%
Cultivos anuales	Maíz, yuca, misceláneo hortalizas, misceláneo ciclo corto				
Cultivos semi-permanentes	Caña de azúcar, plátano, uvilla				
Cultivos permanentes	Cacao, café, chirimoya, pasto cultivado con maíz/árboles, frutales				
Vegetación herbácea	Herbácea húmeda y seca, pastos naturales				
Pastizal	Pasto cultivado				
Vegetación arbustiva	Matorral Húmedo y seco				
TOTAL				64.554,42	100%

Elaborado por: Paola Parra

4.1.2. Comparación de uso del suelo y cobertura vegetal entre 2001 y 2017

Las áreas elegibles para reforestación indican cambios de uso del suelo al 2017, en donde es posible incluir plantaciones nativas de *Nectandra acutifolia* como una alternativa hacia sistemas agroforestales (ver sección 3.1.4). En el presente estudio, los cambios de uso de suelo en tierras elegibles se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 29. Cambios de uso del suelo en tierras elegibles para reforestación

USO 2001	Superficie hectáreas	USO 2017	Superficie hectáreas	% Cambio
Vegetación arbustiva con Bosque Nativo	2.825,99	Cultivos anuales	372,60	13,18%
		Cultivos permanentes	5,47	0,19%
		Erial/ sin cobertura vegetal	57,33	2,03%
		Pastizal	40,87	1,45%
		Vegetación arbustiva	1878,19	66,46%
		Vegetación herbácea	471,52	16,69%
16,85%				
Vegetación arbustiva y en regeneración natural	3.582,43	Cultivos anuales	26,67	0,74%
		Cultivos permanentes	381,95	10,66%
		Cultivos semi-permanentes	365,86	10,21%
		Erial/ sin cobertura vegetal	4,94	0,14%
		Pastizal	1116,77	31,17%
		Vegetación arbustiva	1520,61	42,45%
Vegetación herbácea	165,63	4,62%		
52,93%				
Cultivos	7.274,96	Cultivos anuales	113,29	1,56%
		Cultivos permanentes	178,60	2,46%
		Cultivos semi-permanentes	121,64	1,67%
		Erial/ sin cobertura vegetal	12,54	0,17%
		Pastizal	1904,45	26,18%
		Vegetación arbustiva	3791,52	52,12%
Vegetación herbácea	1152,92	15,85%		
67,97%				
Bosque Nativo o Plantación Forestal	8.194,55	Cultivos anuales	11,68	0,14%
		Cultivos permanentes	1542,02	18,82%
		Cultivos semi-permanentes	427,43	5,22%
		Erial/ sin cobertura vegetal	9,02	0,11%
		Pastizal	2673,16	32,62%
		Vegetación arbustiva	3191,96	38,95%
Vegetación herbácea	339,27	4,14%		
56,91%				
43,09%				

Elaborado por: Paola Parra

La comparación de cambio de uso del suelo entre los años 2001 y 2017, muestra un primer grupo de cambios detectados con una cifra alarmante del 56,9% de conversión de unidades de “bosque” (e.g., Bosque Nativo o Plantación Forestal) a cultivos, suelos sin cobertura vegetal y pastizales. Gran parte

de este porcentaje muestra una tendencia de conversión a cultivos anuales, principalmente maíz y hortalizas en el nor-occidente de las parroquias de San José de Minas, Nanegal y Nanegalito. Este porcentaje señala una fuerte tendencia económica al desarrollo de actividades agropecuarias en tales parroquias, en donde posiblemente la movilización del oso andino presenta conflictos por las interacciones con ganado y cultivos. A esto se suma el fraccionamiento de remanentes de bosque que presentan discontinuidad en el paisaje y con ello se dificulta no solo desplazamiento del oso andino sino también se incrementa la presión sobre el uso del suelo generando conflictos de sobreutilización en función de la capacidad de uso de la tierra (ver sección de discusión). Por otro lado, este primer grupo de cambios de uso del suelo presenta un 43,09% de vegetación arbustiva y herbácea disponible en la actualidad como resultado de la conservación de bosques.

Un segundo grupo de cambios de uso del suelo elegibles para reforestación con Pacches, corresponden a unidades que han mantenido su uso con superficies del 5,68 % para cultivos; mientras que existe una tendencia al aumento de conversión de cultivos a pastizales con un 26,18% de superficie. A pesar de que la transición desde cultivos a suelos sin cobertura vegetal es el 0,17%, este porcentaje representa 12 hectáreas de terreno que han sido abandonadas por agricultores en los límites entre Calacalí y San José de Minas. Por último, el cambio de superficie cultivada a vegetación herbácea y arbustiva presenta un cifra positiva del 67,97% mayormente en Calacalí y el norte de San Antonio de Pichincha. Evidentemente, en las zonas donde este último porcentaje de vegetación se localiza, existen condiciones que favorecerían aún más la protección de plántulas de *Nectandra acutifolia*.

El tercer grupo representativo de conversión de uso del suelo señala un 52,93 % de cambio de vegetación arbustiva y en proceso de regeneración en el 2001 a superficies cultivadas y suelo sin cobertura vegetal al 2017. Este porcentaje casi se equipara con un 47,07% de unidades de uso que han mantenido la composición herbácea y arbustiva entre los períodos analizados. Esta tendencia de cambio de uso del suelo presenta también condiciones favorables, ya que se ha hallado evidencia de presencia de *Nectandra acutifolia* en pastizales y bosque secundario.

Finalmente, existe una cuarta tendencia positiva de cambio de uso de suelo en el área de estudio. Esta corresponde a unidades arbustivas y boscosas que han mantenido su uso con un 83,15% de su superficie total y se localizan, principalmente, en a la zona de influencia del Bosque Protector Tanlahua y ampliación. Sin embargo, en esta misma zona existe un 16,85% de terreno destino a cultivos y pastizales.

Es necesario aclarar que la elegibilidad de zonas para reforestación y el análisis de cambio de uso de suelo señalan las condiciones preliminares para establecer plantaciones nativas de Pacches; sin embargo, su viabilidad técnica depende del cumplimiento de condiciones ecológicas intrínsecas a las demandas de la especie; tal como se aborda en la sección siguiente.

4.2. MODELO PREDICTIVO DE DISTRIBUCIÓN DE *NECTANDRA ACUTIFOLIA*

4.2.1. Experimentación de parámetros de regularización y umbrales de corte

Elith y colaboradores (2010) consideraron un factor de regularización (conocido como “regularization multiplier”) de 2,5 para producir modelos más generalizados para especies invasoras; es decir, modelos enfocados en tendencias climáticas generales. No así, el modelamiento de *Nectandra acutifolia* requiere ajustes más complejos que modelen mayores detalles en las restricciones ambientales que condicionan su presencia. Por este motivo, se escogió un “regularization multiplier” $\leq 2,5$ para producir un modelo con mayor complejidad (Elith *et al.*, 2010; Elith *et al.*, 2011). De manera complementaria, el uso de “features” tipo “hinge” y “producto” reducen la complejidad de modelos ; mientras que features tipo “lineal” y “umbral” tienen una mayor capacidad de generar funciones matemáticas complejas y considerar un mayor número de restricciones ambientales en la construcción del modelamiento (Elith *et al.*, 2010).

En la práctica, el presente estudio evaluó la variación de “valores de regularización” en función de las configuraciones que MaxEnt le permite realizar al usuario. Este ejercicio experimental fue el proceso preliminar para decidir con que “multiplicador de regularización” y con cuál umbral de corte poder calibrar los 15 modelos propuestos para las 3 diferentes áreas de distribución.

En primera instancia, se construyeron siete modelos realizando experimentos mediante el uso de diferentes umbrales de corte y diferentes “multiplicadores de regularización”. En segunda instancia, no se ha realizado una evaluación del comportamiento de los “features” ya que permanecieron constantes y más bien se acude a la literatura para escoger los “features”: lineal, cuadrático y umbral (Figueroa *et al.*, 2015).

El coeficiente de regularización beta (β) otorgado a cada “feature” se mantuvo relativamente constante durante la construcción de los siete modelos porque es un valor independiente del umbral de corte seleccionado y señala el peso de contribución de cada “feature”. Sin embargo, en este estudio se utilizaron cuatro “multiplicadores de regularización”: 1; 1,25; 2,5 y 5 para comprimir los coeficientes β ; es decir, establecer un balance en el sobreajuste de las variables ambientales y que la idoneidad no se aproxime solo a los registros de presencia (Elith *et al.*, 2011). Como resultado, cuando el valor del “multiplicador de regularización” aumenta (de 1 a 5), se genera un modelo más general que excluye un mayor número de variables ambientales porque establece un balance en la “complejidad de los coeficientes β ”, provocando que las “features” rescaten menores detalles de dependencia ambiental y una distribución de *Nectandra acutifolia* más general.

En efecto, el “multiplicador de regularización” igual a 2,5, que Elith y colaboradores (2010) utilizaron para especies invasoras, ha establecido un límite máximo de generalización de

modelamiento para *Nectandra acutifolia*. Es decir, un número mayor a 2,5 produce un modelo tan general que se iguala a un modelo tan complejo que haya utilizado un valor de 1. De tal manera, los dos modelos (Jackknife_6 y Jackknife_7) generados con un “multiplicador de regularización” igual a 5 (que excedió el límite de 2,5) excluyeron por igual a 8 variables ambientales durante la prueba jackknife; estableciendo así, modelos tan generales que tuvieron similitud al primer modelo complejo (Jackknife_1) calibrado con un “multiplicador de regularización” igual a 1. Existió mayor similitud entre el primero y séptimo modelos a pesar de que cada uno incluyó un umbral de corte diferente respectivamente: “Minimum Training Presence-MTP” (umbral bajo) y “Maximum training sensitivity plus specificity-MTSS” (umbral alto). Situación antagónica sucedió con el sexto modelo (Jackknife_6) que fue diferente a los dos anteriores, ya que el umbral “bajo” con el que fue calibrado (MTP), sumado a la generalización que otorga el “multiplicador de regularización” igual a 5, dio como resultado un modelo aún más general que el primero y el séptimo. La diferencia entre los tres modelos se muestra gráficamente en la figura 20; en donde, el umbral de corte MTSS (alto) señala una “fracción del área predicha” (FPA) menor, y, umbrales de corte “bajos” (MTP) poseen mayores valores de FPA. El sexto modelo fue diferente del primero, a pesar de que ambos poseían un umbral (MTP) bajo, por la influencia del multiplicador de regularización (1 para el primero y 5 para el sexto). Como resultado se tiene que, aplicar un umbral bajo y un “multiplicador de regularización” igual 5 (alto) establecen valores de FPA demasiado altos que generalizan el modelamiento. Por lo tanto, la combinación entre un umbral alto (MTSS) y un regularizador igual a 5 establecen el balance requerido para que el modelamiento de *Nectandra acutifolia* no se sobreajuste o se aproxime únicamente a las condiciones de nicho ecológico parecidas a los registros de ocurrencia de la especie. Sin embargo, aún preocupa que un regularizador igual a 5 excluye a un mayor número de variables que reflejan un nulo aporte en la construcción del modelamiento final.

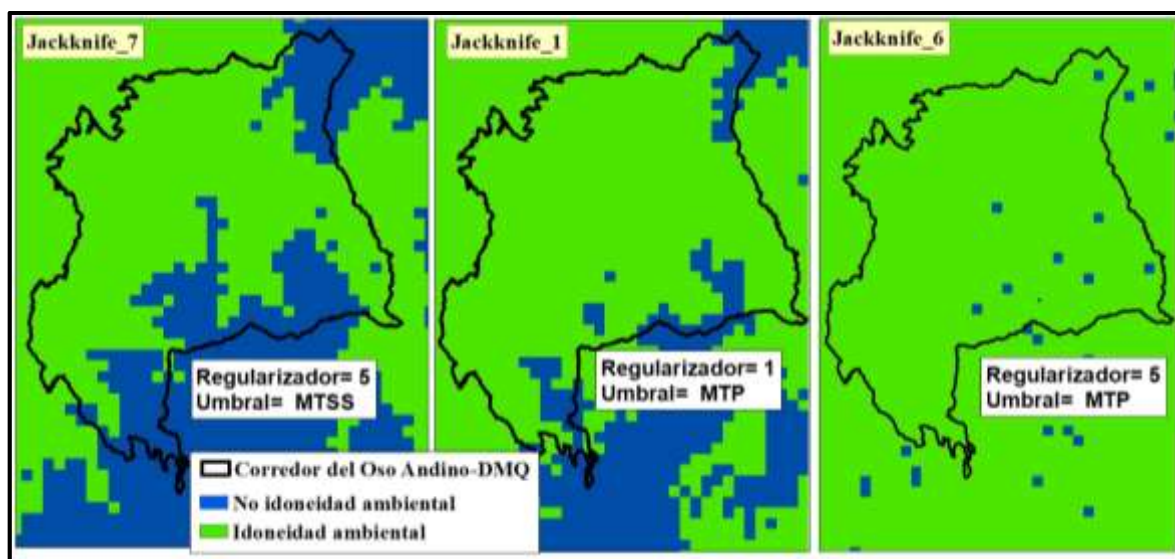
La tabla a continuación señala los valores de regularización aplicados a los 3 modelamientos:

Tabla 30. Valores de regularización y umbrales aplicados a los modelos 7, 1 y 6

Número de modelo	Multiplicador de regularización	Umbral de corte		Fracción del área predicha FPA (%)	Tasa de omisión de puntos de entrenamiento TOE (%)
Jackknife_7	5	MTSS=0,421	Alto	16,2	15,8
Jackknife_1	1	MTP= 0,025	Bajo	72,1	0
Jackknife_6	5	MTP=0,027	Bajo	90,6	0

Elaborado por: Paola Parra

Figura 20. Diferencias espaciales: modelos 7, 1, y 6 en función de la fracción del área predicha (FPA)



Elaborado por: Paola Parra

El balance que genera la combinación MTSS y el multiplicador de regularización=5 (Jackknife_7) aún genera preocupación en el modelamiento porque un gran número de variables fueron excluidas del modelamiento; sin embargo, la prueba jackknife señaló que el modelo calibrado con un multiplicador de regularización=1 excluyó menos variables. Por ello, se han comparado dos nuevos modelos (Jackknife_4 y Jackknife_5) que fueron construidos con un umbral MTSS; pero con dos valores diferentes de multiplicador de regularización (2,5, y 1,25). El cuarto modelo, cuyo regularizador es 2,5, tan solo excluyó dos variables menos que el sexto y séptimo modelos (regularizador=5). Por el contrario, el quinto modelo (regularizador =1,25) excluyó a una sola variable. En este punto, ambos modelos usan el mismo umbral MTSS y gráficamente son similares (ver Figura 21). Por ello, es preciso poner atención a sus diferentes valores de “tasa de omisión de puntos de entrenamiento-TOE”, pues constituye una prueba estadística que evalúa el desempeño de cada modelo. Así pues, el cuarto modelo (regularizador=2,5) señala un mayor valor TOE (13,8%) y FPA (19,2%) a pesar de excluir 6 variables ambientales; mientras que, el quinto modelo (regularizador=1,25) tiene un menor valor TOE (7,9%) y FPA (14,8%) a pesar de excluir una sola variable. Este análisis indica que el quinto modelo estableció un mejor balance entre los “features” y por ello incluyó mayores variables para predecir idoneidad ambiental a pesar de tener un TOE y FPA más bajos. Si bien el cuarto modelo tiene un FPA más alto, su reconstrucción se realizó con menos variables y puede desencadenar en generalización del modelo. Frente a ello, se decide que el

regularizador=1,25 y el umbral MTSS generan una combinación con mejor balance que incluye más variables ambientales (Jackknife_5).

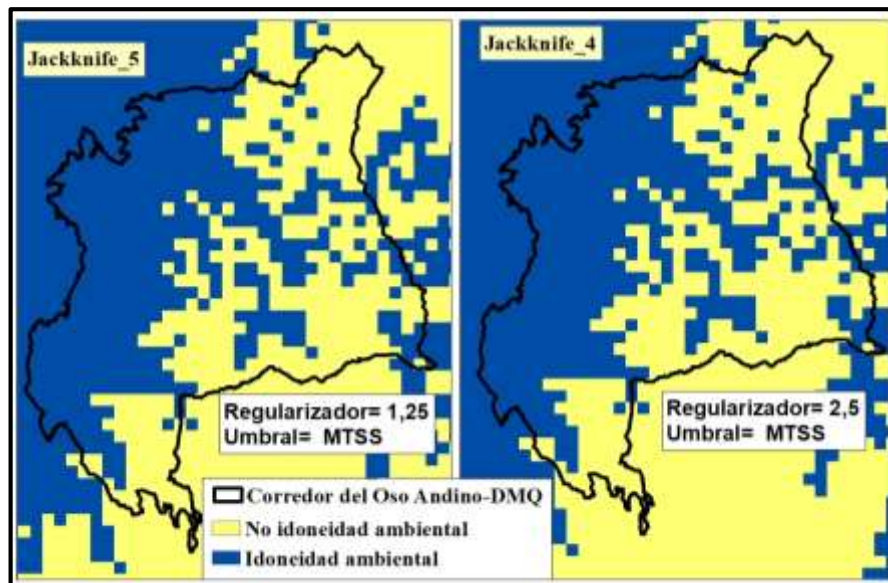
La tabla a continuación señala los valores de regularización y FPA para los 2 modelamientos:

Tabla 31. Valores de regularización y umbrales aplicados a los modelos 5 y 4

Número de modelo	Multiplicador de regularización	Umbral de corte		Fracción del área predicha FPA (%)	Tasa de omisión de puntos de entrenamiento TOE (%)
Jackknife_5	1,25	MTSS=0,267	Alto	14,8	7,9
Jackknife_4	2,5	MTSS=0,432	Alto	19,2	13,8

Elaborado por: Paola Parra

Figura 21. Diferencias espaciales: modelos 5 y 4 en función de la fracción del área predicha (FPA)



Elaborado por: Paola Parra

Finalmente, surge la necesidad de determinar cuáles “features” incluir en el modelamiento de *Nectandra acutifolia*. Para ello se compararon 2 modelos nuevos construidos y el modelo Jackknife_5 que fue seleccionado por su mejor combinación. El nuevo modelo Jackknife_3 tiene las mismas configuraciones que Jackknife_5 (umbral=MTSS; regularizador=1,25; FPA=14,8%), pero

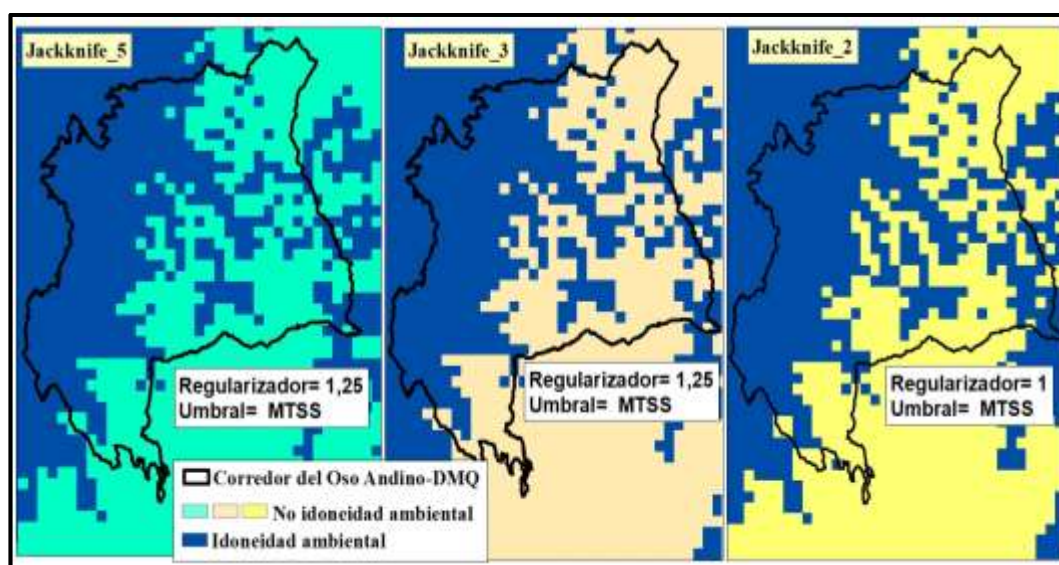
ha sido calibrado solo con los “features”: lineal, cuadrático y umbral; contrariamente a Jackknife_5 que seleccionó la opción “autofeatures”. A partir de este análisis se ha comprobado que por default MaxEnt escoge los mejores features a través de la opción “autofeatures”; caso contrario, existiría diferencia gráfica y de valores de configuración entre los modelos 3 y 5. Sin embargo, varios autores señalan que lineal, cuadrático y umbral son “features” que agregan mayor complejidad a las funciones matemáticas de dependencia ambiental y por ello se ha construido el modelo Jackknife_2 con los umbrales antes señalados pero con un regularizador igual a 1. El objetivo de este nuevo modelo es agregar argumentos a la decisión de la mejor combinación (MTSS y regularizador 1,25), frente a un modelo construido con configuraciones por default (“autofeatures”; regularizador=1). En este punto se ha considerado la tasa de omisión de puntos de entrenamiento como un indicador que agregue valor en la decisión que utilizar los features “lineal, cuadrático y umbral”. Como resultado, el modelo Jackknife_3 excluye solo una variable y omite menos puntos de entrenamiento (7,9%) que el segundo modelo (11,3%) construido con un regularizador igual a 1. Por lo tanto, el modelo 3 (regularizador=1,25) que no utiliza “autofeatures” señala la mejor combinación pues se reconstruye a partir de más puntos de entrenamiento a pesar de que el umbral MTSS es estricto por naturaleza. MTSS es un umbral que usualmente omite una mayor cantidad de puntos de entrenamiento y es utilizado cuando el investigador tiene incertidumbre de la fuente de donde provienen los registros de presencia de una especie (Elith *et al.*, 2010). Por otro lado, los features “lineal y cuadrático” indican las condiciones promedio de presencia, tolerancia de la especie a la variación y correlación de las variables (Figueroa *et al.*, 2016). Mientras que el feature tipo “umbral” señala que en los píxeles con un valor de la variable mayor que ese umbral, el valor de probabilidad final para ese píxel sea igual a la proporción de píxeles de la muestra cuyo valor es, para esa variable, mayor que el umbral definido (Delgado-Cueva, 2008).

Tabla 32. Valores de regularización y umbrales aplicados a los modelos 5, 3 y 2

Número de modelo	“Features”	Multiplicador de regularización	Umbral de corte	Fracción del área predicha FPA (%)	Tasa de omisión de puntos de entrenamiento TOE (%)
Jackknife_5	Autofeatures (default)	1,25	MTSS=0,267	14,8	7,9
Jackknife_3	lineal, cuadrático y umbral	1,25	MTSS=0,267	14,8	7,9
Jackknife_2	lineal, cuadrático y umbral	1 (default)	MTSS=0,384	15,0	11,3

Elaborado por: Paola Parra

Figura 22. Diferencias espaciales: modelos 5, 3 y 2 en función de la fracción del área predicha (FPA)



Elaborado por: Paola Parra

Como resultado de la presente evaluación experimental, el modelamiento de *Nectandra acutifolia*, tiene las siguientes configuraciones de regularización comunes para las tres áreas diferentes de movilidad:

Tabla 33. Parámetros de regularización introducidos en el software MaxEnt 4.0

Tipo de “features”	Linear, Cuadrático y Umbral
Umbral de corte	Maximum Training Sensitivity plus Specificity (MTSS)
Multiplicador de regularización (β)	1,25

Elaborado por: Paola Parra

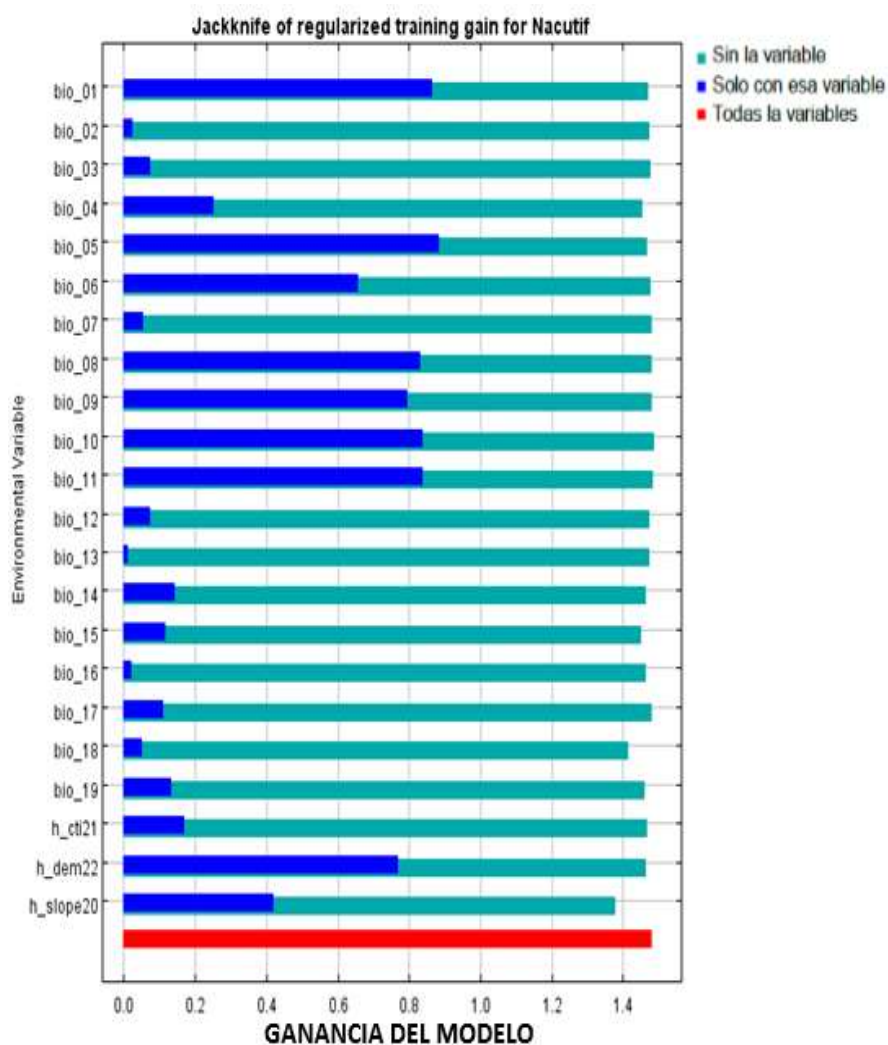
4.2.2. Importancia y contribución de variables predictoras: Prueba Jackknife

La prueba estadística Jackknife se ha realizado utilizando todas las variables en las tres diferentes áreas de movilidad de la especie. Como se ha explicado en la sección metodológica, en la primera área de movilidad de *Nectandra acutifolia*, conocida como área “extendida”, se han empleado 22 variables climáticas y topográficas por la disponibilidad de información ambiental digital que cubre Sudamérica. En el área de movilidad “restringida” se han utilizado 22 variables ambientales que cubren la Cordillera Occidental de los Andes. Finalmente, en el área de movilidad “experimental” se

utilizaron 37 variables climáticas y edafológicas por la disponibilidad de información en el Corredor del Chocó Andino. La contribución y ganancia que alcanza el modelamiento con el uso de cada variable se reporta de manera gráfica y en porcentaje de contribución a continuación:

Tabla 34. Contribución de las 22 variables en la ganancia del modelamiento y Prueba Jackknife (área de movilidad extendida)

Variable	Contribución %
h_slope20 Pendiente	24
bio_05	21,9
bio_11	13,3
h_dem22 Elevación	8,3
bio_14	7,7
bio_18	6,2
bio_04	4,6
bio_15	2,8
bio_08	2,7
bio_19	2
bio_03	1,7
bio_01	1,1
bio_07	0,7
h_cti21 Índice Topográfico Compuesto	0,7
bio_13	0,6
bio_02	0,6
bio_12	0,5
bio_16	0,4
bio_06	0,2
bio_17	0
bio_09	0
bio_10	0

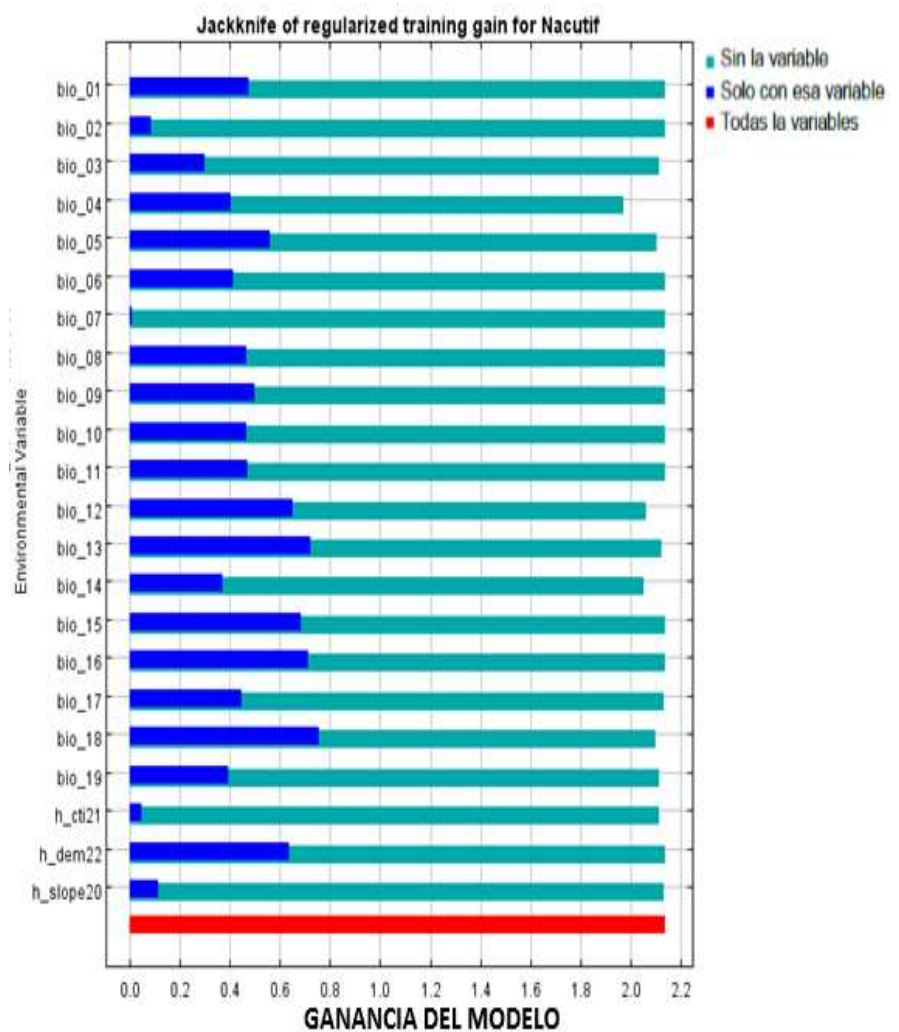


Los valores obtenidos en la contribución de las variables ambientales se muestran en la tabla anterior; así como, el análisis del valor de la ganancia de la prueba Jackknife. El modelamiento en el área de distribución extendida alcanzó una alta ganancia al utilizar la variable bio_05 (Temperatura máxima del mes más cálido). Por el contrario, el modelo disminuyó en mayor proporción su ganancia al omitir la variable h_slope20 (pendiente). Este análisis indica que ambas variables poseen la información más relevante cuando se construyó el modelo utilizándolas una a una por separado; y

así, han aportado información tan importante que no está presente en otras variables. Este análisis Jackknife coincide con el porcentaje que cada una contribuye en el modelamiento (21, 9 % y 24 % respectivamente). Por otro lado, las variables de menor contribución y ganancia fueron: bio_2 con un 0,6% (rango de temperatura media mensual), bio_13 con un 0,6% (precipitación del mes más húmedo) y bio_16 con un 0,4% (precipitación del trimestre más húmedo).

Tabla 35. Contribución de las 22 variables en la ganancia del modelamiento y Prueba Jackknife (área de movilidad restringida)

Variable	Contribución %
bio_04	19,5
bio_12	15,2
bio_15	10,7
bio_14	10,6
bio_18	10
bio_17	7,8
bio_05	5
bio_13	4,8
bio_16	3,2
bio_02	3
h_dem22 Elevación	2,8
h_slope20 Pendiente	2,5
bio_11	2,4
bio_19	1,4
h_cti21 Índice Topográfico Compuesto	1,1
bio_03	0,2
bio_06	0
bio_10	0
bio_09	0
bio_08	0
bio_07	0
bio_01	0



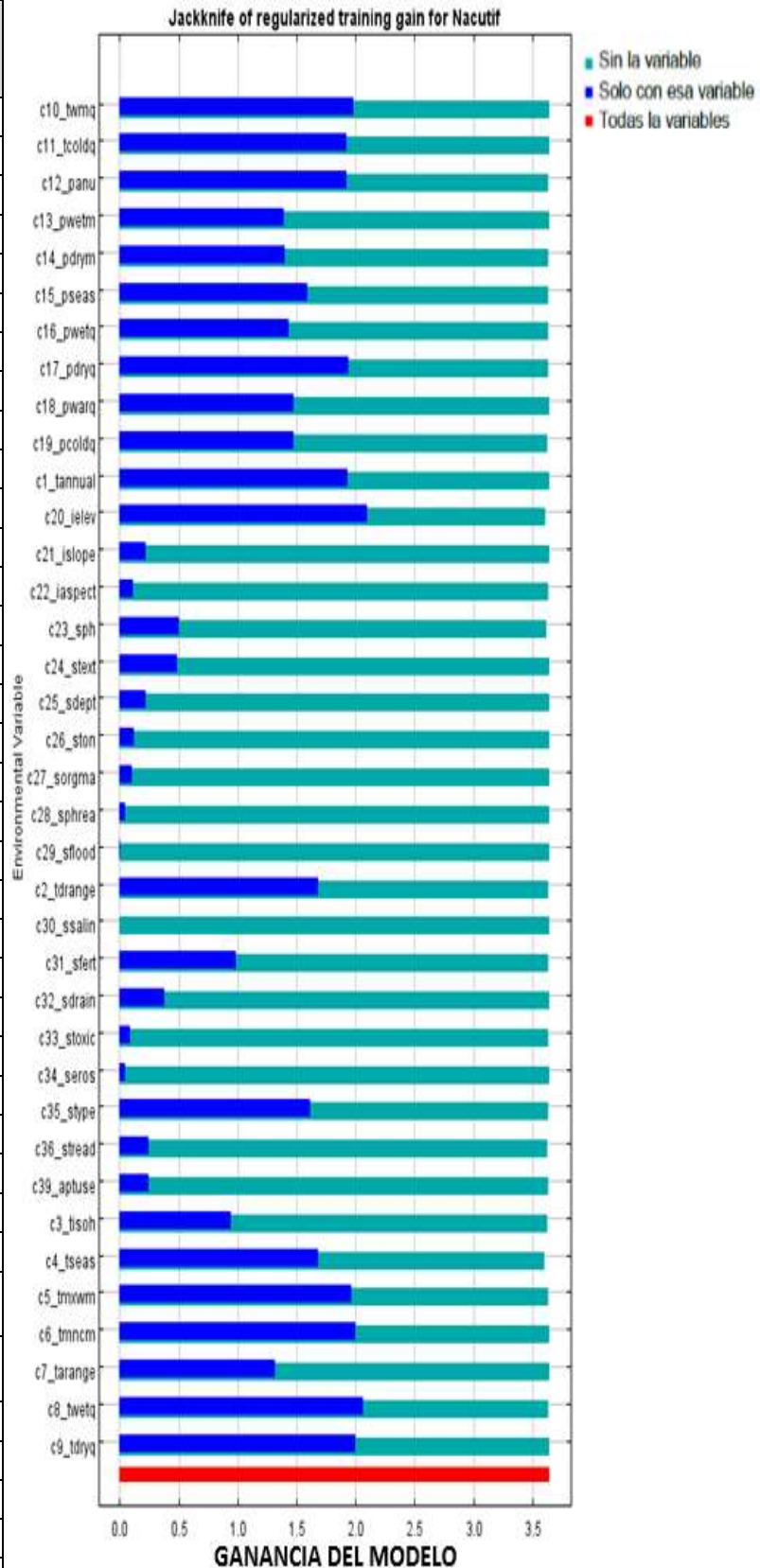
El análisis del valor de la ganancia de la prueba Jackknife en el área de movilidad restringida coincide con los valores obtenidos en la contribución de las variables ambientales, siendo la variable ambiental bio_18 (precipitación del trimestre más cálido) la que aporta mayor ganancia al modelo y tiene uno de los más altos porcentajes de contribución (10%). Por su parte, la variable bio_04 (desviación

estándar de la temperatura media mensual) es la variable que más disminuye la ganancia del modelo cuando es omitida y tiene el mayor porcentaje de contribución (19,5%). Es decir, individualmente poseen información de suma importancia que no está presente en otras variables. Contrariamente, las variables que señalaron menor contribución y a la vez un menor aporte en la ganancia del modelo fueron: h_cti21 (índice topográfico compuesto), bio_2 (Promedio de temperatura del rango diurno: promedio mensual= temp. máxima – temp. mínima) y bio_07 (rango de temperatura anual= temp. máx. del mes más cálido – temp. mín. del mes más frío).

La tabla 36 señala los valores obtenidos en la contribución de las variables ambientales; así como, el análisis del valor de la ganancia de la prueba Jackknife; en donde, el modelo alcanzó la mayor ganancia utilizando la variable elevación (c20_ielev) por sí sola; mientras que, el modelo disminuyó su ganancia al omitir la variable estacionalidad de la temperatura (c4_tseas; desviación estándar de la temperatura media mensual). Por lo tanto, las dos variables de manera independiente poseen la información más relevante. El análisis Jackknife coincide con el porcentaje de contribución de ambas variables en el modelamiento: c4_taseas (21,9%) y c20_ielev (3,2%), alcanzando una de las más altas contribuciones. Contrario a ello, las variables edafológicas salinidad (c30_ssalin), inundabilidad (c29_sflood) y nivel freático (c28_sphrea) tuvieron una contribución nula en el modelamiento. A su vez, el análisis Jackknife coincide ya que no existe ganancia del modelo tanto al omitir como al incluir las variables, por separado una a la vez.

Tabla 36. Contribución de las 37 variables en la ganancia del modelamiento y Prueba Jackknife (área de movilidad experimental)

	Variable	Contribución %
bio_15	c15_pseas	22,4
bio_4	c4_tseas	21,9
Fertilidad	c31_sfert	15,9
bio_3	c3_tisoh	13,6
Elevación	c20_ielev	6,2
bio_12	c12_panu	4
bio_19	c19_pcoldq	3,9
bio_17	c17_pdryq	3,9
pH	c23_sph	2,1
bio_16	c16_pwetq	1,4
Drenaje suelo	c32_sdrain	1
bio_17	c14_pdrym	0,9
Tipo suelo	c35_stype	0,7
Distancia ríos	c36_stread	0,6
bio_08	c8_twetq	0,5
bio_05	c5_tmwxm	0,3
Aptitud suelo	c39_aptuse	0,2
bio_02	c2_tdrange	0,2
Toxicidad	c33_stoxic	0,1
Textura suelo	c24_stext	0,1
Aspecto	c22_iaspect	0
Pedregosidad	c26_ston	0
bio_11	c11_tcoldq	0
bio_09	c9_tdryq	0
bio_07	c7_tarange	0
bio_06	c6_tmncm	0
Erosión suelo	c34_seross	0
Salinidad	c30_ssalin	0
Inundabilidad	c29_sflood	0
Capa freática	c28_sphrea	0
Materia orgánica	c27_sorgma	0
Profundidad suelo	c25_sdept	0
Pendiente	c21_islope	0
bio_01	c1_tannual	0
bio_18	c18_pwarq	0
bio_13	c13_pwetm	0
bio_10	c10_twmq	0



Una particularidad encontrada en los tres análisis Jackknife es alta ganancia que aporta la variable “elevación” cuando es usada por sí sola en la construcción del modelamiento. Situación que coincide con los porcentajes de contribución en las tres áreas de movilidad: extendida (8,3%), restringida (2,8%) y experimental (6,2%). En el otro extremo, las variables cuya contribución nula se repite en los tres análisis son las variables: bio_09 y bio_10; y para estas variables, el análisis Jackknife indica que la ganancia del modelo es similar tanto al omitirlas como a usarlas una a la vez. De acuerdo al estudio de Campaña (1992) sobre fenología de la floración del género *Nectandra*, los períodos fríos y lluviosos caracterizan esta etapa fenológica de la especie; y bajo esta consideración, el presente análisis Jackknife ha encontrado que las variables bio_8 y bio_11 caracterizan las condiciones climáticas para la floración, aportando una ganancia al modelo que tiene similitud con bio_09 y bio_10. Como se ha señalado, estas dos últimas variables no contribuyen al modelo; sin embargo, atienden los requerimientos climáticos para la fructificación de *Nectandra acutifolia* pues caracterizan períodos cálidos y secos (Campaña com. per.). En resumen, las variables que caracterizan las condiciones climáticas de fructificación y floración de Pacches son: bio_9, bio_10, bio_8 y bio_11, respectivamente. El análisis Jackknife indica que, para las tres áreas de movilidad de *Nectandra acutifolia*, las cuatro variables aportan en similar proporción a la ganancia del modelo, pero solo las variables bio_8 y bio_11 contribuyen en dos ocasiones en más del 1%. Se puede concluir que para la especie es más importante considerar las temperaturas promedio del trimestre más lluvioso y frío (floración), antes que las temperaturas promedio del trimestre más cálido y seco (fructificación).

Por el contrario, no se puede establecer un patrón de contribución y ganancia de las variables de precipitación: del trimestre más húmedo y frío (bio_16 y bio_19; para la floración), y tampoco de la precipitación del trimestre más seco y cálido (bio_17 y bio_18; para la fructificación). Esto se debe a que en las tres áreas de movilidad, las variables de precipitación tienen un comportamiento variado, tal como lo señalan los gráficos de barras del análisis Jackknife; además, en las tres tablas de contribución, las cuatro variables tienen una contribución diferente de cero. Por lo tanto, se puede concluir que las condiciones de precipitación que caracterizan los períodos de floración y fructificación tienen diferentes grados de importancia y todas contribuyen en el modelamiento desarrollado en el área de movilidad restringida. Se da una excepción en las áreas de movilidad “extendida” y “experimental”, donde las variables bio_17 y bio_18 tuvieron una contribución del 0% que se explica por su alta correlación con bio_19 y bio_16; y porque los individuos de *Nectandra acutifolia* del área extendida corresponden a otros países como: Perú, Bolivia y Colombia. En el área “extendida” en Sudamérica, la precipitación del trimestre más seco ha tenido una nula influencia en el modelamiento. Por su parte, bio_18 contribuyó en un 0% en el área experimental, lo que se puede justificar por su alta correlación con bio_16. La siguiente sección ayuda a clarificar la influencia de

la autocorrelación entre variables y su incidencia en el porcentaje de contribución en el modelamiento.

4.2.3. Correlación de Pearson y selección de variables relevantes

La interpretación de la contribución e importancia señaladas por la prueba Jackknife se ve comprometida cuando existen variables altamente correlacionadas. El análisis de correlación de Pearson aplicado a los grupos de variables antes analizadas ha abordado esta problemática y se han seleccionado aquellas variables que no aportan redundancia de información en el modelamiento; considerando también, los resultados de la prueba Jackknife. Por otro lado, ya que en el área de movilidad experimental se cuenta con un mayor número de puntos de presencia de *Nectandra acutifolia* y el conocimiento de expertos suma criterios de selección de variables relevantes, el análisis de correlación no se ha omitido y más bien se seleccionaron variables relevantes en función del conocimiento que poseen los expertos en el monitoreo de *Nectandra acutifolia* (Campaña com. per.; Justicia com. per.). Las figuras 23 y 24 indican los resultados del análisis de correlación y señalan las variables menos correlacionadas con las cuales se han calibrado los modelos para las áreas de movilidad extendida y restringida.

Figura 23. Correlación de Pearson de las variables en el área de movilidad extendida

	bio_01	bio_02	bio_03	bio_04	bio_05	bio_06	bio_07	bio_08	bio_09	bio_10	bio_11	bio_12	bio_13	bio_14	bio_15	bio_16	bio_17	bio_18	bio_19	h_ch21	h_dem22	h_slope20
bio_01		-0.419	0.1196	-0.043	0.904	0.9131	-0.393	0.9852	0.963	0.9903	0.9739	0.5098	0.51	0.4927	-0.119	0.4877	0.5091	0.4369	0.4775	0.4488	-0.95121	-0.47203
bio_02	-0.419		-0.196	0.2207	-0.02	-0.688	0.9184	-0.416	-0.438	-0.38	-0.442	-0.37	-0.382	-0.299	0.093	-0.367	-0.322	-0.439	-0.387	-0.195	0.53209	0.35716
bio_03	0.1196	-0.196		-0.945	-0.07	0.3643	-0.559	-0.021	0.347	-0.01	0.325	0.4087	0.2938	0.4656	-0.512	0.2543	0.4887	0.331	0.6029	-0.047	-0.21395	-0.16755
bio_04	-0.043	0.221	-0.945		0.153	-0.32	0.5781	0.0893	-0.284	0.0917	-0.265	-0.298	-0.196	-0.354	0.4035	-0.175	-0.371	-0.309	-0.483	0.0757	0.18641	0.16073
bio_05	0.9037	-0.018	-0.067	0.1529		0.6779	0.017	0.8984	0.8393	0.9261	0.8431	0.3603	0.3536	0.39	-0.082	0.3397	0.3923	0.2333	0.3065	0.4399	-0.78308	-0.34558
bio_06	0.9131	-0.688	0.3643	-0.32	0.678		-0.724	0.8659	0.9505	0.8653	0.9488	0.5743	0.5405	0.5752	-0.255	0.5125	0.5963	0.5122	0.6086	0.4047	-0.93115	-0.51736
bio_07	-0.393	0.918	-0.559	0.5781	0.017	-0.724		-0.334	-0.505	-0.307	-0.499	-0.443	-0.403	-0.416	0.2696	-0.378	-0.443	-0.477	-0.54	-0.137	0.53115	0.37915
bio_08	0.9852	-0.416	-0.021	0.0893	0.898	0.8659	-0.334		0.9092	0.9928	0.9304	0.439	0.4683	0.3996	-0.006	0.4541	0.4137	0.4215	0.3663	0.4509	-0.94172	-0.45083
bio_09	0.963	-0.438	0.347	-0.384	0.839	0.9505	-0.505	0.9092		0.9231	0.9933	0.5649	0.5228	0.5923	-0.267	0.4939	0.6083	0.4622	0.5967	0.4214	-0.94294	-0.4801
bio_10	0.9903	-0.38	-0.01	0.0917	0.926	0.8653	-0.307	0.9928	0.9231		0.9354	0.4611	0.4741	0.4417	-0.06	0.4551	0.4547	0.3882	0.4057	0.4583	-0.92343	-0.44539
bio_11	0.9739	-0.442	0.325	-0.265	0.843	0.9488	-0.499	0.9304	0.9933	0.9354		0.5482	0.5278	0.5454	-0.192	0.5025	0.5643	0.4878	0.558	0.4176	-0.96148	-0.48968
bio_12	0.5098	-0.37	0.4087	-0.298	0.36	0.5743	-0.443	0.439	0.5649	0.4611	0.5482		0.933	0.9024	-0.509	0.9326	0.9235	0.8047	0.9207	0.3039	-0.48282	-0.34809
bio_13	0.51	-0.382	0.2938	-0.196	0.354	0.5405	-0.403	0.4683	0.5228	0.4741	0.5278	0.933		0.7112	-0.249	0.9896	0.7447	0.8853	0.7909	0.3199	-0.49867	-0.33809
bio_14	0.4927	-0.299	0.4656	-0.354	0.39	0.5752	-0.416	0.3996	0.5923	0.4417	0.5454	0.9024	0.7112		-0.717	0.7105	0.9956	0.5736	0.9138	0.2701	-0.45102	-0.3179
bio_15	-0.119	0.093	-0.512	0.4035	-0.08	-0.255	0.2696	-0.006	-0.267	-0.06	-0.192	-0.509	-0.249	-0.717		-0.23	-0.715	-0.117	-0.643	-0.147	0.04028	0.087943
bio_16	0.4877	-0.367	0.2543	-0.175	0.34	0.5125	-0.378	0.4541	0.4939	0.4551	0.5025	0.9326	0.9896	0.7105	-0.23		0.7383	0.9099	0.7638	0.3302	-0.49166	-0.34056
bio_17	0.5091	-0.322	0.4887	-0.371	0.392	0.5963	-0.443	0.4137	0.6083	0.4547	0.5643	0.9235	0.7447	0.9956	-0.715	0.7383		0.6006	0.9954	0.2746	-0.4658	-0.32477
bio_18	0.4369	-0.439	0.331	-0.309	0.233	0.5122	-0.477	0.4215	0.4622	0.3882	0.4878	0.8047	0.8853	0.5736	-0.117	0.9099	0.6006		0.6158	0.2844	-0.53858	-0.34002
bio_19	0.4775	-0.387	0.6029	-0.483	0.307	0.6086	-0.54	0.3663	0.5967	0.4057	0.558	0.9207	0.7909	0.9138	-0.643	0.7638	0.9354	0.6158		0.2016	-0.44867	-0.31698
h_ch21	0.4488	-0.195	-0.047	0.0757	0.44	0.4047	-0.137	0.4509	0.4214	0.4583	0.4176	0.3039	0.3199	0.2701	-0.147	0.3302	0.2746	0.2844	0.2016		-0.39925	-0.5161
h_dem22	-0.951	0.532	-0.214	0.1864	-0.78	-0.931	0.5312	-0.942	-0.943	-0.923	-0.961	-0.483	-0.499	-0.451	0.0403	-0.492	-0.466	-0.539	-0.449	-0.399		0.47032
h_slope20	-0.472	0.357	-0.168	0.1607	-0.35	-0.517	0.3792	-0.451	-0.48	-0.445	-0.49	-0.348	-0.338	-0.318	0.0879	-0.341	-0.325	-0.34	-0.317	-0.516	0.47032	

Elaborado por: Paola Parra

Figura 24. Correlación de Pearson de las variables en el área de movilidad restringida

	bio_01	bio_02	bio_03	bio_04	bio_05	bio_06	bio_07	bio_08	bio_09	bio_10	bio_11	bio_12	bio_13	bio_14	bio_15	bio_16	bio_17	bio_18	bio_19	h_cti21	h_dem22	h_slope20
bio_01																						
bio_02	-0.8959																					
bio_03	0.58614	-0.6251																				
bio_04	0.84685	-0.8218	0.37764																			
bio_05	0.96232	-0.7493	0.45290	0.79106																		
bio_06	0.99465	-0.9349	0.615	0.85283	0.93295																	
bio_07	-0.8914	0.995	-0.695	-0.7988	-0.7375	-0.9312																
bio_08	0.9994	-0.9033	0.57974	0.8602	0.95828	0.99573	-0.8976															
bio_09	0.99919	-0.9009	0.58989	0.84039	0.95892	0.99572	-0.8969	0.99866														
bio_10	0.99942	-0.9013	0.58194	0.85939	0.95868	0.99526	-0.8963	0.99968	0.99865													
bio_11	0.9996	-0.8965	0.5887	0.84374	0.96039	0.99515	-0.8943	0.99927	0.99929	0.99938												
bio_12	0.71436	-0.742	0.40521	0.75063	0.66159	0.74116	-0.7204	0.72169	0.71454	0.71686	0.7104											
bio_13	0.47469	-0.6474	0.18493	0.71178	0.35266	0.51972	-0.6178	0.4917	0.47018	0.48792	0.4716	0.8006										
bio_14	0.75491	-0.647	0.25743	0.71826	0.78608	0.75089	-0.6126	0.75774	0.75324	0.75208	0.7509	0.9284	0.6328									
bio_15	-0.6182	0.40883	-0.3471	-0.4134	-0.7086	-0.5946	0.39799	-0.6095	-0.6194	-0.6051	-0.6128	-0.6862	-0.1391	-0.8216								
bio_16	0.48011	-0.6721	0.20696	0.70817	0.34582	0.52952	-0.6431	0.49748	0.47561	0.49361	0.4777	0.7994	0.9951	0.6196	-0.128							
bio_17	0.74524	-0.655	0.33039	0.68739	0.76129	0.74682	-0.6301	0.74719	0.74382	0.74151	0.7411	0.8451	0.6077	0.9878	-0.859	0.6011						
bio_18	0.59531	-0.7319	0.28644	0.76998	0.47978	0.63663	-0.7084	0.61019	0.59254	0.6063	0.5929	0.8723	0.9825	0.7235	-0.262	0.9817	0.7073					
bio_19	0.75899	-0.7395	0.641	0.55733	0.7012	0.77842	-0.7502	0.75428	0.77018	0.75423	0.7587	0.7908	0.4443	0.7453	-0.725	0.4488	0.7903	0.5669				
h_cti21	-0.0556	0.07847	-0.2402	0.00429	-0.0159	-0.0651	0.1061	-0.0482	-0.0661	-0.0578	-0.0601	0.0044	0.1004	0.075	-0.021	0.091	0.0476	0.0455	-0.1284			
h_dem22	-0.9778	0.95334	-0.5526	-0.8648	-0.8988	-0.9073	0.94201	-0.9813	-0.9774	-0.9806	-0.9789	-0.7106	-0.5623	-0.7123	0.5005	-0.5776	-0.6973	-0.6631	-0.7149	0.0189		
h_slope20	-0.4701	0.45339	-0.1428	-0.5761	-0.4308	-0.4716	0.42813	-0.4773	-0.4548	-0.4711	-0.4596	-0.5901	-0.552	-0.5996	0.424	-0.5489	-0.5965	-0.5567	-0.3221	-0.4991	0.48676	

Elaborado por: Paola Parra

Las variables cuyos valores de la matriz de correlación de Pearson oscilan entre -0,8 y 0,8 indican una correlación baja o poca redundancia de información ambiental entre pares de variables. Por lo tanto, se seleccionaron las variables menos correlacionadas según el rango antes mencionado; y, según la importancia y contribución que cada una ha indicado en la prueba Jackknife. Se ha encontrado una alta correlación entre las variables bio_8, bio_9, bio_10 y bio_11 en las tres áreas de movilidad, las mismas que señalan similar aporte en la ganancia del modelamiento; en donde, solo las variables bio_8 y bio_11 contribuyen en más del 1%. Motivo por el cual se descartan las variables bio_9 y bio_10 a causa del patrón de correlación encontrado. Por otro lado, bio_16 y bio_18 están altamente correlacionadas en las tres áreas de movilidad.

A continuación se detallan las variables menos correlacionadas entre sí y que fueron seleccionadas para las tres áreas de movilidad y la calibración de los 30 modelamientos ejecutados:

Tabla 37. Variables relevantes para calibrar el modelamiento en las tres áreas de movilidad

				ÁREAS DE MOVILIDAD		
				EXTENDIDA	RESTRINGIDA	EXPERIMENTAL
VARIABLES		bio_01				bio_01
						bio_02
		bio_03	bio_03			
		bio_04	bio_04			bio_04
		bio_05	bio_05			bio_05
						bio_06
						bio_07
		bio_08				bio_08
			bio_09			bio_09
						bio_10
		bio_11	bio_11			bio_11
			bio_12			bio_12
			bio_13			bio_13
		bio_14	bio_14			bio_14
		bio_15	bio_15			
			bio_16			bio_16
						bio_17
		bio_18	bio_18			bio_18
		bio_19	bio_19			bio_19
		h_dem22	h_dem22			c20_elev
		h_slope20	h_slope20			c21_slope
		h_cti21	h_cti21			
						c23_sph
						c24_stext
						c25_sdept
						c26_ston
						c27_sorgma
					c28_sphrea	
					c30_ssalin	
					c31_sfert	
					c32_sdrain	
					c33_stoxic	
					c34_serost	
					c35_stype	
					c36_stread	
					c39_aptuse	
	TOTAL VARIABLES RELEVANTES	13	15			33

Elaborado por: Paola Parra

En el presente estudio, llamó la atención la alta correlación entre las variables de temperatura que caracterizan los períodos de floración y fructificación, así como, una menor autocorrelación entre las variables de precipitación. Contrariamente, la variable de elevación ha señalado una independencia de correlación frente a todas las variables analizadas. Por tal razón, se han desarrollado dos modelamientos por cada área de distribución: un modelamiento omitiendo y otro sin omitir la variable de elevación, con la finalidad de analizar la influencia de esta variable en la predicción de idoneidad ambiental. Ambos modelamientos se han realizado utilizando las variables relevantes descritas en la tabla anterior.

Finalmente, a pesar de que el criterio de los expertos fue la base de selección de variables con las cuales construir los modelamientos en el área “experimental”, el presente estudio también realizó un análisis de correlación de Pearson sobre las 37 variables y seleccionó solo 15 de ellas que serían las más relevantes. El motivo por el cual no se han utilizado las 15 variables resultantes del análisis de correlación Pearson radica en la inexactitud de las áreas de distribución modeladas usando dichas variables, pues señaló áreas por sobre los 2.000 msnm, e incluso, entre los 4 y 10 msnm. Estos rangos altitudinales de distribución se alejan de la distribución conocida de *Nectandra acutifolia* en el Ecuador y en el Corredor del Oso Andino (Rohwer, 1993; Campaña, 1992; Justicia com. per.).

4.2.4. Elección de la mejor réplica/modelo: Área Bajo la curva (AUC) y tasa de omisión

Se ha considerado el Área Bajo la curva ROC como el enfoque no paramétrico- “Independiente del umbral de corte”- que evalúa el potencial discriminatorio de los resultados de modelamiento entre idoneidad (sensibilidad) y no-idoneidad (especificidad) ambiental para una especie (Fielding & Bell, 1997). Como se ha mencionado en la sección metodológica, se empleó el estadístico AUC para seleccionar el mejor modelo entre las 10 réplicas que generó el algoritmo de máxima entropía para cada una de las tres áreas de movilidad de *Nectandra acutifolia*.

La tabla a continuación resume los resultados de la evaluación automatizada que el software MaxEnt generó para las 5 réplicas en las 3 diferentes áreas de calibración del modelamiento (áreas de movilidad de *Nectandra acutifolia*):

Tabla 38. Estadísticos de evaluación de discriminación presencia/ausencia

Área de movilidad	Modelo	Código de réplica	CON ELEVACIÓN		Modelo	SIN ELEVACIÓN	
			AUC de entrenamiento	Tasa de omisión de puntos de prueba TOR (%)		AUC de entrenamiento	Tasa de omisión de puntos de prueba TOR (%)
Extendida	1	Nacutif_0	0,958	25,81	16	0,9608	19,35
	2	Nacutif_1	0,9205	19,35	17	0,9492	25,81
	3	Nacutif_2	0,9388	12,9	18	0,961	35,48
	4	Nacutif_3	0,9291	6,45	19	0,9486	29,03
	5	Nacutif_4	0,9445	22,58	20	0,9404	12,9
Restringida	6	Nacutif_0	0,9811	14,29	21	0,9771	0
	7	Nacutif_1	0,9651	0	22	0,9832	0
	8	Nacutif_2	0,9705	0	23	0,9571	0
	9	Nacutif_3	0,987	0	24	0,9861	0
	10	Nacutif_4	0,9726	28,57	25	0,9803	0
Experimental	11	Nacutif_0	0,9968	6,67	26	0,9959	6,67
	12	Nacutif_1	0,9929	3,33	27	0,9972	3,33
	13	Nacutif_2	0,9963	3,33	28	0,9948	0
	14	Nacutif_3	0,9957	10	29	0,9979	10
	15	Nacutif_4	0,9951	3,33	30	0,9965	6,67

Elaborado por: Paola Parra

Los valores de la columna “AUC de entrenamiento” representan la habilidad de cada modelo para distinguir entre áreas de idoneidad y no-idoneidad ambiental comparando las predicciones que el algoritmo ha realizado con los valores ambientales de los registros de presencia y puntos de “background”. Además, la columna “TOR %” describe el número de registros de prueba que se omitieron durante la construcción del modelamiento; señalando así, el porcentaje de error de omisión posible por cada modelo (Phillips et al., 2006). Se ha clasificado el desempeño de cada modelo en función de los valores AUC y TOR%, de acuerdo a lo señalado por Swets (1988):

Tabla 39. Valores de AUC y descripción del potencial discriminatorio de modelamiento

Valor AUC	Precisión del modelo	Valor AUC	Precisión del modelo
0,90–1,00	Excelente discriminación	0,70–0,80	Imparcial discriminación
0,80–0,90	Buena discriminación	0,60–0,70	Pobre discriminación
0,50–0,60	Sin discriminación		

Fuente: Cord et al., 2014

El estadístico de AUC se ha calculado en función de la relación prevalencia de la especie vs. los puntos de “background”. En donde, se señalan valores de AUC (entre 0,9861 y 0,9963) significativamente mayores en las áreas de movilidad Restringida y Experimental que incluyeron superficies de calibración de modelamiento menores (e.g., Cordillera de los Andes del Ecuador y

Corredor del Chocó Andino). Inicialmente, los mayores valores de AUC (0,9963 y 0,9948) se dan en el área “experimental” donde hubo mayor muestreo de registros de presencia y donde se incluyó una combinación de variables ambientales a 1 km de resolución espacial y variables edafológicas a 30 metros de resolución; todas las cuales fueron reescaladas a 30 metros. Mientras que, los valores de AUC más bajos (0,9291 y 0,9404) se dan en el área extendida; en donde, a pesar de haber un gran muestreo de registros de presencia, los mismos no tuvieron una alta certeza, y por ello, la tasa de omisión de puntos de prueba fue la mayor. El área extendida se caracterizó por tener la mayor superficie de estudio abarcando Sudamérica (Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia); y en donde, los puntos que caracterizaron el nicho ecológico de la especie (puntos de background) se muestrearon a lo largo de zonas donde posiblemente la especie no se distribuía. Por su parte, los valores de AUC (0,987 y 0,9861) en el área “restringida” se localizan en un rango intermedio comparado con las otras dos áreas de movilidad. Estos dos últimos valores de AUC se establecieron conjuntamente con tasas de omisión (TOR) del 0 %; lo que tiene relación con la relativa homogeneidad que presenta la Cordillera de los Andes en cuanto a barreras biogeográficas de dispersión de *Nectandra acutifolia*. Es decir, el muestreo de puntos de caracterización de nicho ecológico realizado en esta área recoge condiciones ambientales de un sector biogeográfico que abarca bosques siempreverdes, piemontanos a montano altos, comprendidos entre los 300 a 3.400 msnm.

Todos los valores de AUC presentaron precisiones de desempeño del modelamiento en un rango de “excelente discriminación” con notorias variaciones en las tasas de omisión de puntos de prueba (TOR). Gráficamente, existen variaciones en el modelamiento al utilizar la variable elevación, puesto que en el área de modelamiento “extendida” y “experimental”, la Fracción del Área Predicha (FPA) aumenta. Es decir, el área de predicción de idoneidad ambiental aumenta al incluir la variable elevación, y disminuye al omitirla. Caso particular sucede en el área “restringida”, en donde la FPA se mantiene constante.

Para cada una de las 3 áreas de construcción de modelamientos se ha escogido el modelo/réplica cuya capacidad de discriminación presencia/ausencia tenga un AUC cercano a 1 y uno de los más bajos valores de tasa de omisión de los puntos de prueba (TOR %). A partir de las consideraciones de Sweets (1988), a continuación se detallan los 6 modelos que han satisfecho los parámetros:

Tabla 40. Mejores réplicas – Resumen de Valores AUC y tasa de omisión de puntos de prueba

Área de movilidad	Número de modelamiento	Código de réplica	AUC de entrenamiento	Tasa de omisión de puntos de prueba TOR (%)	Uso de Elevación	Descripción del desempeño
Extendida	4	Nacutif_3	0,9291	6,45	CON ELEVACIÓN	Menor desempeño de modelamiento y alta tasa de omisión de puntos de prueba
	5	Nacutif_4	0,9404	12,9	SIN ELEVACIÓN	
Restringida	9	Nacutif_3	0,987	0	CON ELEVACIÓN	Desempeño intermedio del modelamiento y nula tasa de omisión de puntos de prueba
	24	Nacutif_3	0,9861	0	SIN ELEVACIÓN	
Experimental	13	Nacutif_2	0,9963	3,33	CON ELEVACIÓN	Mayor desempeño de modelamiento y baja tasa de omisión de puntos de prueba
	28	Nacutif_2	0,9948	0	SIN ELEVACIÓN	

Elaborado por: Paola Parra

4.2.5. Evaluación del modelamiento “Prueba ROC parcial”: desempeño y significancia estadística

En el capítulo III (Metodología) se ha señalado el motivo del empleo del estadístico ROC parcial para evaluar el desempeño y la significancia estadística del algoritmo de modelamiento de máxima entropía. Es preciso enfatizar que esta segunda prueba estadística, denominada “ROC parcial”, realiza los cálculos utilizando únicamente los puntos de “prueba” que fueron separados al inicio del modelamiento; y por lo tanto, no fueron utilizados para calibrar dicho modelamiento en las tres áreas de movilidad de *Nectandra acutifolia*.

Los resultados de la prueba estadística utilizando el software “Tool for Partial-ROC (versión 1.0)” (Barve, 2008) han considerado una tolerancia de error de omisión del 5%, permitiendo que la prueba estadística evalúe una significancia estadística $p \leq 0,05$ y un nivel de confianza del 95% de los seis mejores modelos seleccionados previamente en función del estadístico AUC y tasa de omisión. La tabla 41 señala los resultados de la aplicación del estadístico ROC Parcial, tal como se indica a continuación:

Tabla 41. Evaluación del desempeño y significancia estadística del modelamiento: AUC Parcial y valor “p”

Área de movilidad	Número de modelamiento	Código de réplica	AUC parcial Desempeño del modelamiento	p Significancia estadística	Uso de Elevación
Extendida	4	Nacutif_3	1,64	< 0,001	CON ELEVACIÓN
	5	Nacutif_4	1,66	< 0,001	SIN ELEVACIÓN
Restringida	9	Nacutif_3	1,96	< 0,001	CON ELEVACIÓN
	24	Nacutif_3	1,8	< 0,001	SIN ELEVACIÓN
Experimental	13	Nacutif_2	1,77	< 0,001	CON ELEVACIÓN
	28	Nacutif_2	1,98	< 0,001	SIN ELEVACIÓN

Elaborado por: Paola Parra

Los valores de AUC Parcial oscilan entre 1 y 2, ya que no evalúan toda el área bajo la curva, sino, un área proporcional o “radio” resultante de modelos con poca omisión de puntos de prueba. Es decir, la proporción del área por arriba del azar con respecto a toda el área predicha por el algoritmo, y bajo una consideración de tolerancia máxima de errores de omisión. Valores cercanos a 2 indican un buen desempeño discriminativo de presencia/ausencia; mientras que, valores menores o iguales a 1 representan modelos que no son distintos al azar. A partir de estos valores se ha calculado la significancia del modelamiento “p”, en donde un valor $p \leq 0,05$, señala que el modelamiento ha cometido errores en un porcentaje menor o igual al 5% de omisión de puntos de prueba. Por tal motivo, el modelamiento tendría un nivel de confianza del 95% al predecir idoneidad ambiental.

En el área de movilidad “extendida” y “experimental”, los modelos que omitieron la variables “elevación” alcanzaron altos valores AUC. Situación contraria ocurrió en el área de movilidad “restringida” cuando al incluir la variable elevación se alcanzó un mayor valor AUC; a pesar de que espacialmente, ambos modelos (9 y 24) señalan similares áreas de distribución para *N. acutifolia*. Por su parte, los seis modelos finales señalan una significancia estadística $p < 0,001$; es decir, el error de omisión de los puntos de prueba fue menor al 0,1%, señalando una confianza de predecir condiciones de nicho ecológico idóneas para la especie en un 98,9%.

4.2.6. Modelamiento de distribución de *Nectandra acutifolia* en las tres áreas de movilidad

El modelamiento de distribución de *Nectandra acutifolia*, realizado con el software MaxEnt ha dado como resultado áreas que representan la idoneidad climática y edafológica para árboles de Pacches, las cuales señalan la probabilidad de presencia de la especie en función de las características de suelo y clima existentes para cada píxel.

En el área de movilidad “extendida”, la distribución de *N. acutifolia* en Sudamérica ha alcanzado los 31.685.800 ha., y ocupa 52.324,09 ha. del Corredor del Oso Andino, lo que equivale al 22,84% del área de estudio. La distribución de Pacches en la Cordillera Occidental de los Andes (área de movilidad “restringida) alcanzó los 184.800 ha., cubriendo 14.742,21 ha. del Corredor del Oso Andino, lo cual equivale al 22,83% del área de estudio. Por su parte, la distribución potencial de Pacches en toda el área de movilidad experimental (Corredor del Chocó Andino) fue 68.419,44 ha, cubriendo 17.374,62 ha. del Corredor del Oso Andino (26,9%).

La importancia de realizar tres diferentes modelamientos ha sido experimental y su utilidad radica en establecer una medida de comparación sobre el comportamiento ambiental de la especie en diferentes escalas; y, descartar su dependencia a las variaciones climáticas. Es decir, se han desarrollado modelamientos de distribución no solo para la especie en Ecuador, sino, en Sudamérica. Esto ha permitido corroborar que, al ser una especie de amplio rango de distribución, posee una resiliencia a las condiciones ambientales que conforman su medio tanto en Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia.

Los resultados del modelamiento en Sudamérica señalaron que al omitir la variable de “elevación”, las restricciones ambientales que configuró MaxEnt se ajustaron a las áreas de distribución conocida en función de las variables climáticas. Es decir, en el área de movilidad extendida la fracción del área predicha (FPA) disminuyó con la omisión de la variable de “elevación” de 23,8% a 15%. En este modelamiento no hubo disponibilidad de variables edafológicas que caractericen toda el área de distribución en Sudamérica, y por ello, los resultados del modelamiento predictivo ajustaron sus predicciones a las condiciones climáticas reduciendo su área de distribución.

Por su parte, el modelamiento de máxima entropía desarrollado en el Corredor del Chocó Andino (área “experimental”) señala que la distribución de la especie se ajustó a las variables edafológicas una vez que la variable de “elevación” fue omitida. Se ha llegado a esta conclusión, ya que la fracción del área predicha por el algoritmo (FPA) se redujo de 3,9 a 2,4 %, cuando se utilizó la variable “elevación”, y, cuando esta fue omitida, respetivamente. Este es un patrón de idoneidad ambiental hallado gracias a la disponibilidad de variables edafológicas y un mayor número de puntos de presencia de *Nectandra acutifolia*, de los cuales se tuvo certeza por el trabajo realizado en campo.

Si bien este modelamiento de distribución se aproximó a los puntos de presencia de la especie; también señaló posibles puntos atípicos o “outliers” ubicados en las parroquias de: La Concepción-Cantón Eloy Alfaro a 104 msnm y Alto Tambo-Cantón San Lorenzo a 600 msnm. Ambos puntos se ubican en la provincia de Esmeraldas y no recaen sobre el área de distribución estimada en este estudio. Podría decirse que tales “outliers” presentan restricciones edafológicas de distribución no similares a aquellas donde el modelamiento de distribución indicó valores de probabilidad positiva por píxel para *Nectandra acutifolia*. Es decir, este resultado de distribución que se ha ajustado a las condiciones edafológicas señalando independencia de la especie a las condiciones climáticas. A partir de esta inferencia, Campaña (com. per.) señala que, posiblemente, la especie es resiliente a variaciones climáticas y puede sujetarse, mas bien, a condiciones microclimáticas; descartando así, un nivel de exigencia a condiciones climáticas uniformes. Finalmente, este resultado corrobora la capacidad de *Nectandra acutifolia* de crecer en bosque secundario y afianza la pertinencia del uso de esta especie con fines de reforestación en los espacios disturbados presentes en el Corredor del Oso Andino. Frente a tales consideraciones, se ha escogido la superficie de distribución resultante del modelamiento realizado en el área “experimental” para realizar la propuesta de sectorización de áreas potenciales para reforestación en el área de estudio.

En el área de movilidad “restringida”, la construcción del modelo de distribución realizada al omitir y al incluir la variable “elevación” fue similar para ambos casos, señalando la misma fracción del área predicha (FPA= 5%). Es decir, *Nectandra acutifolia* encontró iguales condiciones de nicho ecológico sin considerar y considerando las restricciones que presenta la elevación para su distribución.

Por lo tanto, el presente estudio desea aproximar una distribución de probabilidad de máxima entropía, que compare las consideraciones teóricas versus la necesidad de resultados más reales para atender los objetivos de conservación del hábitat del oso andino en el Distrito Metropolitano de Quito. El modelamiento realizado en el Corredor del Chocó Andino (área experimental; modelo 28) al omitir la variable “elevación “ señala el mejor desempeño de todos (1,98 de AUC parcial); y ajusta la distribución de *Nectandra acutifolia* a las zonas de presencia actual de la especie, sujetándose mayormente a las restricciones de variables edafológicas en ausencia de la elevación. La base del conocimiento y monitoreo de quienes conocen la distribución actual de la especie y su estado de florecimiento y fructificación, indican que modelo 28 es representativo de la distribución conocida de *N. acutifolia* (Campaña, 1992).

Según el Mapa de áreas de distribución de *N. acutifolia* en el Corredor del Oso Andino-DMQ (ver Anexo 7), existe una idoneidad del 26,91% del área de estudio que facilita la distribución de la especie; mientras que el 73,08% del corredor presenta condiciones edafológico-climáticas que no reconstruyen su nicho ecológico; y por lo tanto, no es posible la distribución de árboles de Pacches.

Tabla 42. Áreas de distribución de *N. acutifolia* según ecosistema (Modelo 28)

Sector biogeográfico	Nomenclatura	Ecosistema	Se distribuye <i>N. acutifolia</i>	Superficie hectáreas	% Ocupación
Valles	BmMn01	Bosque y Arbustal semideciduo del norte de los Valles		55,20	0,09%
Cordillera Occidental de los Andes	BsMn03	Bosque siempreverde montano de Cordillera Occidental Andes	SI	653,35	1,01%
	BsPn01	Bosque siempreverde piemontano de Cordillera Occidental Andes		2.853,98	4,42%
	Intervenido	Intervención		6.318,27	9,79%
	BsBn04	Bosque siempreverde montano bajo de Cordillera Occidental Andes		7.485,04	11,60%
	AsMn01	Arbustal siempreverde montano del norte de los Andes	NO	47.140,38	73,08%
	BsAn03	Bosque siempreverde montano alto de Cordillera Occidental Andes			
Páramo	AsSn01	Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo			
	HsSn02	Herbazal del Páramo			
TOTAL				64.506,22	100%

Elaborado por: Paola Parra

En resumen, la mayor parte de la idoneidad ambiental de los modelamientos 28 y 24 recae sobre las siguientes unidades de Ecosistemas del Ecuador Continental:

- Bosque siempreverde piemontano de Cordillera Occidental de los Andes (300-1.400 msnm)
- Bosque siempreverde montano bajo de Cordillera Occidental de los Andes (1.400-2.000 msnm)
- Bosque siempreverde montano de Cordillera Occidental de los Andes (2.000-3.100 msnm)

Y tan solo una pequeña cantidad en:

- Bosque y arbustal semideciduo del norte de los Valles (1.200-2.600 msnm)

Por otro lado, el modelamiento 5 ha generalizado la idoneidad ambiental cubriendo el 85% del área total del Corredor del Oso Andino. Situación que no se ajusta a la realidad, ya que al este de la Reserva Maquipucuna no existen evidencias de registros de presencia de *Nectandra acutifolia* hasta el 2018. Razón por la cual, el modelo 28 fue tomado en este estudio como aquel que representa la distribución actual y potencial para establecer la zonificación de reforestación con *N. acutifolia* en el corredor ecológico.

4.3. MAPA DE COSTOS DE DESPLAZAMIENTO DEL OSO ANDINO

El resultado de modelamiento de superposición ponderada (ver sección 3.3.2) ha sido un ráster que resume la jerarquía de importancia de covariables que representan el esfuerzo de desplazamiento del oso andino en el corredor ecológico (ESRI, 2016). A partir de ello, el Mapa de costos de desplazamiento de *Tremarctos ornatus* señala tres categorías que puntualizan el esfuerzo de desplazamiento del mamífero en función de las limitaciones que han presentado las covariables de análisis (ver Anexo 8).

Tabla 43. Porcentaje de ocupación de unidades categorizadas de desplazamiento del Oso Andino

Costos de desplazamiento	Jerarquía de ponderación	Desplazamiento	Esfuerzo de desplazamiento	Superficie hectáreas	% Ocupación
	1-6	Muy Adecuado	Sin limitaciones	42.570,36	79,74
	6-12	Medianamente adecuado	Algunas limitaciones	9.313,65	17,45
	12-20	Extremadamente No Adecuado	Severas limitaciones	1.499,22	2,81

Elaborado por: Paola Parra

4.4. ZONIFICACIÓN Y CONECTIVIDAD DE ÁREAS POTENCIALES PARA REFORESTACIÓN CON PACCHES

4.4.1. Áreas prioritarias para reforestación con Pacches

En el presente estudio se han considerado los análisis de áreas de distribución de *N. acutifolia* y elegibilidad de tierras para reforestación según el concepto de bosque al 2017, como criterios para priorizar la reforestación con Pacches con el afán de concretar áreas con las condiciones más favorables para el propósito de alimentación del Oso Andino (ver Tabla 44). Por otro lado, ha sido indispensable considerar los condicionantes que caracterizan el esfuerzo de desplazamiento de *Tremarctos ornatus*, y así, ajustar la priorización en áreas donde existan limitaciones de movilización del mamífero. A partir de ello se ha establecido la reforestación con Pacches como estrategia de provisión de alimento que contrarreste los posibles conflictos asociados al desplazamiento de *Tremarctos ornatus* en una matriz de paisaje antropizada. De tal manera, las áreas prioritarias para reforestación han tomado tres criterios: elegibilidad, distribución de *N. acutifolia* (Pacches) y esfuerzo de desplazamiento del Oso Andino, sumando un 6,6% del área total del corredor ecológico disponible para reforestación con Pacches (ver Tabla 45; y Anexo 9. Mapa de áreas prioritarias para reforestación con Pacches).

Tabla 44. Áreas de distribución de *N. acutifolia* en función de áreas elegibles para reforestación

Se distribuye <i>N. acutifolia</i>	Áreas Elegibles para reforestación 2017	Superficie hectáreas	% Ocupación
SI	Erial/ sin cobertura vegetal	5,67	0,09%
	Cultivos anuales	11,61	0,19%
	Vegetación herbácea	632,41	10,31%
	Cultivos semi-permanentes	674,86	11,00%
	Cultivos permanentes	1.262,77	20,58%
	Vegetación arbustiva	1.390,74	22,66%
	Pastizal	2.158,11	35,17%
TOTAL		6.136,17	100%

Elaborado por: Paola Parra

Tabla 45. Áreas prioritarias para reforestación con Pacches

Esfuerzo de desplazamiento Oso Andino	Se distribuye <i>N. acutifolia</i>	Áreas Elegibles para reforestación 2017	Superficie hectáreas	% Ocupación	
Sin Limitaciones	SI	Cultivos anuales	1,38	0,03%	
		Cultivos permanentes	127,00	2,98%	
		Cultivos semi-permanentes	16,36	0,38%	
		Pastizal	85,31	2,00%	
		Vegetación arbustiva	972,65	22,82%	
		Vegetación herbácea	411,61	9,66%	
Algunas Limitaciones		Cultivos permanentes	662,51	15,55%	
		Cultivos semi-permanentes	111,28	2,61%	
		Pastizal	1.322,54	31,03%	
		Vegetación arbustiva	30,97	0,73%	
		Vegetación herbácea	95,62	2,24%	
Severas Limitaciones		Cultivos anuales	1,77	0,04%	
		Cultivos permanentes	72,84	1,71%	
		Cultivos semi-permanentes	312,99	7,34%	
		Pastizal	26,71	0,63%	
		Vegetación arbustiva	10,25	0,24%	
TOTAL			4.261,78	100%	

Elaborado por: Paola Parra

4.4.2. Unidades de conectividad y criterios de zonificación

La zonificación es uno de los instrumentos más poderosos del proceso de planificación y el que más implicaciones prácticas tiene sobre los actores locales y los recursos protegidos. Zonificar en su concepción más clásica, se podría entender como la distribución espacial de uno o varios modelos de intervención humana en un espacio geográfico. Esta es, en última instancia, el mapeo de una decisión técnico-política de la entidad que gestiona ese espacio (MAE, 2013). Es así, que el Corredor Ecológico del Oso Andino, es un instrumento complementario a las declaratorias de áreas protegidas metropolitanas como parte de una estrategia integradora que protege el patrimonio natural del DMQ. El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito es la entidad encargada de proponer y construir un modelo territorial para la conservación de su patrimonio natural, bajo la consideración de su Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial; y la normativa expuesta en su Plan de Uso y Gestión del Suelo (PUOS-DMQ) (Ordenanza Metropolitana No. 0127, 2016; Registro Oficial Suplemento No.467, 2015).

De manera complementaria, los Lineamientos de gestión de conectividad con fines de conservación del Ecuador, señalan tres premisas importantes sobre las cuales se fundamenta la zonificación y conectividad con *N. acutifolia*, propuesta en el presente estudio para el Corredor del Oso Andino (Registro Oficial No. 135, 2013):

- El corredor incorpora en su diseño una o más áreas protegidas; sin embargo, el corredor en sí mismo no es un área protegida o una categoría de manejo.
- Es un proceso de largo plazo, flexible y dinámico, que no impone restricciones de uso del suelo y los recursos naturales (fuera de áreas protegidas).
- El corredor debe ser parte de los procesos de planificación y ordenamiento territorial.
- Sin perjuicio de la información sistematizada o generada en la fase de diseño, durante el establecimiento deberán realizarse estudios complementarios que permitan verificar la hipótesis de la conectividad.

Frente a las consideraciones antes señaladas y en función del Mapa No.7: “Áreas prioritarias para reforestación con Pacches” (ver Anexo 9), se ha establecido una zonificación que de cumplimiento a la normativa que dictamina las asignaciones de uso principal de suelo establecido en el Plan de Uso y Gestión del Suelo-DMQ; y que complementariamente, satisfaga los análisis de potencialidad de reforestación con Pacches realizados en el presente estudio como aporte para la conservación del oso andino.

Es decir, la zonificación y conectividad utilizando *N. acutifolia* ha integrado las categorías de prioridad de reforestación establecidas en el Mapa No. 7, los polígonos de asignación de Uso Principal del Suelo del PUOS-DMQ; así como, las dos áreas protegidas y 10 bosques protectores existentes en el Corredor Ecológico del Oso Andino.

El 36,75% (1.566,06 ha.) de las áreas prioritarias para reforestación con Pacches se situaron sobre usos principales de tipo “Protección Ecológica”; mientras que, el 63,25% restante (2.695,34 ha) se ubicó sobre usos principales de tipo “Recursos naturales renovables/Producción Sostenible”. Ambos polígonos de uso y ocupación del suelo presentan usos y actividades permitidas de acuerdo a como lo establece el Plan de Uso y Ocupación del Suelo-DMQ (ver Marco Normativo municipal, sección 3.5.1.4). Por tal motivo, la potencialidad de reforestación de *N. acutifolia* se ha acoplado a los lineamientos normativos de uso de suelo que establece el plan antes mencionado para formular la zonificación.

Complementario a ello, la potencialidad de reforestación con *N. acutifolia*, que en el presente estudio estuvo encaminada a favorecer la movilidad y conservación del oso andino, ha considerado el documento oficial de Lineamientos de gestión para la conectividad con fines de conservación

(Registro Oficial No. 135, 2013). Tales lineamientos señalan los elementos estructurantes para establecer conectividad dentro del Corredor del Oso Andino, de la siguiente manera:

- **Área núcleo:** constituyen las áreas protegidas ya que posibilitan la dispersión para poblaciones de fauna y flora (Bennett, 1998). En el área de estudio existen: Reserva Geobotánica Pululahua y Área de Conservación y Uso Sustentable Yunguilla.
- **Zona de amortiguamiento:** zona de 2 kilómetros ubicada alrededor de áreas protegidas, en donde se debe trabajar para mitigar las presiones y amenazas que existen sobre áreas núcleo (Bennett, 1998; MAE, 2013).
- **Rutas o ejes de conectividad:** Surgen del paso de entre diferentes usos de suelo propuestos para unir dos o más zonas núcleo, permiten disminuir la resistencia del movimiento de especies, así como la adaptación a los cambios y presiones del ambiente. Estos ejes deben incorporar usos de dicho paisaje compatibles con la conectividad que se desea establecer (Bennett, 1998). El presente estudio ha identificado en el Corredor del Oso Andino áreas prioritarias para reforestación con diferentes categorías de uso actual del suelo, las cuales al ser combinadas con *N. acutifolia*, posibilitarían sistemas agroforestales y silvopastoriles sustentables. A corto plazo, las áreas prioritarias para reforestación con Pacches (ver Anexo 9) constituyen sitios para intervención con fines de conectividad ecológica. Sin embargo, en el largo plazo estas pueden convertirse en zonas importantes para avistamiento de poblaciones de Oso Andino y ecoturismo, que promuevan el mejoramiento del paisaje y el bienestar económico y social de los dueños de propiedades que recaen en estos ejes de conectividad.

Además, es necesaria la existencia de significativos remanentes del hábitat que sirven de áreas de conexión e integración, a manera de nodos a lo largo del eje de conectividad (Registro Oficial No. 135, 2013). Estos nodos permiten garantizar la continuidad de ciertos tipos de ecosistemas y paisajes (por ejemplo bosques y vegetación natural leñosa, sistemas fluviales y cobertura boscosa ribereña, hábitats de interés comunitario), protegen la capacidad del territorio para facilitar la dispersión de especies, promueven la accesibilidad de la naturaleza como factor de bienestar, calidad de vida y salud (EUROPARC-España, 2009). Dentro del Corredor Ecológico del Oso Andino existen 10 bosques protectores que constituyen remanentes importantes de hábitat con bosque nativo, los cuales presentan más del 60% de su superficie destinada a bosque húmedo poco alterado (ver Anexo 4. Mapa de uso del suelo y cobertura vegetal al 2017).

- **Matriz de paisaje en el corredor ecológico:** está constituida por áreas dedicadas a usos múltiples (actividades agropecuarias, asentamientos humanos, aprovechamiento forestal, ecoturismo, otros), en donde las especies pueden encontrar una mayor tasa de mortalidad,

expresar diferentes patrones de dispersión, cruzar barreras o fronteras, entre otros (EUROPARC-España, 2009; Bennett, 1998).

Es así que, con la ayuda de herramientas de geoprocésamiento incluidas en el software ArcGIS 10.3, y la normativa del PUOS-DMQ que rige el uso y la ocupación del suelo en el DMQ, se ha establecido la siguiente zonificación con acciones normativas; así como, la conectividad de áreas potenciales para reforestación con Pacches:

Tabla 46. Zonificación de áreas prioritarias para reforestación con Pacches

Uso Principal de Suelo rural según PUOS-DMQ	Esfuerzo de desplazamiento de oso andino	Uso actual y cobertura vegetal al 2017	Zonificación de áreas prioritarias para reforestación con Pacches	Elemento estructurante de conectividad ecológica
Protección Ecológica/ Conservación del Patrimonio Natural	1. Sin limitaciones 2. Algunas a severas limitaciones	1. Cultivos: anuales, permanentes, semipermanentes 2. Pastizal	<i>Zona prioritaria 1 destinada a la restauración del paisaje intervenido de tipo agropecuario para protección y conservación</i>	Ruta de conectividad
	1. Sin limitaciones 2. Algunas a severas limitaciones	1. Vegetación arbustiva 2. Vegetación herbácea	<i>Zona 2 de recuperación de la cobertura vegetal para protección, destinada a la expansión de un sistema enlazado de hábitat</i>	
Recursos naturales renovables/ Producción Sostenible	1. Sin limitaciones 2. Algunas a severas limitaciones	1. Vegetación arbustiva 2. Vegetación herbácea	<i>Zona 3 de recuperación y manejo sostenible de recursos naturales en tierras productivas</i>	
Recursos naturales renovables/ Producción Sostenible	1. Sin limitaciones 2. Algunas a severas limitaciones	1. Cultivos: anuales, permanentes, semipermanentes	<i>Zona 4 de recuperación con sistemas agroforestales simultáneos en asociación con cultivos perennes y anuales, en tierras productivas</i>	
Recursos naturales renovables/ Producción Sostenible	Algunas a severas limitaciones	1. Pastizales	<i>Zona 5 de manejo de pastizales con cercas vivas, en tierras productivas</i>	

Fuente: Ordenanza Metropolitana No. 0127, 2016; modificado por Parra, 2018

A continuación se detallan las acciones normativas establecidas para la Zonificación de áreas prioritarias para reforestación con Pacches. Estas se han establecido en función de la Ordenanza Metropolitana No. 0127 que establece el Plan de Uso y Ocupación del Suelo-DMQ, y regula el uso principal del suelo que es permitido dentro de los límites distritales:

➤ **Zona prioritaria 1 destinada a la restauración del paisaje intervenido de tipo agropecuario para protección y conservación**

Intervención y acciones normativas: zonas en donde prevalecen los conflictos hombre-fauna y la normativa metropolitana exige actividades de protección y restauración de la diversidad biológica, mediante la transformación progresiva a suelo forestal con especies nativas de *N. acutifolia* en asociación con otras especies arbóreas, para promover la dispersión de flora y fauna amenazada. Es mandatorio que en el mediano y largo plazo, estas zonas sean restringidas a conservación (e.g., manejo de recursos naturales) o protección estricta, para enlazar remanentes de bosque nativo. Es primordial realizar un análisis costo beneficio de las actuales actividades agropecuarias frente a futuros incentivos forestales otorgados por el estado a los propietarios y que está relacionado a captura de carbono con especies arbóreas (e.g. *N. acutifolia*). En el corto plazo, es necesario establecer educación, diálogo y concientización de los propietarios de tierras en donde los conflictos ponen en peligro la viabilidad de poblaciones de oso andino y toda la biodiversidad que depende de esta especie paraguas.

➤ **Zona 2 de recuperación de la cobertura vegetal para protección, destinada a la expansión de un sistema enlazado de hábitat**

Intervención y acciones normativas: zonas con diferente gradación de conflictos hombre-fauna, pero que, por la presencia de cobertura vegetal constituyen una fuente potencial de recuperación del paisaje con especies nativas de *N. acutifolia*. En el largo plazo, es mandatoria la protección estricta de estas áreas ya que la normativa metropolitana sitúa a estas áreas dentro de un uso de suelo destinado a protección del patrimonio natural, descartando cualquier aprovechamiento agroproductivo.

➤ **Zona 3 de recuperación y manejo sostenible de recursos naturales en tierras productivas**

Intervención y acciones normativas: zonas destinadas a aprovechar la sostenibilidad de la base de recursos naturales: vegetación arbustiva y herbácea. La normativa de uso del suelo permite introducir programas de forestación con actividades silvícolas sostenibles, para que en el mediano plazo se desarrollen programas de turismo ecológico fundamentados en conservación de especies amenazadas que involucren y apoyen a comunidades locales; así como, posibiliten

cosechar de manera sostenible los productos forestales no maderables (e.g., artesanías) provenientes de *N. acutifolia* en asociación con otras especies arbóreas. Los réditos económicos de especies maderables no deben ser un objetivo primordial, pues el Ordenamiento Forestal del DMQ, ha hecho mandatorio, en esta zona, sistemas de enriquecimiento cuyos fines específicos de conectividad recomiendan técnicas de conservación de suelos.

➤ **Zona 4 de recuperación con sistemas agroforestales simultáneos en asociación con cultivos perennes y anuales, en tierras productivas**

Intervención y acciones normativas: zonas con diferente gradación de conflictos hombre-fauna, pero que constituyen áreas agroproductivas que afectan directa e indirectamente la cobertura nativa que permite conectividad. Por ello, se requiere incluir un sistema que diversifique la producción y aumente la productividad, mediante interacciones con plantaciones arbóreas para evitar la degradación del suelo o vegetación existente. La asociación de árboles se intercala en franjas con cultivos anuales, mientras que, el componente arbóreo se reparte de manera homogénea junto a cultivos perennes. La aplicación de tales sistemas agroforestales fomenta zonas a manera de “stepping-stones” o caminos de paso para dirigir la conectividad hacia las áreas núcleo. La utilización de *N. acutifolia* como fuente de alimento para osos andinos pone en peligro la seguridad del mamífero, pues en esta zona existen cultivos a los cuales puede atacar, y con ello, la generación de nuevos conflictos.

➤ **Zona 5 de manejo de pastizales con cercas vivas, en tierras productivas**

Intervención y acciones normativas: zonas con prevalencia de pastizales destinados a ganadería, por lo que su interacción con individuos de oso andino no permite el solapamiento de uso de hábitat con la presencia de ganado. Comprende áreas con intensificación del conflicto hombre-fauna; en donde, la utilización de cercas vivas de especies arbóreas a los largo de pastizales protegen al ganado, y sirven como caminos de paso para conducir la conectividad hacia áreas núcleo. La utilización de *N. acutifolia* como fuente de alimento para osos andinos en esta zona resulta innecesaria, pues estudios de Castellanos y colaboradores (2016), señalan que el oso andino no comparte hábitat con el ganado; además, es posible el ataque de oso a ganado.

La conectividad que se ha logrado en función de la zonificación de áreas potenciales para reforestación, ha atendido los Lineamientos de gestión para la conectividad con fines de conservación (Registro Oficial No. 135, 2013). De tal manera, el Mapa No. 8: Zonificación de áreas prioritarias para reforestación con *N. acutifolia* y elementos estructurantes de conectividad y, señala la siguiente distribución de los componentes de conectividad en el área de estudio (ver Anexo 10):

Tabla 47. Zonificación de áreas prioritarias para reforestación con *N. acutifolia* y elementos estructurantes de conectividad en el Corredor Ecológico del Oso Andino

Elementos estructurantes de conectividad	Descripción	Superficie hectáreas	% Ocupación
Áreas núcleo	Reserva Geobotánica Pululahua	3.541,90	5,49%
	ACUS Yunguilla	2.607,46	4,04%
Nodos de conectividad	10 Bosques protectores	28.769,06	44,57%
	Bosques nativo sin estatus de protección	13.766,39	21,33%
Ruta de conectividad	Zonificación de áreas prioritarias para reforestación con Pacches		
	Zona prioritaria 1 destinada a la restauración del paisaje intervenido de tipo agropecuario, para protección y conservación	451,41	0,70%
	Zona prioritaria 2 destinada al manejo forestal diversificado y progresivo, como transición hacia un sistema de hábitat protegido	26,24	0,04%
	Zona 3 de recuperación de la cobertura vegetal para protección, destinada a la expansión de un sistema enlazado de hábitat	1.088,40	1,69%
	Zona 4 de recuperación y manejo sostenible de recursos naturales en tierras productivas	432,58	0,67%
	Zona 5 de recuperación con sistemas agroforestales simultáneos en asociación con cultivos perennes y anuales, en tierras productivas	1.126,10	1,74%
	Zona 6 de manejo de pastizales con cercas vivas, en tierras productivas	1.136,60	1,76%
Matriz de paisaje	Uso múltiple: agropecuario, urbano, entre otros. Áreas en donde las especies pueden encontrar una mayor tasa de mortalidad, expresar diferentes patrones de dispersión, cruzar barreras o fronteras, y demás.	11.607,86	17,98%
TOTAL		64.554,26	100%

Elaborado por: Paola Parra

4.5. PROPUESTA DE CATEGORÍAS DE USO DE SUELO RURAL PARA EL CORREDOR DEL OSO ANDINO EN FUNCIÓN DE CAPACIDAD DE ACOGIDA DEL TERRITORIO

4.5.1. Marco normativo de ordenamiento territorial y gestión ambiental: Ecuador y DMQ

4.5.1.1. Marco normativo de ordenamiento territorial y gestión ambiental

La Constitución de la República del 2008, en su artículo 241, señala que la planificación garantizará el ordenamiento territorial y será obligatoria en todos los gobiernos autónomos descentralizados. A su vez, el numeral 1 del artículo 264 de la carta magna, señala que los gobiernos municipales tendrán la competencia exclusiva de planificar el desarrollo cantonal y formular los correspondientes planes de ordenamiento territorial, con el fin de regular el uso y la ocupación del suelo urbano y rural. De manera complementaria, en la Constitución de la República del 2008, los artículos 409 y 410 señalan de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo para su protección y uso sustentable que prevenga degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión. En áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen especies nativas y adaptadas a la zona.

Por otro lado, el artículo 296 del Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD, 2010) establece que: "el ordenamiento territorial comprende un conjunto de políticas democráticas y participativas de los gobiernos autónomos descentralizados que permiten su apropiado desarrollo territorial, así como una concepción de la planificación con autonomía para la gestión territorial, que parte de lo local a lo regional en la interacción de planes que posibiliten la construcción de un proyecto nacional, basado en el reconocimiento y la valoración de la diversidad cultural y la proyección espacial de las políticas sociales, económicas y ambientales, proponiendo un nivel adecuado de bienestar a la población en donde prime la preservación del ambiente para las futuras generaciones". Además, en el artículo 10, se establece que el Estado ecuatoriano se organiza territorialmente a través de niveles de organización territorial: en regiones, provincias, cantones y parroquias rurales.

Frente a ello, el artículo 41 de la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del suelo (LOOTUGS, 2016) dispone que los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial son los instrumentos de planificación que contienen las directrices principales de los Gobiernos Autónomos Descentralizados respecto de las decisiones estratégicas de desarrollo y que permiten la gestión concertada y articulada del territorio. Además, los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial

tienen por objeto compatibilizar y armonizar las decisiones estratégicas de desarrollo respecto de los asentamientos humanos, las actividades económico-productivas y el manejo de los recursos naturales en función de las cualidades territoriales, a través de la definición de lineamientos para la materialización del modelo territorial de largo plazo, establecido por el nivel de gobierno respectivo.

El artículo 467 del COOTAD establece que: "Los planes de desarrollo y de ordenamiento territorial se expedirán mediante ordenanzas y entrarán en vigencia una vez publicados; podrán ser actualizados periódicamente, siendo obligatoria su actualización al inicio de cada gestión".

Los artículos 54, 55 y 84 del COOTAD determinan como una de las funciones de los gobiernos autónomos descentralizados (GAD's) municipales y metropolitanos, promover el desarrollo sustentable; así como, formular y ejecutar el plan cantonal de desarrollo, el de ordenamiento territorial y las políticas públicas de manera coordinada con la planificación nacional, regional, provincial y parroquial. El literal b) del artículo 55 señala que los GAD's municipales deben ejercer control sobre el uso y ocupación del suelo en el cantón o distrito metropolitano. Además, el literal b) del artículo 297 enfatiza que el ordenamiento territorial distrital y cantonal complementa los objetivos de planificación ambiental mediante la adopción de instrumentos y procedimientos de gestión y manejo del suelo.

El artículo 295 del COOTAD dispone que los gobiernos autónomos descentralizados, con la participación protagónica de la ciudadanía, planificarán estratégicamente su desarrollo con visión de largo plazo que permita ordenar la localización de las acciones públicas en función de las cualidades territoriales.

El artículo 136 del COOTAD señala como competencia de los GAD's parroquiales rurales promover actividades de preservación de la biodiversidad y protección del ambiente mediante programas y/o proyectos de manejo sustentable de los recursos naturales y recuperación de ecosistemas frágiles; forestación y reforestación con la utilización preferente de especies nativas y adaptadas a la zona; entre otras.

Finalmente, el artículo 13 de la Ley de Gestión Ambiental faculta a las municipalidades la delimitación, manejo y administración de áreas de conservación y reservas ecológicas. Así mismo, el artículo 28 dispone la realización del procedimiento de consulta previa para la pre-ejecución de delimitaciones de áreas de conservación y áreas protegidas.

4.5.1.2. *Planes de Uso y Gestión del Suelo*

De acuerdo a la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del suelo (LOOTUGS, 2016), en su artículo 27, los planes de desarrollo y ordenamiento territorial de los Gobiernos Autónomos Descentralizados municipal o metropolitano deben contener un plan de uso y gestión de suelo. Complementariamente, el artículo 17, señala que en los planes de uso y gestión de suelo, todo el suelo se clasificará en urbano y rural en consideración a sus características actuales; en donde, la clasificación del suelo es independiente de la asignación político-administrativa de la parroquia como urbana o rural. Los Planes de Uso y Gestión del Suelo no podrán modificar y son complementarios a los planes de desarrollo y ordenamiento territorial. Los planes complementarios son instrumentos de planificación de los niveles de gobierno regional, provincial, municipal y metropolitano, que tienen por objeto detallar, completar y desarrollar específicamente lo establecido en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial. Al igual que los planes de desarrollo y ordenamiento territorial, estos son los instrumentos para el ordenamiento territorial aprobados por los respectivos Gobiernos Autónomos Descentralizados y los regímenes especiales en el ámbito de sus competencias (Registro Oficial No. 790, 2016).

4.5.1.3. *Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre*

En el presente estudio, la propuesta de áreas potenciales para reforestación encuentra un punto importante en la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre, sección tercera, respecto al impuesto a predios rurales. Es así que, en su artículo 250, literal f) indica que entre los predios y bienes exentos del presente impuesto figuran los terrenos que posean y mantengan bosques primarios o que reforesten con plantas nativas en zonas de vocación forestal. Además, el literal h) también incluye a las propiedades que sean explotadas en forma colectiva y pertenezcan al sector de la economía solidaria y las que utilicen tecnologías agroecológicas (Registro Oficial Suplemento No.418, 2004).

Además, la Ley forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre en su capítulo III, artículo 6 señala que los Bosques y Vegetación Protectores son aquellas formaciones vegetales que cumplen los siguientes requisitos:

- a) Tener como función principal la conservación del suelo y la vida silvestre;
- b) Estar situados en áreas que permitan controlar fenómenos pluviales torrenciales o la preservación de cuencas hidrográficas, especialmente en las zonas de escasa precipitación pluvial;
- c) Ocupar cejas de montaña o áreas contiguas a las fuentes, corrientes o depósitos de agua;

- d) Constituir cortinas rompevientos o de protección del equilibrio del medio ambiente;
- e) Hallarse en áreas de investigación hidrológico - forestal;
- f) Estar localizados en zonas estratégicas para la defensa nacional; y,
- g) Constituir factor de defensa de los recursos naturales y de obras de infraestructura de interés público.

Dentro de esta misma ley, su capítulo IV, artículo 9, señala que las Tierras Forestales y los Bosques de Propiedad Privada son aquellas tierras que por sus condiciones naturales, ubicación, o por no ser aptas para la explotación agropecuaria, deben ser destinadas al cultivo de especies maderables y arbustivas, a la conservación de la vegetación protectora e inclusive la herbácea. Es importante que las tierras exclusivamente forestales o de aptitud forestal de dominio privado que carezcan de bosques sean obligatoriamente reforestadas, estableciendo bosques protectores o productores.

A su vez, el capítulo V, artículo 13, indica que es obligación e interés público la forestación y reforestación de las tierras de aptitud forestal, tomando en cuenta el Plan Nacional de Forestación y Reforestación, cuya planificación forestal se someterá al mapa de uso actual y potencial de los suelos.

Las modalidades para proceder a la forestación y reforestación en tierras del Estado es el siguiente, según el artículo 15 de la ley en mención:

- Por administración directa o mediante convenios con organismos de desarrollo u otras entidades o empresas del sector público;
- Mediante la participación social que se determine en el respectivo reglamento;
- Por contrato con personas naturales o jurídicas forestadoras, con experiencia en esta clase de trabajo;
- Por medio de la conscripción militar;
- Mediante convenio con inversionistas que deseen aportar capitales y tecnología; y,
- Con la participación de estudiantes.

Sin embargo, el artículo 16 señala que en tierras de propiedad privada se podría realizar por cuenta del propietario; también se puede prestar apoyo a las cooperativas, comunas y demás organizaciones constituidas por agricultores directos y la conformación de empresas de economía mixta o privadas.

La administración y aprovechamiento forestal establece la siguiente clasificación de los bosques:

- Bosques estatales de producción permanente;
- Bosques privados de producción permanente;
- Bosques protectores; y,

- Bosques y áreas especiales o experimentales

El capítulo IX de la ley en mención, señala que el incentivo económico para la forestación y reforestación con fines comerciales se fundamenta en una transferencia económica directa de carácter no reembolsable que entrega el Estado ecuatoriano para el para el establecimiento y mantenimiento de la plantación forestal. Sin embargo, bajo ningún concepto se entregará el incentivo forestal cuando se encuentren en:

- Ecosistemas frágiles;
- Áreas protegidas;
- Zonas de protección permanente; y,
- Áreas que reciban otro tipo de incentivo.

La propuesta de reforestación y de categorías de ordenamiento territorial, señaladas en el presente estudio, también han considerado la existencia de la Reserva Geobotánica Pululahua dentro de los límites del Corredor del Oso Andino. Según la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre, en su artículo 66, la R.G. Pululahua pertenece al patrimonio de áreas naturales del Estado (PANE), las cuales destacan por su valor protector, científico, escénico, educacional, turístico, recreacional, por su flora y fauna, o porque constituyen ecosistemas que contribuyen a mantener el equilibrio del medio ambiente. Por tal motivo el PANE deberá conservarse inalterado sin tener tierras y recursos naturales de propiedad privada, en donde se controla el ingreso del público y sus actividades, incluyendo la investigación científica. Las áreas del PANE son:

- Parques nacionales;
- Reserva ecológica;
- Refugio de vida silvestre;
- Reservas biológicas;
- Áreas nacionales de recreación;
- Reserva de producción de fauna; y,
- Área de caza y pesca.

Conforme la Resolución No. 007-CNC-2012 del Consejo Nacional de Competencias del 30 de mayo del 2012 se estableció que el MAE mantiene la rectoría de la competencia de reforestación con fines de protección y conservación; sin embargo, la gestión de los proyectos se realiza de manera concurrente entre el MAE y los GADs (provinciales y juntas parroquiales). Para este fin se ha establecido que el MAE firmará convenios directos con los GAD's.

Por otro lado, el Plan Nacional de Restauración Forestal considera como criterio para priorizar la implementación de acciones de Restauración Forestal a los corredores biológicos, los cuales son áreas que presentan una conectividad importante la conservación de la biodiversidad; así como zonas de protección de recurso hídrico, evitar deslizamientos y zonas de amortiguamiento del Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE). Además para la selección de sitios para restauración realizada a nivel nacional, tanto MAE (e.g., reforestación con fines de conservación) como MAGAP (e.g., reforestación con fines comerciales) consideraron los siguientes criterios:

Tabla 48. Comparación de criterios MAE y MAGAP para selección de sitios de reforestación

	Criterios MAE	Criterios MAGAP
Inclusión	Mosaico agropecuario	Mosaico agropecuario
	Pastizal	Pastizal
	Zona de amortiguamiento (2km PANE)	Precipitación >500 mm
	Servidumbres de los ríos	Zonas de erosión ligera y moderada
	Pendientes < 50°	
Exclusión	Bosque	Zona de amortiguamiento
	Páramo	Bosque nativo
	Vegetación arbustiva	Páramo
	Vegetación herbácea	Vegetación arbustiva
	Altitud > 3.500 msnm y 3.000 msnm	Vegetación herbácea
		Altitud > 3.500 msnm y 3.000 msnm
	PANE	PANE
	Socio bosque	Socio bosque
	Cultivos anuales	Cultivos anuales
	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes
	Cultivos semipermanentes	Cultivos semipermanentes
		Pendientes > 50°

Fuente: MAE, 2014b

Por su parte existe el Programa Socio Bosque, lanzado por el Ministerio del Medio Ambiente en setiembre de 2008 y se fundamenta en incentivos económicos a los campesinos y comunidades indígenas que se comprometen voluntariamente por veinte años a conservar sus bosques nativos, páramos y otra vegetación nativa. Las personas solicitantes deben contar con el título de propiedad del predio y reciben 30 dólares por hectárea al año (Gálmez & Kómetter, 2009).

4.5.1.4. Marco normativo municipal

A. Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial DMQ 2015-2025

Mediante Ordenanza Metropolitana No. 00041, sancionada el 26 de marzo del 2015, se aprueba el Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial (PMOT) del Distrito Metropolitano de Quito (Registro Oficial Suplemento No.467, 2015), la cual fue reformada mediante Ordenanza Metropolitana No. 0127, de 25 de julio del 2016, y en donde se establece el nuevo Plan de Uso y Ocupación de Suelo. Éste recoge cambios en el uso de suelo y zonificación debido a la dinámica urbana, asentamientos humanos, vulnerabilidad y la propiedad de la tierra rural.

Además, en cumplimiento del artículo 29 del COPFP y el 300 del COOTAD, el Consejo Metropolitano de Planificación, entidad creada mediante la Ordenanza Metropolitana No. 123, emitió con fecha 4 de febrero de 2015 una resolución favorable sobre las prioridades estratégicas de desarrollo, como requisito indispensable para la aprobación de los planes de desarrollo y ordenamiento territorial.

El Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Distrito Metropolitano de Quito (PMOT-DMQ) tiene por objeto ordenar, compatibilizar y armonizar las decisiones relacionadas con el desarrollo sostenible social, económico-productivo, ambiental y territorial. El Plan se implementa a través del ejercicio de las competencias asignadas por la Constitución de la República y la ley, así como aquellas transferidas como resultado del proceso de descentralización. Contiene las directrices estratégicas de desarrollo, con una visión de corto, mediano y largo plazo; y, determina la forma de organización del territorio para el logro del desarrollo sostenible; incorpora la movilidad como elemento articulador entre el desarrollo y territorio (Registro Oficial Suplemento No.467, 2015).

El *PMDOT-DMQ 2015-2025* contiene:

- Principios de la planificación metropolitana del desarrollo y del ordenamiento territorial e identificación de Ejes Estratégicos;
- Diagnóstico general estratégico del Distrito Metropolitano de Quito;
- Propuesta del componente estratégico de desarrollo y ordenamiento territorial; y,
- Plan de Uso y Ocupación del Suelo (PUOS) y su Anexo: Cuadro General de Usos y Actividades PUOS-CIIU nivel 7.

Se declaran de interés público o social todas las actividades y operaciones orientadas al desarrollo sostenible y al ordenamiento, planificación y gestión del territorio del Distrito Metropolitano de Quito, previstas en el Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Distrito Metropolitano de Quito 2015-2025.

B. Plan de Uso y Ocupación del Suelo (PUOS-DMQ)

Por su parte, el Plan de Uso y Ocupación del Suelo (PUOS) es un instrumento de regulación metropolitana que forma parte del PMDOT, cuyo objetivo, de acuerdo a la Ordenanza Metropolitana del Régimen de Suelo, es estructurar la admisibilidad de usos y edificación mediante la fijación de parámetros y normas específicas para el uso, ocupación, y habitabilidad del suelo. Tiene vigencia de cinco años y considera la clasificación del suelo en urbano y rural. Tal como lo señala la LOOTUGS (2016), los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de los GAD's municipales y metropolitanos deben contener un plan de uso y gestión del suelo, que es instrumento de ordenamiento territorial complementario al plan de desarrollo y ordenamiento territorial (Ordenanza Metropolitana No. 0127, 2016; Registro Oficial No. 790, 2016).

Es importante considerar que, dentro del Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Distrito Metropolitano de Quito 2015-2025 se propone el “Modelo de Ordenamiento Territorial”, cuyo objetivo es organizar el suelo de manera transversal incorporando el funcionamiento territorial urbano y rural y su dinamismo, producto de la convergencia de asentamiento humanos, zonas productivas agrícolas, patrimonio natural y cultural en el marco de condiciones sostenibles. Por ello, el Modelo Territorial ha considerado tres criterios estructuradores (Registro Oficial Suplemento No.467, 2015):

- *Visión de sostenibilidad integral del DMQ*: entendida como el eje articulador de los componentes sectoriales y territoriales que fortalecen el sistema de centralidades y subcentralidades para la dotación de equipamientos que creen condiciones de equidad en todo el territorio.
- *Estructura vial principal*: la cual organiza el territorio permitiendo la conectividad para impulsar el sistema vial local menor.
- *Admisibilidad de usos y edificabilidad del suelo*: esta determinación se logra mediante asignaciones de usos del suelo en función de actividades principales existentes en el territorio. Además, la edificabilidad y forma de ocupación del suelo se refiere a la ocupación porcentual máxima de construcción o subdivisión del suelo que tiene un lote de terreno.

Para el establecimiento de categorías de uso de suelo rural en el Corredor del Oso Andino, ha sido fundamental la admisibilidad de usos del suelo que estipula el PUOS-DMQ, el cual señala asignaciones de uso de suelo urbano y rural, atendiendo al último criterio estructurador del Modelo Territorial del PMDOT-DMQ 2015-2025. El PUOS-DMQ considera la clasificación del suelo en urbano y rural, y realiza asignaciones de Usos del Suelo que permiten el funcionamiento equilibrado del territorio y el adecuado reparto de cargas, bajo dos denominaciones:

- *Usos principales:* residencial, agrícola residencial, múltiples, área patrimonial, industrial, equipamiento, protección ecológica/ conservación del Patrimonio Natural, recurso natural renovable/producción sostenible, recurso natural no renovable;
- *Actividades complementarias:* comercios y servicios

En el presente estudio, interesa la clasificación de suelo en urbano y rural; a pesar de que, la división político-administrativa del DMQ clasifica a las parroquias en urbanas y rurales. Esta última división es independiente de la delimitación de áreas urbanas y rurales dentro de cada circunscripción parroquial. De tal manera, en el Corredor Ecológico del Oso Andino recaen ambas clases de suelo urbano y rural, a pesar de que el área de estudio compromete parroquias rurales del DMQ. Frente a esta consideración, el suelo rural es definido por el PUOS como “una extensión territorial ubicada fuera del área urbana, cuya aptitud presenta condiciones biofísicas y ambientales enfocadas en producción agrícola, pecuaria, forestal, silvícola o acuícola, y otras actividades sean estas: productivas, recreativas, ecoturísticas, de conservación o protección, y de uso residencial bajo modalidad específica”. Además, el PUOS señala que el suelo urbano es aquel ocupado por asentamiento humanos consolidados y emplazados dentro de un límite territorial, el cual a su vez, cuenta con redes viales y una dotación de infraestructura que brinda servicios continuos e interrelacionados con equipamientos y espacios públicos y privados. (Ordenanza Metropolitana No. 0127, 2016)

Finalmente dentro del suelo rural y urbano, el PUOS-DMQ realiza asignaciones de usos principales del suelo, y actividades complementarias de comercio y servicios compatibles. En la presente investigación, el Corredor Ecológico del Oso Andino posee los siguientes usos principales del suelo:

Tabla 49. Usos Principales del Suelo según el PUOS-DMQ en el Corredor del Oso Andino

PUOS-DMQ: Usos Principales del suelo			
Clasificación Suelo	Uso Principal	Descripción del uso principal	Usos/actividades/ establecimientos
Rural	Agrícola Residencial	Uso agrícola residencial en suelo rural: son áreas con lotes de superficie menor a 5.000 m ² , con baja densidad donde existen viviendas dispersas y actividades agrícolas, pecuarias, y pesca de producción para consumo local.	Vivienda compartida con usos agrícolas-pecuarios, forestales o piscícolas. Se excluyen actividades de faenamiento con fines comerciales.
	Protección Ecológica	Uso protección ecológica/conservación del Patrimonio Natural: Comprende el uso destinado a la conservación con actividades de protección y restauración de la diversidad biológica que constituye: flora, fauna, ecosistemas, quebradas y servicios ambientales asociados.	Comprende categorías de manejo de unidades de conservación dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador (SNAP), y del Patrimonio Natural Distrital; así como, bosques protectores manejados por el MAE. En este uso se permitirá construir una vivienda por predio de hasta 300 m ²
	Recursos Naturales No Renovables	Uso recursos naturales no renovables para actividad minera: aquel uso dedicado a la exploración y explotación del subsuelo para la extracción y transformación de los materiales y minerales para la industria artesanal y la construcción.	Extracción de minerales metálicos y no metálicos como insumos para la industria de la construcción o las artesanías (canteras).
	Recursos Naturales Renovables/	Uso recursos naturales renovables: comprende áreas cuya aptitud presenta condiciones biofísicas y ambientales para ser utilizada en producción agrícola, pecuaria, forestal, silvícola o acuícola, actividades recreativas ecoturísticas, de conservación o de protección agraria, y otras actividades productivas. Las siguientes actividades se admiten:	Sistemas agropecuarios sostenibles: buscan la optimización de los sistemas agroforestales, y silvo-pastoriles para disminuir presiones a los recursos naturales; y asegurar desarrollo de la población sin deterioro ambiental. Generación de actividades que protejan e incrementen la calidad y cantidad de remanentes de vegetación nativa, protección de fuentes de agua.
	Producción Sostenible	Recreativas, ecoturísticas, de conservación o protección agraria. Investigación de procesos de sostenibilidad, resiliencia y captura de carbono. Se prohíbe agricultura, labranza y plantaciones forestales sobre los 3.600 msnm, en la que se permiten actividades afines a la conservación. No se permite e incremento de superficie de monocultivos en detrimento de relictos de vegetación nativa (pastizales, café cacao, caña de azúcar, frutales, palmito, palma africana y otros).	Sistemas forestales sostenibles (silvícola): establecimiento de plantaciones forestales con especies nativas y no nativas con fines de transformación y comercialización, recuperación de calidad del suelo, estabilización de taludes, control de deslizamientos y mejoramiento del paisaje. Además se busca el enriquecimiento de la cobertura vegetal.

PUOS-DMQ: Usos Principales del suelo (continuación)			
Clasificación Suelo	Uso Principal	Descripción del uso principal	Usos/actividades/ establecimientos
Urbano	Equipamiento	Uso equipamiento deportivo zonal: destinado a implantación de actividades que satisfacen las necesidades de desarrollo social de los ciudadanos y que por su radio de influencia es de tipo zonal. Es de recreación y deporte ya que corresponde a las áreas, edificaciones y dotaciones destinadas a la práctica del ejercicio físico, de alto rendimiento, y por los espacios verdes de uso colectivo que actúan como reguladores del equilibrio ambiental; y,	Parque zonal. Centros recreativos y/o deportivos públicos y privados, karting, galleras.
	Múltiple	Uso múltiple: aquel asignado a los lotes con frente a ciertos ejes viales y áreas ubicadas en centralidades en las que se puede implantar y desarrollar actividades residenciales, comerciales, de servicios y equipamientos, así como industrias de bajo impacto	El uso residencial en áreas de uso múltiple no tiene restricciones de proporcionalidad con respecto a otros usos
	Residencial 1	Uso residencial: aquel que tiene como actividad principal la vivienda y en el que se permite el desarrollo de equipamiento y actividades complementarias de comercio y servicios compatibles	Zonas de uso residencial en las que se permite la presencia limitada de comercios y servicios de nivel barrial y equipamientos barriales y sectoriales
	Residencial 3		Zonas de uso residencial en las que se permite comercios, servicios y equipamientos de nivel barrial, sectorial, zonal y metropolitano así como industrias de bajo impacto.

Fuente: Ordenanza Metropolitana No. 0127; recopilado por Parra, 2018

Por otro lado, el “Uso Principal de Suelo” de tipo “Protección Ecológica/Conservación del Patrimonio Natural” ha merecido especial relevancia en la presente investigación por ser el mayor cobertura de uso presenta en el Corredor del Oso Andino. Este tipo de uso comprende actividades de protección y restauración de la diversidad biológica: flora, fauna, ecosistemas, servicios ambientales y otros. Adicionalmente, comprende las categorías o unidades de conservación y planificación detalladas en la Tabla 50, cada una de las cuales admite usos del suelo estipulados en los Planes de Manejo Ambiental de la unidad respectiva:

Tabla 50. Uso Principal de suelo de Protección Ecológica/Conservación del Patrimonio Natural

Categoría/ Manejo	Unidades de Planificación y Manejo Ambiental	Usos/Actividades
<p>Patrimonio Natural Estatal:</p> <p>Usos estipulados por la autoridad Ambiental Nacional (MAE), de acuerdo a objetivos de conservación y manejo descritos en los planes de manejo de cada unidad de conservación</p>	<p>Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE)</p>	<p>Áreas protegidas a oficialmente declaradas por el Ministerio del Ambiente a nivel Nacional, que se destacan por su valor protector, científico, escénico, educacional, turístico y recreacional. Son administradas por el MAE o mediante convenios de co-manejo con otras organizaciones locales</p>
	<p>Bosques Protectores manejados por el MAE ubicados dentro del DMQ</p>	<p>Formaciones vegetales, naturales o cultivadas, que tengan como función principal la conservación del suelo y la vida silvestre; están situados en áreas que permitan controlar fenómenos pluviales torrenciales o la preservación de cuencas hidrográficas, especialmente en las zonas de escasa precipitación pluvial. Ocupan cejas de montaña o áreas contiguas a las fuentes o depósitos de agua. Constituyen cortinas rompevientos o de protección del equilibrio del ambiente. Están localizados en zonas estratégicas y de interés nacional.</p>
<p>Patrimonio Natural Distrital-DMQ:</p> <p>Predominan los componentes naturales sobre componentes transformados por acciones antrópicas. Los usos son los estipulados por el Distrito Metropolitano de Quito, de acuerdo a las ordenanzas y planes de manejo respectivo.</p>	<p>Santuarios de Vida Silvestre</p>	<p>Áreas con atributos sobresalientes de biodiversidad e intangibilidad patrimonial, sujetas a alta protección y restricciones de uso.</p>
	<p>Áreas de protección de humedales (APH)</p>	<p>Áreas que constituyen fuentes de agua como: arroyos, ciénagas, ojos de agua, manantiales, bofedales, pantanos, glaciares, así como sus ecosistemas asociados aportantes o estabilizadores de cuencas hidrográficas y del ciclo hídrico en general, los cuales son esenciales para la estabilización ambiental, reproducción o de importancia temporal para aves migratorias y de uso recreacional;</p>
	<p>Áreas de Conservación y Uso Sustentable (ACUS)</p>	<p>Áreas que incluyen una zona núcleo de protección estricta, una zona de recuperación y una de uso sustentable. El área permitirá la adopción de prácticas de conservación, uso y manejo sustentable de ecosistemas y recursos naturales, de desarrollo agroforestal sostenible, de manera que estas aporten al mantenimiento de la viabilidad ecológica, así como a la provisión de bienes y servicios ambientales para las comunidades involucradas. En algunos casos, protegerá muestras significativas del patrimonio cultural.</p>
	<p>Áreas de Intervención Especial y Recuperación (AIER)</p>	<p>Áreas de propiedad pública, privada o comunitaria que por sus condiciones biofísicas y socioeconómicas, previenen desastres naturales, tienen connotaciones histórico-culturales, disminuyen la presión hacia las Áreas de Conservación, posibilitan o permiten la funcionalidad, integridad y conectividad con la Red de Áreas Protegidas y la Red Verde Urbana (corredores verdes) y constituyen referentes para la ciudad. Por sus características deben ser objeto de un manejo especial.</p>

Fuente: Ordenanza Metropolitana No. 0127, 2016; recopilado por Parra, 2018

En el Corredor Ecológico del Oso Andino únicamente existe una categoría de manejo perteneciente al PANE y es la Reserva Geobotánica Pululahua. Por su parte, también existe una sola categoría perteneciente al Uso de Suelo de Patrimonio Natural Distrital y es el Área de Conservación y Uso Sustentable (ACUS) “Yunguilla”.

C. Otros documentos relativos al ordenamiento territorial y forestal en el DMQ

La Ordenanza Metropolitana No.213 del DMQ establece el Subsistema Metropolitano de Áreas Naturales Protegidas (SMAP) que protegen el 31% del DMQ, y dentro del Corredor del Oso Andino solo recae el ACUS Yunguilla (ver sección 2.1.2). Por otro lado, dentro del PMDOT 2015-2015, el objetivo 5 de la Estrategia Quiteña al Cambio Climático, señala la conservación de ecosistemas, gestión integral de recursos hídricos y mejoramiento de los sistemas de producción rural.

De manera específica, la Secretaría de Ambiente del DMQ desarrolló en el 2013 el Modelo de Gestión Forestal, en donde se estipula como Visión : “el Municipio de Distrito Metropolitano de Quito lidera la gestión forestal aplicando un modelo de gestión que prioriza la conservación del bosque nativo, impulsando plantaciones forestales y apoyando la forestería social, basado en un ordenamiento territorial sostenible, promoviendo la corresponsabilidad, la participación social y contribuyendo a construir el Quito del buen vivir”. El Modelo de Gestión Forestal establece como su primera estrategia “establecer la ordenación forestal como marco conceptual para realizar el manejo forestal sostenible” (Hernández & Arsiniegas, 2015).

Hernández y Arsiniegas (2015) definen al Ordenamiento Forestal como la determinación de zonas homogéneas de similares características físicas y bióticas, en la cual se integran criterios de vocación y potencialidad de uso. En el DMQ se establecieron cuatro zonas y una zona productiva sin intervención:

- **Sistema agropecuario productivo:** Estas áreas corresponden a sistemas productivos agrícolas y pecuarias de características empresariales, mercantiles y combinadas, donde existe inversiones en tecnología, equipamiento y contratación de mano de obra, para lo cual no han sido consideradas como áreas forestales y por ende no se intervienen.
- **Sistema Agroforestal:** Es el sistema a través del cual se combina la actividad agrícola con plantación de árboles a manera integrada en una mezcla espacial. Constituyen áreas agroproductivas cuya intervención afecta directa e indirectamente la cobertura nativa, por lo que requiere ser complementadas con cultivos arbóreos para evitar la degradación del suelo o vegetación existente.

- **Sistema Silvo-pastoril:** Este sistema implica el uso del suelo combinando la actividad ganadera con la plantación de árboles que benefician la producción de ganado. Se presentan en zonas de pastoreo que muestran poca capacidad de carga animal por lo que se debe apoyar la introducción de árboles, preferiblemente de la familia de las leguminosas, los cuales pueden servir de alimento al ganado y aportar nitrógeno al suelo.
- **Sistema Enriquecimiento:** Es el conjunto de actividades que conllevan a **recuperar la cobertura vegetal, principalmente con árboles**. Son zonas en las que existen plantaciones forestales o donde la vegetación arbórea o arbustiva es deficiente y no protege el suelo en forma adecuada, generalmente está en fase de recuperación natural. Por tanto se puede mejorar con plantaciones principalmente con especies nativas con fines específicos. En esta zona se recomiendan técnicas de conservación de suelos y/o técnicas de cultivos apropiados para evitar, principalmente, la erosión hídrica.
- **Sistema Conservación:** Son las actividades de protección, rehabilitación, conservación, fomento y aprovechamiento racional de los recursos naturales renovables, de acuerdo con principios y técnicas que garanticen su uso actual y permanente. Se trata de zonas que tienen una cobertura vegetal adecuada a su situación, por lo que el suelo no es susceptible a la lixiviación de la capa fértil ya que el escurrimiento superficial y subsuperficial es lento. Las fuentes de agua están en la misma situación y el objetivo en este sistema es la mantención y manejo de la vegetación. Estas zonas pueden dividirse a su vez **en áreas de protección estricta (sin manejo)** o misma conservación que implica realizar un manejo forestal sostenible.

4.5.2. Revisión de instrumentos de gestión del uso, ocupación del suelo y lineamientos de conectividad del Corredor Ecológico del Oso Andino

4.5.2.1. Importancia de la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo (LOOTUGS, 2016)

El objeto de la LOOTUGS (2016) es fijar los principios y reglas generales que rigen el ejercicio de las competencias de ordenamiento territorial, uso y gestión del suelo urbano y rural en concordancia con las competencias de los diferentes niveles de gobierno. Frente a ello, el artículo 10, numeral 3 de la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo (Registro Oficial No. 790, 2016) establece que el principal objetivo del Ordenamiento Territorial es la regulación de intervenciones en el territorio mediante normas que orienten tanto la formulación como la ejecución de políticas públicas. Para conseguir este objetivo se debe planificar el ordenamiento territorial en los diferentes niveles de gobierno de manera obligatoria y tomar en consideración a los Planes de

Desarrollo y Ordenamiento Territorial como instrumentos de ordenamiento territorial, para el nivel municipal y metropolitano en el caso del Corredor Ecológico del Oso Andino. En vista de la obligatoriedad de la Planificación del Ordenamiento Territorial, los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD's) municipales y metropolitanos adquieren la competencia en materia de ordenamiento territorial que consiste en *clasificar el suelo rural y urbano*, y definir su uso y gestión. Con el fin de definir el uso y gestión del suelo, la LOOTUGS en su artículo 91, numeral 3, cita que “los GAD Municipales y Metropolitanos asignarán tratamientos urbanísticos, usos y obligaciones correspondientes sobre el suelo rural, para emitir las políticas locales en lo relativo al ordenamiento territorial, y al uso y gestión del suelo” (Registro Oficial No. 790, 2016).

De acuerdo al artículo 11, las decisiones de ordenamiento territorial, de uso y ocupación del suelo del nivel de gobierno metropolitano y municipal racionalizan las intervenciones en el territorio de los otros niveles de gobierno: regional, provincial y parroquial rural. Por tal motivo, el establecimiento de categorías de uso de suelo rural en el Corredor Ecológico del Oso Andino-DMQ ha considerado el nivel de gobierno metropolitano y las categorías de uso y gestión del suelo que estipula el PUOS-DMQ.

4.5.2.2. Polígonos de intervención territorial y tratamientos urbanísticos de suelo urbano y rural previstos en la LOOTUGS

El artículo 40 de la LOOTUGS (2016) establece que los tratamientos urbanísticos y los polígonos de intervención territorial son instrumentos de planeamiento del suelo, los cuales direccionan la generación y aplicación de la normativa urbanística. Por un lado, “polígonos de intervención territorial” son *áreas urbanas o rurales* sobre las que se aplican los “tratamientos urbanísticos de suelo urbano y rural, y se definen a partir de características homogéneas y la capacidad de soporte del territorio”. Además, los “tratamientos urbanísticos” son disposiciones o “reglas de decisión” que orientan las estrategias de planeamiento urbanístico del suelo urbano y rural dentro de un polígono de intervención territorial (Registro Oficial No.790. LOOTUGS, 2016).

El artículo 4, numeral 15 de la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo menciona los siguientes tratamientos urbanísticos (Registro Oficial No. 790, 2016):

- **Tratamiento de conservación:** aplicado a zonas rurales con alto valor histórico, cultural, paisajístico, ambiental o agrícola para acciones de conservación de sus características de conformidad con la Legislación Ambiental o Patrimonial.

- **Tratamiento de desarrollo:** se aplica al suelo rural de expansión urbana que no presenta procesos previos de urbanización y que puede ser incorporado a la estructura urbana una vez implementados los servicios públicos de soporte necesarios.
- **Tratamiento de mitigación:** aplicado a zonas rurales de aprovechamiento extractivo donde se necesitan medidas preventivas frente a impactos generados.
- **Tratamiento de promoción productiva:** aplicado a zonas rurales de producción para potencializar y promover desarrollo agropecuario, acuícola, forestal y turismo, priorizando actividades que garanticen soberanía alimentaria.
- **Tratamiento de recuperación:** se aplica a zonas rurales de aprovechamiento productivo/extractivo que han sufrido deterioro ambiental/paisajístico, cuya recuperación es necesaria para mantener equilibrio de ecosistemas naturales.

4.5.2.3. Clasificación del Uso del Suelo Rural según la LOOTUGS

La base sobre la cual los polígonos de intervención se generan es la clasificación del suelo. El artículo 19 de la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo (Registro Oficial No.790, LOOTUGS 2016), menciona que “los Planes de Uso y Gestión” establecerán subclasificaciones de suelo rural”:

De tal manera, el artículo 19 establece que el suelo rural es el destinado principalmente a actividades agroproductivas, extractivas o forestales, o el que por sus especiales características biofísicas o geográficas deber ser protegido o reservado para futuros usos urbanos. Para el suelo rural se establece la siguiente subclasificación:

- **Suelo rural de Producción:** es el suelo destinado a actividades agropecuarias, acuícolas, forestales y de aprovechamiento turístico, respetuosas con el medio ambiente y que tiene restricción de construcción y fraccionamiento.
- **Suelo rural aprovechamiento extractivo:** suelo rural destinado para actividades extractivas de recursos naturales no renovables, garantizando derechos de la naturaleza.
- **Suelo rural de expansión urbana:** suelo rural con posibilidad de habilitarse para su uso urbano, es siempre colindante del suelo urbano del cantón o distrito metropolitano y se define de conformidad con el plan de uso y gestión del suelo. El suelo rural de expansión urbana será siempre colindante con el suelo urbano del cantón o distrito metropolitano.
- **Suelo rural de protección:** presenta factores de riesgo y merece medidas de protección específicas. Se define de conformidad con la legislación nacional aplicable y se restringe la construcción y el fraccionamiento.

La siguiente tabla relaciona los tratamientos de acuerdo a la clasificación del suelo rural de la siguiente manera:

Tabla 51. *Asignación de tratamientos urbanísticos según la clasificación del suelo rural expuestos en la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo*

Clasificación de uso del suelo rural	Tratamientos urbanísticos de suelo rural
Suelo rural de producción	De Promoción Productiva, de Recuperación o de Mitigación
Suelo rural de aprovechamiento extractivo	De Promoción productiva, de Recuperación o de Mitigación
Suelo rural de expansión urbana	De Desarrollo
Suelo rural de protección	De Conservación
	De Recuperación

Fuente: LOOTUGS, 2016; recopilado por Parra, 2018

4.5.2.4. *Comparación entre Asignaciones de Uso del Suelo del PUOS-DMQ y*

Tratamientos urbanísticos en el Corredor del Oso Andino

El Mapa de Uso Principal del Suelo de la “Ordenanza Metropolitana modificadora de la Ordenanza 0041 del Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del DMQ (Ordenanza Metropolitana No. 0127, 2016) señala los usos de suelo principal que el Plan de Uso y Ocupación del Suelo (PUOS-DMQ) ha designado para la presente área de estudio, siendo los siguientes:

- Uso protección ecológica/conservación del Patrimonio Natural
- Uso recursos naturales renovables
- Uso recursos naturales no renovables para actividad minera
- Uso agrícola residencial en suelo rural
- Uso residencial 3
- Uso residencial 1
- Uso múltiple
- Uso equipamiento deportivo zonal

Tabla 52. Comparación de Usos Principales del Suelo del PUOS-DMQ con la LOOTUGS, 2016

Uso Principal del Suelo en el Corredor del Oso Andino según PUOS-DMQ	Clasificación de uso del suelo rural de la LOOTUGS, 2016	Tratamiento Urbanístico de suelo rural según la LOOTUGS, 2016
➤ Uso protección ecológica/conservación del Patrimonio Natural	Suelo rural de Protección	De Conservación
		De Recuperación
➤ Uso de recursos naturales renovables	Suelo rural de Producción	De Promoción productiva
		De Recuperación
		De Mitigación
➤ Uso recursos naturales no renovables para actividad minera	Suelo rural de Aprovechamiento extractivo	De Promoción productiva,
		De Recuperación
		De Mitigación
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Uso agrícola residencial en suelo rural ➤ Uso residencial 3 ➤ Uso residencial 1 ➤ Uso múltiple ➤ Uso equipamiento deportivo zonal 	Suelo rural de Expansión urbana	De Desarrollo

Fuente: Ordenanza Metropolitana No. 0127, 2016; Registro Oficial No. 790: LOOTUGS, 2016; modificado por Parra, 2018

4.5.2.5. Compatibilidad de los Usos de Suelo en el Corredor del Oso Andino

Los usos del suelo identificados en el territorio y que se estipulan en el PUOS-DMQ establecen la posibilidad de implantar actividades complementarias en las zonas con usos principales; a través de un mecanismo de compatibilidad que señala si una actividad es permitida o prohibida de implantarse. La compatibilidad de Usos del Suelo Principal existentes en el Corredor del Oso Andino que reconoce el ordenamiento jurídico metropolitano se señala en la siguiente tabla:

Tabla 53. Compatibilidad de Usos Principales del Suelo del PUOS-DMQ

Clasificación Suelo	Uso Principal	Uso permitido	Uso prohibido
Rural	Agrícola Residencial	<ul style="list-style-type: none"> • Protección ecológica/conservación del Patrimonio Natural • Recursos Naturales Renovables/Producción Sostenible 	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos Naturales No Renovables • Equipamiento
	Protección Ecológica	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos Naturales Renovables/Producción Sostenible • Agrícola residencial 	<ul style="list-style-type: none"> • Industrial • Recursos Naturales No Renovables
	Recursos Naturales No Renovables	<ul style="list-style-type: none"> • Agrícola residencial • Una vivienda por lote 	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos Naturales Renovables/Producción Sostenible • Industrial • Protección ecológica/conservación del Patrimonio Natural
	Recursos Naturales Renovables/Producción Sostenibles	<ul style="list-style-type: none"> • Agrícola residencial • Protección ecológica/conservación del Patrimonio Natural 	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos Naturales No Renovables
Urbano	Múltiple	<ul style="list-style-type: none"> • Protección ecológica/conservación del Patrimonio Natural • Agrícola residencial 	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos Naturales No Renovables • Recursos Naturales Renovables/Producción Sostenible
	Residencial 1	<ul style="list-style-type: none"> • Protección ecológica/conservación del Patrimonio Natural 	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos Naturales Renovables/Producción Sostenible • Recursos Naturales No Renovables • Agrícola Residencial
	Residencial 3	<ul style="list-style-type: none"> • Protección ecológica/conservación del Patrimonio Natural 	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos Naturales Renovables/Producción Sostenible • Recursos Naturales No Renovables • Agrícola Residencial

Fuente: Ordenanza Metropolitana No. 0127; recopilado por Parra, 2018

4.5.2.6. *Lineamientos de gestión para la conectividad con fines de conservación*

En atención a la visión y objetivos de creación del Corredor Ecológico del Oso Andino, se ha considerado el paradigma de equilibrio ecológico que sostiene que para garantizar la conservación de la biodiversidad es necesario proteger el conjunto de interacciones de muy largo plazo entre los organismos y su medio ambiente, a partir del cual se desarrolla la capacidad de adaptación evolutiva. En vista de ello, se requiere no solamente brindar protección a zonas con estatus de protección declarada, sino intervenir el paisaje circundante con el que intercambian materia y energía, el cual tiene la capacidad de afectar tanto la composición de especies como el tipo y tasas de perturbaciones al interior de espacios naturales y determinar en gran medida su viabilidad en el tiempo. De tal manera, la UICN (2004) reconoce a los corredores ecológicos desde una visión ecosistémica; en donde su conectividad estructural y funcional incorpora al corredor biológico, más ecología del paisaje (Sguerra *et al.*, 2011).

De manera complementaria, la Política y Plan Estratégico del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador 2007-2016 resalta la necesidad de trabajar en corredores ecológicos "*como mecanismos efectivos de conservación de la biodiversidad*", de tal manera que el Ecuador cumpla con los compromisos internacionales adquiridos en el marco de la Convención de la Diversidad Biológica, el Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020 y las Metas de Aichi. Es decir, para consolidar un corredor de conectividad es necesario conocer el manejo de áreas protegidas en marcadas en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) y sus subsistemas: Estatal (PANE); Autónomo descentralizado (APG); Comunitario (APG) y Privado (APPRI). El objetivo del SNAP es garantizar la cobertura y conectividad de ecosistemas importantes como áreas protegidas a diferentes niveles terrestre, marino, marino costero etc., además de los recursos culturales y recursos naturales (Ministerio de Ambiente de Ecuador, 2016).

Por su parte, en el documento que señala los Lineamientos de Gestión para la Conectividad con fines de Conservación (Registro Oficial No. 135, 2013), se establece que el MAE reconocerá en los corredores y en las áreas naturales protegidas una oportunidad para mantener estables los servicios ecosistémicos que benefician directa e indirectamente a la población, tales como:

- Servicios de aprovisionamiento: de alimentos, fibras, maderas, leña, agua, suelo, recursos genéticos, entre otros,
- Servicios de regulación y soporte: regulación del ciclo hidrológico, regulación del clima, control de la erosión, mitigación y adaptación al cambio climático, reducción de riesgos naturales, retención de sedimentos, productividad de los sistemas agroecológicos, entre otros;
- Servicios culturales, estéticos y espirituales: oportunidades para la recreación, el desarrollo cognitivo, la inspiración artística e intelectual, el turismo, entre otros.

Además, el MAE promoverá la gestión para la conectividad con fines de conservación que complemente y fortalezca los procesos de planificación, ordenamiento y gestión territorial que los gobiernos autónomos descentralizados (GAD) llevan adelante.

A. Elementos constitutivos de los corredores

Los elementos a ser considerados en el diseño, establecimiento y gestión de corredores, de acuerdo a los Lineamientos de Gestión para la Conectividad con fines de Conservación (Registro Oficial No. 135, 2013), son los siguientes:

- Primero: las áreas naturales que integran los cuatro subsistemas reconocidos en el artículo 405 de la Constitución como parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP). Estas áreas representan el núcleo de los corredores y son la "fuente" de dispersión, migración o intercambio de especies de flora y fauna que hacen posible mantener poblaciones saludables y viables.
- Segundo: remanentes de hábitat que se distribuyen regular o irregularmente en el paisaje y que pueden conectar las zonas núcleo a través de una "franja continua" o a través de "refugios de paso", permitiendo a las especies de flora y fauna mantener sus dinámicas poblacionales durante los procesos de dispersión, migración o intercambio. La estructura, composición y calidad del hábitat dentro de los mismos, son aspectos que requieren de un tratamiento detallado y profundo, por lo que su abordaje en los procesos de planificación y ordenamiento territorial requiere de la participación de especialistas en la materia.
- Tercero: los diversos usos del paisaje terrestre o marino-costero que hacen posible mantener procesos de conectividad biológica.

B. Lineamientos estratégicos y consideraciones para el diseño de corredores

El documento denominado "Lineamientos de Gestión para la Conectividad con fines de Conservación" (Registro Oficial No. 135, 2013), establece 17 lineamientos para la creación de corredores en Ecuador. De los cuales, se han considerado aquellos que respaldan el propósito de ordenamiento territorial para el área de estudio de la presente disertación:

- Lineamiento 7: Los gobiernos cantonales y parroquiales incorporarán los corredores en su ordenamiento territorial e intervendrán de manera directa en su implementación y gestión.
- Lineamiento 11: El establecimiento de corredores no crea, modifica o extingue los derechos de propiedad que los titulares de la tierra tienen sobre las áreas que son parte del corredor.

- Lineamiento 13: El plan nacional de reforestación con fines de conservación, liderado por el Ministerio del Ambiente y los gobiernos autónomos descentralizados, contribuirá al establecimiento de los corredores.

Por otro lado, existen consideraciones para el diseño y establecimiento de corredores. Entre las más significativas en materia de ordenamiento territorial figuran las siguientes:

- El corredor no es una figura legal que imponga restricciones de uso del suelo y los recursos naturales (fuera de áreas protegidas).
- El corredor incorpora en su diseño una o más áreas protegidas; sin embargo, el corredor en sí mismo no es un área protegida o una categoría de manejo.
- Es un proceso de largo plazo, flexible y dinámico.
- El corredor debe ser parte de los procesos de planificación y ordenamiento territorial.
- Sin perjuicio de la información sistematizada o generada en la fase de diseño, durante el establecimiento deberán realizarse estudios complementarios que permitan verificar la hipótesis de la conectividad.
- El monitoreo y evaluación del corredor deberá incluir un robusto sistema de indicadores, entre los cuales se pueden considerar los siguientes: superficie de hábitat disponible, integridad del hábitat, abundancia, biodiversidad y uso de hábitat de especies clave, avance de agricultura, ganadería, obras de infraestructura, incendios, expansión urbana, percepciones, entre otros.

4.5.3. Árbol de problemas del Corredor Ecológico del Oso Andino en el DMQ

Un árbol de problemas es una técnica participativa que incentiva el desarrollo de ideas creativas para identificar el problema y organizar la información recolectada, generando un modelo de relaciones causales que lo explican. Esta técnica simplifica la identificación y organización de las causas y consecuencias de un problema. Por tal motivo, esta es complementaria, y no sustituye, a la información de base. La interpretación de un árbol de problemas es sencilla, pues el tronco del árbol representa el problema central, las raíces son las causas y la copa los efectos. La lógica de la interpretación es que cada problema resulta una consecuencia de los que aparecen debajo de él y, a su vez, es causante de los que están encima, reflejando la interrelación entre causas y efectos (Ortegón, Pacheco, & Prieto, 2005)

En el Corredor del Oso Andino, se ha establecido la necesidad de un sistema de gestión horizontal y participativo, en el cual el Comité de Gestión constituye el nivel que agrupa a los principales actores en la toma de decisiones sobre el corredor. Sus responsabilidades son las de coordinar acciones, realizar la convocatoria de actores, hacer seguimiento y evaluación de la implementación del

Programa de Conservación del Oso Andino en el Noroccidente de Pichincha y de sus resultados. La estructura de este Comité debe seguir los lineamientos establecidos por el Texto Único de Legislación Ambiental Simplificada (TULAS) que se aplica a las áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Por consiguiente, el comité de gestión ha desarrollado un árbol de problemas en el área de estudio de la presente disertación a través de mesas de diálogo con los actores principales, que están conformados por: un representante de la Secretaría de Ambiente del Municipio del DMQ, uno del MAE, uno de la Mancomunidad de los GAD Parroquiales del corredor, uno de los Comité de las Áreas de Conservación y Uso Sustentable (ACUS) establecidos en el nor-occidente y uno de las reservas privadas integradas en el Corredor (Secretaría de Ambiente-DMQ, 2014). El árbol de problemas (ver Anexo 12) ha identificado efectos lo suficientemente importantes para justificar la intervención que la presente investigación ha desarrollado en cuando a identificar áreas potenciales para reforestación con *N. acutifolia*, en atención a al problema central: “Humanos y Osos en conflicto en el territorio”.

El árbol de problemas presentado señala dos causas importantes que guían el problema central y se refieren a: la desorganización en el uso del suelo en el territorio del Corredor del Oso, y a la omisión del Mapa de uso del suelo como herramienta de planificación. Frente a ello, la presente investigación ha desarrollado categorías de uso de suelo rural que constituyen una herramienta de ordenamiento territorial que guía el uso del suelo en función de la potencialidad física del territorio y su uso actual. Por otro lado, el árbol de problemas señala dos causas adicionales que justifican la identificación y zonificación de áreas prioritarias para reforestación con *N. acutifolia* del presente estudio, las cuales mencionan que: la gente no conoce usos sustentables del suelo y la gente no valora el bosque (ver Anexo 12. Árbol de Problemas del Corredor Ecológico del Oso Andino).

4.5.4. Aplicación de Metodología de Capacidad de Acogida del Territorio Rural

La capacidad de acogida es un concepto que proviene del ordenamiento territorial y se define como el grado de idoneidad o la cabida del territorio para una actividad en función de los requerimientos locacionales de dicha actividad (o conocida como capacidad). Por tanto, es un indicador del mejor uso que puede hacerse sobre el territorio (Antequera, 2008).

Así mismo, es una metodología que permite la integración de variables de diferentes categorías, permite encontrar una posición media entre la conservación de los recursos y el uso deseado, permite identificar los puntos del territorio que pueden utilizarse en beneficio del hombre sin impactos inaceptables, reevalúa la pertinencia de usos preexistentes en un área determinada; finalmente, considera variables adicionales a las físico-bióticas (Gómez Orea, 2007).

Gómez Orea (2007) se refiere a la capacidad de acogida del territorio como la relación del medio físico con las actividades humanas en términos de su vocación natural, compatibilidad o incompatibilidad; y por lo tanto, se convierte en un paso obligatorio para establecer el control del uso del suelo. A partir de esta consideración surge el respeto a la capacidad de acogida, como aquella concertación de dos puntos de vista contrapuestos: el del "conservacionista" y el del "promotor". El primer punto de vista social, representado por la necesidad de conservar el medio, mira la relación actividad-entorno en términos de impacto. Por su parte, el punto de vista del promotor percibe la actividad como una aptitud o potencial del medio e ignora las alteraciones indeseables o externalidades negativas que pueden surgir; a menos que, estas afecten al propio funcionamiento de la actividad prevista. Además, considerar los recursos existentes determina el potencial del medio físico para el desarrollo. En la medida en que la localización de las actividades sea próxima a la capacidad de acogida, se habrá conseguido mejor o peor integración con el entorno (Gómez Orea, 2007).

Para aplicar la metodología señalada, se deben seleccionar las actividades que se quieren ubicar, los factores que van a determinar la capacidad, y un conjunto de procedimientos para integrar toda la información temática disponible. Antequera (2008) describe la siguiente metodología dividida en fases para estimar la Capacidad de Acogida del Suelo Rural con el fin de establecer categorías de Uso de Suelo Rural en el Corredor del Oso Andino-DMQ. El método escogido es "Método de Integración al final del Proceso", que está basado en la estimación de la capacidad de acogida por factores. En donde:

- Cada factor del medio físico debe expresarse en mapas de clase o unidades temáticas homogéneas para ese factor. La escala de trabajo debe ser similar para todos los factores
- Se deben identificar para cada uso o actividad, aquellos factores susceptibles de ser considerados desde el punto de vista de la capacidad

- Cartografía temática de cada una de las variables y definición de las diferentes clases asociadas a ellas
- Definición de las Unidades de Capacidad mediante la integración cartográfica de las variables utilizadas en la definición de la capacidad y de la vulnerabilidad
- Asignar a cada unidad de integración de capacidad un valor integrado y único de capacidad
- Obtención de las unidades de integración finales por intersección de las unidades de capacidad, y determinación de la aptitud o capacidad de acogida de cada una de dichas unidades finales para cada uso considerado

La metodología señalada propone dos lineamientos para presentar las categorías de capacidad de acogida y son:

1. **Selección de la forma de estimación de la Capacidad de acogida:** para el presente estudio de caso se ha escogida la Forma Positiva que se fundamenta en estudios de aptitud de uso del suelo.
2. **Gradación de niveles de capacidad de acogida:** para el estudio del Corredor del Oso Andino se ha escogido información cartográfica de uso principal del suelo, uso actual del suelo, conflicto de uso, distancia desde centros poblados y accesibilidad vial.

De esta manera, la metodología ha propuesto los pasos desarrollados a continuación:

4.5.4.1. *Definición de Actividades Objeto de Ordenación*

Para definir las actividades que se desean ordenar en el territorio es indispensable considerar que, para el Corredor Ecológico del Oso Andino en el Noroccidente del DMQ, se halla definida la siguiente visión conjunta (Secretaría de Ambiente-DMQ, 2014):

“Para el año 2019 los habitantes del DMQ apoyamos activamente la conservación del oso andino y lo consideramos como especie emblemática, gracias a la cual, la región nor-occidental genera importantes servicios ambientales y promueve un estilo de vida sustentable, armónico y respetuoso del entorno natural; por lo que se ha convertido en un modelo a seguir por otras regiones del país”.

Además, los beneficios concretos de la creación del Corredor Ecológico del Oso Andino en el DMQ utilizando una especie “paisaje” o “paraguas” radican en (Secretaría de Ambiente-DMQ, 2014):

1. Proteger y recuperar la valiosa vegetación nativa de las estribaciones occidentales y los servicios ambientales que genera en beneficio del ser humano, en especial en la mitigación de desastres naturales, sequías y eventos climáticos extremos

2. Fomentar el desarrollo local sustentable a través de actividades como el ecoturismo, investigación, educación, agroecología, entre otros, aprovechando la cercanía de la zona a la ciudad de Quito
3. Conservar y recuperar las demás especies de fauna con las que el oso coexiste, todas las cuales son fundamentales para mantener un equilibrio ecológico en la región

Frente a estas dos consideraciones, las actividades objeto de ordenación son establecidas a partir de las variables para definir la aptitud de un territorio. Las variables son las siguientes:

A. Relacionadas con el medio natural

Esta variable ha incluido criterios limitantes relacionados con actividades que permiten la conservación o limitan el aprovechamiento del suelo, en función de la aptitud agrícola y uso actual del suelo del Corredor Ecológico del Oso Andino-DMQ, para generar categorías de conflictos de uso del suelo. Además, esta variable consideró las limitaciones para el desplazamiento del oso andino que el presente estudio ha determinado en la sección 3.3.

En primer lugar, se obtuvieron categorías del mapa de aptitudes agrícolas para el Ecuador Continental a escala 1:250.000 del 2014 (ver Anexo 2), la mismas que fueron reclasificadas para diferenciar aquellas con potencial para uso agroproductivo y aquellas para conservación, de la siguiente forma:

Tabla 54. *Aptitudes agrícolas del Corredor del Oso Andino*

Aptitud agrícola	Superficie hectáreas	% Ocupación
Agroproductivo óptimo, para cultivos anuales y ciclo corto	458,97	0,71%
Agroproductivo restrictivo 1 con manejo, para cultivos permanentes y semipermanentes	4.865,04	7,54%
Agroproductivo restrictivo 2 para pastoreo	1.312,50	2,03%
Conservación estricta	57.917,91	89,72%
TOTAL	64.554,42	100%

Fuente: MAGAP-SIGAGRO, 2014; modificado por Parra, 2018

Como resultado se generaron tres categorías de conflicto: bien utilizado, sobreutilizado y subutilizado (ver Tabla 55). Se ha podido reconocer que el 79,48% del área de estudio no presenta conflicto de uso, pues la superficie de suelo con aptitud para conservación se halla cubierta por vegetación natural y unidades boscosas. En estas zonas, el objetivo de ordenamiento territorial no

presenta limitaciones mayores porque el uso actual del suelo se mantiene en armonía con su aptitud agrícola. Por otro lado, las categorías de conflicto por sobre y subutilización del suelo presentan limitaciones ya que el 11,74% del territorio ha excedido la capacidad natural de carga; mientras que el 8,78% no ha aprovechado la aptitud agrícola del suelo. Las categorías de aptitud agrícola y uso actual del suelo fueron las siguientes:

Tabla 55. *Categorías para generación de conflictos de Uso del Suelo*

Uso Actual	Aptitud Agrícola	Conflicto de Uso	Superficie hectáreas	% Ocupación
Bosque/Páramo/Vegetación arbustiva y herbácea/Cuerpos de agua	Conservación estricta	Bien Utilizado	50.437,50	79,48%
Cultivos anuales	Agroproductivo óptimo, cultivos anuales		4,44	
Cultivos semi y permanentes	Agroproductivo restrictivo1 con manejo, cultivos semi y permanentes		664,76	
Pastizal/Plantación Forestal	Agroproductivo restrictivo2, pastos		200,21	
Cultivos anuales	Agroproductivo restrictivo1 con manejo, cultivos semi y permanentes	Sobre Utilizado	13,64	11,74%
	Agroproductivo restrictivo2, pastos		1,72	
	Conservación estricta		504,46	
Cultivos semi y permanentes	Agroproductivo restrictivo2, pastos		82,65	
	Conservación estricta		2.200,16	
Erial/Infraestructura Antrópica			431,65	
Pastizal/Plantación Forestal			4.344,15	
Bosque/Páramo/Vegetación arbustiva y herbácea/Cuerpos de agua	Agroproductivo óptimo, cultivos anuales	Sub Utilizado	333,82	8,78%
	Agroproductivo restrictivo1 con manejo, cultivos semi y permanentes		2.956,62	
	Agroproductivo restrictivo2, pastos		1.026,60	
Cultivos semi y permanentes	Agroproductivo óptimo, cultivos anuales		75,41	
			7,03	
Erial/Infraestructura Antrópica	Agroproductivo restrictivo1 con manejo, cultivos semi y permanentes		41,67	
	Agroproductivo restrictivo2, pastos		1,31	
Pastizal/Plantación Forestal	Agroproductivo óptimo, cultivos anuales		38,27	
	Agroproductivo restrictivo1 con manejo, cultivos semi y permanentes		1188,35	
TOTAL			64.554,42	

Elaborado por: Paola Parra

En segundo lugar, se han considerado las tres categorías que puntualizan el esfuerzo de desplazamiento del oso andino en el corredor (ver Tabla 56). Estas unidades representan limitaciones para el aprovechamiento productivo del suelo en las zonas donde se detectaron “algunas y severas limitaciones” para el desplazamiento del mamífero, debido al aumento del conflicto oso-hombre.

Tabla 56. *Categorías de esfuerzo de desplazamiento del oso andino*

	Desplazamiento	Esfuerzo de desplazamiento	Superficie hectáreas	% Ocupación
Costos de desplazamiento	Muy Adecuado	Sin limitaciones	42.570,36	79,74
	Medianamente adecuado	Algunas limitaciones	9.313,65	17,45
	Extremadamente No Adecuado	Severas limitaciones	1.499,22	2,81

Elaborado por: Paola Parra

B. Mantenimiento de patrón o modelo locacional existente

Criterio referido a economía de costes. Este criterio ha incluido la cobertura de uso actual del suelo considerando las actividades que producen un rédito económico a la población, tales como: cultivos, pastizales y plantaciones forestales. Además, se han relacionado las categorías de Infraestructura Antrópica y erial con su nula potencialidad para la conservación del patrimonio natural. En segundo lugar se ha considerado la cobertura de aptitud agrícola del suelo. Finalmente, fueron consideradas para el análisis las categorías de Uso Principal de Suelo que están normadas en el Plan de Uso y Ocupación del Suelo del DMQ (PUOS-DMQ) ya que se aspira a la máxima funcionalidad del conjunto; es decir, optimizar las relaciones con otros planes concurrentes en la zona y con las actividades existentes en el entorno. Las variables tomadas en cuenta para este criterio se resumen en la tabla 57).

C. Relacionadas con características espaciales

Se refiere a la accesibilidad. En este punto se ha identificado, en cuanto a accesibilidad, que existen dos tipos de carreteras: pavimentadas y no pavimentadas. Tan solo 18 tramos de los 132 tramos de carreteras no son pavimentadas; motivo por el cual, no se ha hecho una clasificación del buffer de influencia entre carreteras. De tal manera, todas las carreteras de acceso se hallan distribuidas de manera homogénea en el área de estudio y se ha establecido

un buffer de influencia de accesibilidad de 1.000, 2.000 y más de 3.000 metros. Las zonas de influencia señaladas garantizan la conectividad entre centros poblados y movilización para fines agroproductivos y comerciales-turísticos. Por otro lado, también se ha considerado la cercanía a centros poblados, ya que esta determina la posibilidad de desarrollar actividades comerciales (e.g., de turismo) o agroproductivas (MAGAP-SINAGAP, 2014).

Todas las actividades objeto de ordenación que se determinaron en base a criterios de aptitud del suelo, se detallan en siguiente la tabla:

Tabla 57. Criterios para determinar actividades objeto de ordenación

	Variables de aptitud del suelo	Criterios	Actividades objeto de ordenación
1	Relacionado con el medio natural Limitantes	Costos de desplazamiento de Oso Andino	Sin Limitaciones
			Algunas Limitaciones
			Severas Limitaciones
		Conflictos de Uso del suelo	Suelo Bien Utilizado
			Suelo Sobre Utilizado
			Suelo Sub Utilizado
2	Basado en el mantenimiento del modelo locacional existente” Economía de Costes	Uso Actual del Suelo	Erial e Infraestructura Antrópica
			Cultivos anuales
			Cultivos semipermanentes y permanentes
			Pastizal/Plantación Forestal
			Bosque /Páramo /Vegetación arbustiva y herbácea/ Cuerpos de agua
		Aptitud agrícola del suelo	Agroproductivo óptimo, para cultivos anuales y ciclo corto
			Agroproductivo restrictivo 1 con manejo, para cultivos permanentes y semipermanentes
			Agroproductivo restrictivo 2, para pastoreo
			Conservación estricta
		Uso Principal del suelo	Residencial Urbano/ Equipamiento/ Múltiple
			Recursos naturales no renovables
			Agrícola Residencial
			Recursos naturales renovables
			Protección ecológica
		3	Relacionado con características espaciales
Zona de influencia 1.000-2.000			
Zona de influencia > 2.000			
Cercanía a centros poblados	Zona de influencia <1.000		
	Zona de influencia 1.000-2.000		
	Zona de influencia >2.000		

Elaborado por: Paola Parra

4.5.4.2. *Valoración de elementos/factores relevantes*

Un criterio es el punto de referencia para la toma de decisiones; por lo tanto, es muy importante la puntuación de los criterios o valoración de las alternativas. Los criterios se dividen en factores y en limitantes. Así pues, los factores realzan o detractan la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad en consideración. Además, el criterio de tipo limitante restringe la disponibilidad de algunas alternativas en función de la actividad evaluada. Con el criterio limitante se genera una capa binaria que representa dos valores temáticos para los datos espaciales, de 1 y 0. El código 1 del criterio limitante representa las alternativas susceptibles de ser elegidas para la actividad; mientras que, el código 0 señala la no disponibilidad para la actividad. Por otro lado, es posible representar un criterio mediante una capa temática y combinar el conjunto de ellas a través de reglas de decisión para lograr evaluarlas. Por lo tanto, es necesario un análisis o evaluación multicriterio, que no es más que un conjunto de técnicas orientadas a asistir en procesos de decisión. La evaluación multicriterio se basa en que la actividad objeto de estudio va a venir definida por una serie de factores o variables. Dichos factores van a influir de manera positiva (Aptitud) o negativa (Impacto) sobre la actividad objeto de decisión y deben ser inventariados y clasificados previamente (Barredo, 1996; citado por Ríos-Gallego, 2014).

Una vez recopilada la información cartográfica disponible para definir criterios en el Corredor Ecológico del Oso Andino, se procedió a valorar sus factores y limitantes. Estos últimos provienen de la determinación de actividades objeto de ordenación en base a coberturas tipo “shapefile” que fueron reclasificadas y reducidas en menos categorías mediante el uso de SIG y el software ARCGIS 10.3. Para ello, se han utilizado las herramientas “Polygon to ráster” y “Reclassify”, con el fin de obtener los actividades o factores deseados.

En el ámbito de la Evaluación Multicriterio, la determinación de la capacidad de acogida para actividades en un territorio se enmarca en una evaluación de un objetivo simple y criterios múltiples. El objetivo de creación del Corredor Ecológico del Oso Andino en el DMQ, señala la necesidad de conservar y proteger el hábitat del oso andino, por ser especie de fauna emblemática en peligro de extinción; así como, la fauna y flora asociadas al bosque andino. Paralelo a ello, el objetivo es promover un modelo de desarrollo armónico con el entorno que haga posible el manejo sustentable de los recursos naturales y generar oportunidades de un buen vivir a las poblaciones locales (Secretaría de Ambiente-DMQ, 2014). Es decir, en la presente disertación se ha evaluado el objetivo de conservación de hábitat y recursos naturales, con una visión de manejo sustentable. Frente a esta consideración y a raíz de la existencia de criterios múltiples, se ha establecido la valoración de los factores “basados en el modelo locaciones existente” y aquellos “relacionados con características espaciales” mediante una ponderación con valores de 1 a 3; en donde, el valor 3 señala potencialidad o necesidad de conservación del patrimonio natural. Complementario a ello, el valor 2 señala la

posibilidad de aprovechamiento agroproductivo; y el valor 1 indica baja o nula posibilidad de conservación natural. A su vez, se han asignado valores binarios de 0 y 1 a los criterios limitantes “relacionados con el medio natural”, indicando restricción y posibilidad de intervención con actividades de uso de suelo rural. Tales limitantes han considerado la dificultad de desplazamiento del oso andino y los efectos derivados de la sobre y subutilización del suelo.

Los valores asignados a las alternativas en la siguiente matriz de valoración, son una función del número y naturaleza de los criterios; así como, del objetivo que rige la creación del corredor.

Tabla 58. Valoración total de factores y limitantes

	VARIABLES de aptitud del suelo	CRITERIOS	FACTORES Actividades objeto de ordenación	PONDERACIÓN de factores
1	Relacionado con el medio natural Limitantes	Costos de desplazamiento de Oso Andino	Sin Limitaciones	0
			Algunas Limitaciones	1
			Severas Limitaciones	
		Conflictos de Uso del suelo	Suelo Bien Utilizado	0
			Suelo Sobre Utilizado	1
			Suelo Sub Utilizado	
2	Basado en el mantenimiento del modelo locacional existente Economía de Costes	Uso Actual del Suelo 2017	Erial e Infraestructura Antrópica	1
			Cultivos anuales	2
			Cultivos semipermanentes y permanentes	
			Pastizal/Plantación Forestal	
			Bosque /Páramo /Vegetación arbustiva y herbácea/ Cuerpos de agua	3
		Aptitud agrícola del suelo	Agroproductivo óptimo, para cultivos anuales y ciclo corto	0
			Agroproductivo restrictivo 1 con manejo, para cultivos permanentes y semipermanentes	
			Agroproductivo restrictivo 2, para pastoreo	
			Conservación estricta	3
		Uso Principal del suelo PUOS-DMQ	Residencial Urbano/ Equipamiento/ Múltiple	1
			Recursos naturales no renovables	
			Agrícola Residencial	2
			Recursos naturales renovables	
		3	Accesibilidad Vial	Zona de influencia < 1.000
Zona de influencia 1.000-2.000	2			
Zona de influencia > 2.000	3			
Cercanía a centros poblados	Zona de influencia <1.000		1	
	Zona de influencia 1.000-2.000		2	
	Zona de influencia >2.000		3	
	Protección ecológica		3	

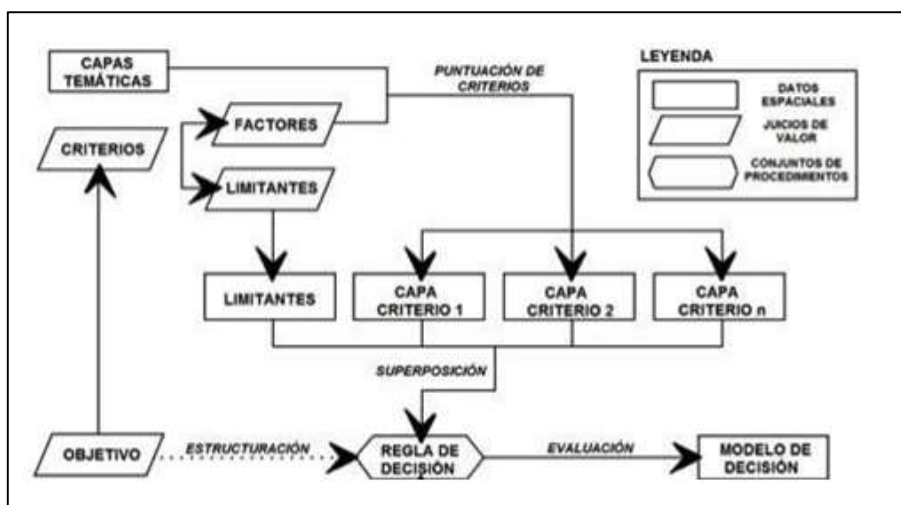
Elaborado por: Paola Parra

4.5.4.3. Elaboración del Mapa de capacidad de acogida del territorio rural

Una vez que fueron valorados cuantitativamente los factores y limitantes capaces de representar la aptitud del suelo, estos fueron integrados para la generación de un modelo de decisión final que determinó la capacidad de acogida del Corredor ecológico del Oso Andino.

Dicha integración ha sido posible con el método de Evaluación Muticriterio (EMC) desarrollado en entorno SIG, lo cual se ilustra a continuación:

Figura 25. Sistema de integración entre SIG y EMC

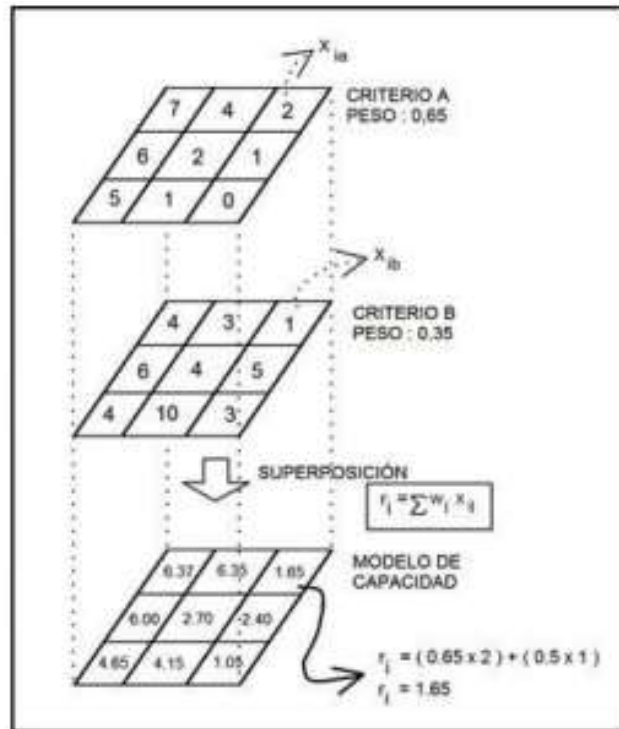


Fuente: Gómez & Barredo, 2005

A. Integración de información usando herramientas técnicas-software SIG

Uno de los métodos más empleados por ser sencillo, intuitivo y fácil de implementar en la evaluación de los recursos naturales es la Sumatoria Lineal Ponderada. La obtención del nivel de adecuación de cada alternativa se halla sumando el resultado de multiplicar el valor de cada criterio por su peso, y es el método utilizado para definir la capacidad de acogida en función de la aptitud. Uno de los problemas de usar la EMC para la ciencia geográfica son las numerosas alternativas existentes en la resolución de un problema de planificación ambiental, por ello, el uso de una segunda herramienta puede resultar clave: los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estos posibilitan el trabajo con múltiples factores en formato de capas de información temática o sectorial, y resultan muy útiles para ordenar los datos de forma georreferenciada y evaluar los resultados alcanzados eficazmente a través de un modelamiento espacial (Gómez y Barredo, 2005).

Figura 26. Modelamiento espacial para la integración de factores relevantes



Fuente: Gómez y Barredo, 2005

Una vez que las capas temáticas correspondientes a los criterios han sido generadas, pueden ser combinadas a través de las reglas de decisión para lograr la evaluación. El conjunto de procedimientos de EMC aplicables en un entorno SIG, basan su funcionamiento aritmético en la regla de decisión. Por lo tanto, la integración de los criterios para obtener categorías de capacidad de acogida del territorio, han supuesto la aplicación de un modelo cartográfico-lógico utilizando la ayuda de la herramienta “ráster calculador”. La presente herramienta SIG denominada “ráster calculador” construye y ejecuta una expresión simple de álgebra de mapas que generará como salida un ráster, en una interfaz similar a una calculadora. Con esta herramienta se realiza la integración de las capas de criterios mediante una operación de suma (Galacho & Arrebola, 2013).

A continuación se detallan las siguientes reglas de decisión definidas para cada criterio analizado:

1. Criterio limitante “Relacionado con el Medio Natural”:

Regla de decisión: $\frac{\{ (Costos\ de\ desplazamiento\ oso\ andino) + (Conflicto\ Uso\ del\ Suelo) \}}{2}$

2. Criterio o factor “Relacionado con el Modelo Locacional existente”:

Regla de decisión: $\{(Uso\ Actual\ del\ Suelo)+(Aptitud\ agrícola\ del\ suelo)+ (Uso\ Principal\ del\ Suelo)\}$

3. Criterio o factor “Relacionado con Características espaciales”:

Regla de decisión: $\{(Accesibilidad\ vial)+(Cercanía\ a\ centros\ poblados)\}$

A. Integración de información en función de matrices de evaluación

Una vez que cada regla de decisión fue estructurada, el proceso de aplicarla sobre las capas criterio es llamado evaluación, el mismo que ha generado finalmente el modelo de decisión. Las matrices de evaluación para cada uno de los tres criterios se describen a continuación:

Tabla 59. Evaluación del criterio limitante “Relacionado con el Medio Natural”

Relacionado con el medio natural		CRITERIO	FACTORES		
		Conflicto de Uso del Suelo	Suelo Bien Utilizado	Suelo Sobre Utilizado	Suelo Sub Utilizado
CRITERIO	Costos desplazamiento Oso Andino	Ponderación	0	1	1
FACTORES	Sin limitaciones	0	Zona sin intervención requerida, pues no existe conflicto de uso de suelo, ni conflicto por desplazamiento de oso andino.	Zona sin intervención para protección de osos andinos; sin embargo, es necesario maximizar el aprovechamiento productivo del suelo donde la aptitud agrícola lo permita. A su vez, merecen atención los efectos adversos de degradación del suelo por sobreutilización.	
	Algunas limitaciones	1	Zona cuya única intervención tiene por objeto minimizar impactos asociados al desplazamiento del oso andino.	Zona que requiere intervención para minimizar impactos de degradación del suelo y peligro de desplazamiento del oso andino.	Zona que requiere intervención para maximizar el aprovechamiento agroproductivo del suelo considerando la presencia de osos andinos.
	Severas limitaciones	1			

Elaborado por: Paola Parra

Tabla 60. Evaluación del criterio o factor “Relacionado con el Modelo Locacional existente”

Relacionado con el Modelo Locacional existente	CRITERIOS			Suma factores	Ponderación	Descripción de criterios	Principios de intervención
	Uso Actual	PUOS	Aptitud				
FACTORES	1	1	0	2	1	Si hay aptitud agrícola y si PUOS agrícola, uso erial y antrópico.	Zona donde prevalece infraestructura antrópica, y que a pesar de existir potencial de aprovechamiento productivo, la reubicación de tales equipamientos urbanos se hace difícil.
	2	1	0	3			
	2	2	0	4	1	Si hay aptitud agrícola, si PUOS, uso agrícola.	Zona donde se combina un uso adecuado del suelo por haber aptitud agrícola, y además el PUOS permite el aprovechamiento productivo. El uso del suelo es productivo agrícola en donde se podría maximizar la producción.
	2	3	0	5	4	Si hay aptitud agrícola, si PUOS agrícola, uso conservación.	Zona donde mantener y conservar la cobertura vegetal natural, y donde la normativa metropolitana y aptitud física del suelo promueve la conservación del patrimonio natural.
	3	3	0	6		Si hay aptitud agrícola, no PUOS agrícola, uso conservación.	
	3	1	3	7	2	No hay aptitud agrícola, si hay PUOS agrícola, uso actual mayormente agroproductivo.	Zonas donde prevalece la productividad agrícola, pero esta se pone en peligro por falta de aptitud agrícola, degradación del suelo alarmante. El PUOS permite aprovechamiento; sin embargo, se recomiendan medidas de protección del suelo y mejoramiento de cultivos actuales ya que de manera natural no puede sustentar cultivos.
	3	2	3	8	3	No hay aptitud agrícola, si hay PUOS agrícola, uso actual mayormente de bosque y vegetación, y poco agroproductivo.	Zona donde prevalece cobertura de bosque nativo y vegetación natural. El PUOS permite el uso residencial agrícola y de recursos naturales renovables (agroproductivo); sin embargo, existe aptitud agrícola del suelo nula. Representa una zona donde aplicar restricciones severas para evitar un futuro avance de la frontera agrícola, ya que al 2017 hay indicios de producción agrícola en la zona.
	3	3	3	9	4	No hay aptitud agrícola, si aptitud para conservación, no hay PUOS agrícola, uso actual bosque y vegetación.	Zona donde mantener y conservar la cobertura vegetal natural, y donde la normativa metropolitana y aptitud física del suelo promueve la conservación del patrimonio natural.

Elaborado por: Paola Parra

Tabla 61. Evaluación del criterio o factor “Relacionado con Características espaciales”

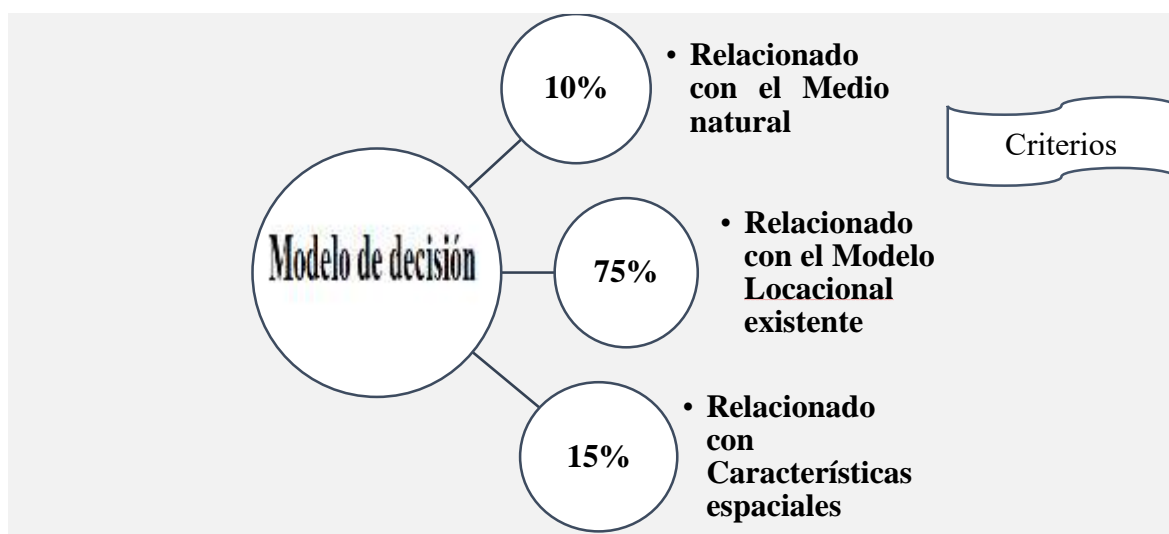
Relacionado con Características espaciales	Accesibilidad	Cercanía a centros poblados	Suma factores	Ponderación	Descripción criterios / Principios de intervención
FACTORES	1	1	2	1	Zona con alta accesibilidad y cercanía a centros poblados con una distancia <1.000 metros desde ejes viales y asentamientos humanos. Las actividades comerciales de servicios de abastos encuentran fuerte potencial.
	2	1	3	2	Zona con influencia media de accesibilidad y una distancia entre 1.000 y 2.000 metros a partir de centros poblados más próximos. La intervención con actividades turísticas encuentra potencial por la existencia de vías de acceso que se alejan de disturbios propios de la actividad humana.
	2	2	4	3	Zona con baja accesibilidad y una distancia mayor a 2.000 metros a partir de centros poblados más próximos, donde los disturbios disminuyen.
	2	3	5	4	Zona sin accesibilidad ni proximidad a asentamientos humanos, por lo que constituyen zonas sin disturbios. La conservación del patrimonio natural se hace efectiva por la carencia de intervención antrópica.
	3	3	6		

Elaborado por: Paola Parra

B. Generación del modelo de decisión

Con la evaluación de los criterios que describen la aptitud del territorio se ha obtenido la integración de sus factores, mediante la asignación de un valor específico a cada factor de acuerdo con su nivel de importancia relativa para la conservación del patrimonio natural del Corredor Ecológico del Oso Andino-DMQ. En la presente disertación, este valor recibió el nombre de peso o ponderación ya que se expresó cuantitativamente. Posterior a ello, se ha elaborado un modelo de decisión, el mismo que reúne criterios y factores. Para la obtención de este modelamiento de decisión se ha empleado una segunda herramienta SIG denominada “Weigthed Overlay”. Tal herramienta ha sido crucial para la toma de decisiones acerca de la capacidad de acogida del territorio, puesto que superpone varios elementos ráster con una escala de medición común y pondera cada uno según su importancia. Con esta herramienta se calculan las capas de capacidad de acogida del territorio, de acuerdo al peso asignado a cada criterio.

Figura 27. Creación del modelo de decisión mediante ponderación de criterios



Elaborado por: Paola Parra

4.5.4.4. *Determinación de Categorías de uso de suelo rural con base en capacidad de acogida del territorio*

Las categorías de ordenación son zonas identificadas con criterios diversos, cada una de las cuales se adopta como base para definir los niveles de uso del territorio y la forma en que pueden desarrollarse las actividades humanas para que se garantice la conservación y explotación sostenida de los recursos que contiene, (Orea, 2008, en Feijóo, 2013). Las categorías de ordenación se definen a partir de las unidades de síntesis, de su capacidad de acogida y de forma voluntarista, es decir zonas ya ordenadas e invariantes que no interesa ni es posible cambiar el uso, por lo que se las toma como categorías de ordenación predefinidas. El área del Corredor Ecológico del Oso Andino en el DMQ comprenden las parroquias de Calacalí, Nono, Nanegalito, Nanegal y San José de Minas; y allí se encuentran zonas con diferentes tipos de categoría de manejo y niveles de protección. En el área de estudio destacan el ACUS Yunguilla perteneciente al Subsistema Metropolitano Áreas Protegidas del DMQ; además existen 10 bosques protectores privados, del estado y comunitarios; y la propiedad de la comunidad Santa Lucía que pertenece al programa Socio Bosque.

En atención a ello, el objetivo específico 4.1. del Programa de Conservación del Oso Andino en el Noroccidente del DMQ establece la necesidad de “Zonificar el área del Corredor de Oso Andino a fin de establecer los usos adecuados para cada zona para definir zonas productivas, zonas de conservación y zonas de amortiguamiento”. A su vez, el objetivo específico 4.3. establece “impulsar

la dinamización de la economía local a través de la implementación de actividades agro-productivas, agroforestales, turísticas y artesanales sustentables”.

A partir de la generación del modelo de decisión se han establecido 4 índices de capacidad de acogida, resultantes de la integración de criterios ponderados (ver Figura 27). Estas cuatro nuevas categorías de integración se han evaluado en base a su capacidad productiva de utilización de suelo y para ello se analizan los “Tratamientos urbanísticos para suelo rural” que dispone la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo en su artículo 4, numeral 15 (Registro Oficial No. 790, 2016). El numeral 15 de la ley en mención habla específicamente de “Tratamientos urbanísticos para suelo rural”, los cuales son “reglas de decisión” que orientan las estrategias de planeamiento de uso del suelo rural. En la presente disertación se han escogido cuatro tratamientos. El primero se refiere al “Tratamiento de promoción productiva”, que se aplica a zonas rurales de producción para potencializar y promover desarrollo agropecuario, acuícola, forestal y turismo, priorizando actividades que garanticen soberanía alimentaria. Un segundo se refiere al “Tratamiento de recuperación”, que se aplica a zonas rurales de aprovechamiento productivo/extractivo que han sufrido deterioro ambiental/paisajístico, cuya recuperación es necesaria para mantener equilibrio de ecosistemas naturales. En tercer lugar se halla el “Tratamiento de mitigación” que es aplicado a zonas rurales de aprovechamiento extractivo donde se necesitan medidas preventivas frente a impactos generados. Finalmente, se ha escogido el “Tratamiento de conservación” que se aplica a zonas rurales con alto valor histórico, cultural, paisajístico, ambiental o agrícola para acciones de conservación de sus características de conformidad con la Legislación Ambiental o Patrimonial (Registro Oficial No. 790, 2016).

Debido a que la normativa posibilita estos tratamientos en función del uso del suelo estipulado por el PUOS-DMQ (ver sección 3.5.2.2); y, las características naturales, locacionales y espaciales del corredor lo permiten, se establecieron las siguientes “Categorías de Uso de Suelo Rural en base a la Capacidad de Acogida del territorio para conservación y manejo sustentable del patrimonio natural” (ver Anexo No11: Mapa de Categorías de Uso de Suelo Rural en el Corredor del Oso Andino-DMQ):

Tabla 62. Categorías de Uso del Suelo rural según Capacidad de acogida del Corredor Ecológico del Oso Andino-DMQ

Capacidad de acogida	NORMATIVA: Tratamiento de uso de suelo rural	Categorías de uso de suelo rural según capacidad de acogida
ALTA	Tratamiento de conservación: aplicado a zonas rurales con alto valor histórico, cultural, paisajístico, ambiental o agrícola para acciones de conservación de sus características de conformidad con la Legislación Ambiental o Patrimonial.	Alta capacidad de acogida del suelo para conservación y manejo sustentable del patrimonio natural por prevalencia de vegetación en estado natural, en donde la normativa metropolitana y la aptitud del suelo dictaminan la conservación de recursos naturales y la valoración de servicios ecológicos. Es mandatoria la intervención mediante prácticas de conservación y control en los límites con la zona de transición que presenta capacidad de acogida media-alta.
MEDIA-ALTA	Tratamiento de conservación: se aplica a zonas rurales con alto valor histórico, cultural, paisajístico, ambiental o agrícola para acciones de conservación de sus características de conformidad con la Legislación Ambiental o Patrimonial Tratamiento de recuperación: se aplica a zonas rurales de aprovechamiento productivo/extractivo que han sufrido deterioro ambiental/paisajístico, cuya recuperación es necesaria para mantener equilibrio de ecosistemas naturales.	Capacidad de acogida media-alta del suelo con aptitud mayoritaria para la conservación natural, pero por presencia actual de algunas actividades agropecuarias son indispensables prácticas de manejo y conservación de suelos, así como, de vegetación natural aún existente. A pesar de que la normativa metropolitana autoriza el uso agroproductivo, es necesario aplicar restricciones severas para evitar un futuro avance de la frontera agrícola, lo cual se agrava por la influencia de accesibilidad vial.
MEDIA-BAJA	Tratamiento de mitigación: es aplicado a zonas rurales de aprovechamiento extractivo donde se necesitan medidas preventivas frente a impactos generados Tratamiento de recuperación: se aplica a zonas rurales de aprovechamiento productivo/extractivo que han sufrido deterioro ambiental/paisajístico, cuya recuperación es necesaria para mantener equilibrio de ecosistemas naturales.	Capacidad de acogida media-baja del suelo sin aptitud agroproductiva, en donde prevalecen actividades agropecuarias que propician una alarmante degradación del suelo. Es urgente la implementación de prácticas intensivas de manejo de cultivos y control de sobrepastoreo para mejorar la sostenibilidad de sistemas productivos de los cuales depende la población. La normativa metropolitana autoriza el aprovechamiento extractivo-minero y agropecuario; sin embargo, de manera natural el suelo no puede sustentar cultivos. Se hace evidente un límite de frontera agrícola.
BAJA	Tratamiento de promoción productiva: aplicado a zonas rurales de producción para potencializar y promover desarrollo agropecuario, acuícola, forestal y turismo, priorizando actividades que garanticen soberanía alimentaria.	Baja capacidad de acogida del suelo para conservación del patrimonio natural, por prevalencia de actividades agroproductivas en zonas con aptitud agrícola. La maximización de la producción es necesaria para garantizar la soberanía alimentaria. Además, para promover el flujo comercial, la actual accesibilidad vial y cercanía a centros poblados facilitan el establecimiento de actividades sin impacto al medioambiente como turismo comunitario, fabricación de artesanías; entre otras.

Tabla 63. *Porcentaje de superficies de Categorías de Uso de Suelo Rural*

Capacidad de acogida para conservación y manejo sustentable del patrimonio natural	Superficie hectáreas	% de Ocupación
ALTA	18.647,10	29,10%
MEDIA-ALTA	36.633,60	57,16%
MEDIA-BAJA	6.946,20	10,84%
BAJA	1.862,82	2,91%

Elaborado por: Paola Parra

Según el Mapa No. 09: “Categorías de Uso de Suelo Rural del Corredor Ecológico del Oso Andino-DMQ”, el 57,16% del área de estudio se halla bajo una categoría de capacidad de acogida del territorio denominada “media-alta”. Dentro de esta categoría prevalece la cobertura vegetal natural; sin embargo, más del 50% de esta cobertura se halla bajo ningún estatus de conservación (e.g., bosques protectores o áreas protegidas). La intervención en esta categoría tiene como objetivo la conservación y manejo sustentable del patrimonio natural, lo cual merece especial atención, pues se presentaron indicios de actividades agroproductivas a pesar de ser nula la aptitud agrícola del suelo. Complementario a ello, el 29,10% del área de estudio presenta alta capacidad de acogida para conservación y manejo sustentable del patrimonio natural, en donde la aptitud del suelo para conservación exige de prácticas que conserven los recursos naturales. La siguiente categoría abarca el 10,84% del corredor ecológico, en donde se hizo latente el conflicto por sobreutilización del suelo para fines agroproductivos. La aptitud agrícola del suelo no permite sostener cultivos, por lo que se procura recuperación de ecosistemas degradados. Finalmente, menos del 3% del corredor tiene capacidad baja para conservación, pues el uso actual y la aptitud del suelo guardan armonía con el uso agroproductivo del suelo. En resumen, el área de estudio es propicia para conservación y protección del patrimonio natural; por lo cual, la conservación del hábitat para la supervivencia del oso andino puede hacerse efectiva mediante la aplicación de la capacidad de acogida del suelo rural en la planificación del ordenamiento territorial en el corto, mediano y largo plazo.

CAPÍTULO V

5. DISCUSIÓN

5.1. Cumplimiento del Programa de Conservación del Oso Andino en el Noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito 2014-2019

El Programa de Conservación del Oso Andino en el Nor-occidente del Distrito Metropolitano de Quito, que debe implementarse en el período entre el 2014 y 2019, ha planteado una participación activa de los actores locales, políticos, de conservación y de investigación, con el objetivo de diseñar distintas actividades y alternativas para conservar el Corredor Ecológico del Oso Andino, su biodiversidad y al mismo tiempo mejorar la calidad de vida de la población que habita en el área mencionada (Secretaría de Ambiente-DMQ, 2014; Molina, 2012a).

Frente al requerimiento de conservación que plantea el programa en mención, la presente disertación ha cumplido sus objetivos, y a la vez, ha atendido a dos líneas de acción que están pendientes y deben ser implementadas hasta el 2019. La primera línea de acción, enmarcada en la investigación y monitoreo del oso andino en el DMQ, ha puntualizado la necesidad de realizar un estudio de la disponibilidad, calidad y conectividad de hábitat del mamífero en el corredor. La presente zonificación y conectividad con áreas potenciales para reforestación usando árboles de Pacches (*N. acutifolia*), se enmarca en la primera línea de acción y permite ampliar el hábitat disponible para *T. ornatus*. Esta zonificación ha considerado el comportamiento alimenticio estacional del mamífero y facilita su desplazamiento al establecer zonas donde es prioritario introducir cobertura boscosa. La metodología para dicha zonificación, partió de la aplicación de un modelamiento de distribución de *N. acutifolia*, en función del análisis multitemporal de cambio de uso de suelo y puntos de monitoreo de osos andinos. Por lo tanto, el presente resultado de modelamiento de *N. acutifolia* fue representativo de las condiciones de nicho ecológico que garantizan su persistencia y un acertado éxito de colonización. A pesar de que, los registros de presencia de Pacches representaron información sesgada que cubrió tan solo una parte de todo el rango de distribución de la especie, y en otros casos, presentaron errores de georreferenciación provenientes de herbarios, la construcción del modelamiento alcanzó un alto desempeño. Para lograr esto, la presente investigación manejó parámetros de regularización y umbrales de corte, en el software MaxEnt, que contrarrestaron efectos de la dependencia espacial del muestreo (e.g, sesgo de información).

En el Ecuador no existen estudios relacionados con el modelamiento de distribución de *N. acutifolia*; sin embargo, existe un estudio de modelamientos para Guadua, utilizando software MaxEnt en el Corredor del Chocó Andino para predecir idoneidad de hábitat. La metodología del presente estudio justifica su precisión por haber seleccionado variables representativas de las condiciones edafológicas y climáticas para Guadua, y que a su vez, han dado resultados óptimos para Pacches. La localización actual señalada a partir del modelamiento de *N. acutifolia* ha sido verificada por expertos conocedores de la distribución actual de la especie (Justicia, com. per.; Campaña, 1992). No obstante, para estudios posteriores se podría alcanzar un nivel más alto de precisión del modelamiento realizando una colección de individuos de *N. acutifolia* en campo, el cual cubra áreas donde no hay sobremuestreo. A partir del estudio realizado por Molina (2012a), la importancia de *N. acutifolia* como un recurso alimenticio que congrega estacionalmente a individuos de *T. ornatus*, se ha convertido en una herramienta que avala el uso de esta especie arbórea para establecer conectividad en el Corredor Ecológico del Oso Andino. Por su parte, Rohwer (1993) menciona el éxito de colonización de Pacches en bosque secundario, lo cual fue corroborado en la presente disertación, ya que el modelamiento señaló idoneidad de su distribución en bosques secundarios entre 1.300 y 1.500 m.s.n.m. asociados a Bosque Siempreverde Montano Bajo.

La zonificación de áreas potenciales para reforestación con Pacches del presente estudio no solo abre la oportunidad de instaurar un programa que priorice reforestación para proveer de alimento al oso andino en el DMQ; sino que, establece zonas cuyo potencial de fijación de carbono cumplen con los requisitos de línea base de REDD+. Este es un mecanismo de mitigación del cambio climático desarrollado bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) que busca reconocer y proveer incentivos positivos a los países en vías de desarrollo para proteger sus recursos forestales, mejorar su gestión y utilizarlos de manera sostenible para contribuir a la lucha global contra el cambio climático y sus efectos. El incentivo exclusivo inicial del mecanismo era reconocer el almacenamiento de carbono de áreas forestales con altos contenidos de carbono y fuertes presiones de deforestación o degradación; posteriormente, fue incluido un enfoque más amplio que reconoce otras actividades elegibles para este mecanismo como aquellas relacionadas con la conservación de los stocks de carbono, la gestión sostenible de los bosques y el aumento de las reservas forestales. A través de las estrategias REDD+, se busca que los bosques tengan un mayor valor en pie al que tendrían talados, puesto que se crea un valor financiero por el carbono almacenado en los árboles (Leguia & Moscoso, 2015).

Específicamente, la presente disertación ha determinado áreas elegibles para reforestación, a través de un análisis de cambio de uso del suelo entre el 2001 y 2017, considerando el concepto de bosque

adoptado por el Ecuador en la CMNUCC. El 33,90% del corredor del oso andino cumple con las condiciones de elegibilidad para reforestación. Por lo tanto, este análisis de elegibilidad de tierras representa la línea base para implantar proyectos bajo el mecanismo REDD+. Es decir, este análisis puede ser aprovechado para simplificar esfuerzos de reforestación, considerando además, las áreas dentro del corredor que presentan limitaciones para el normal desplazamiento del oso andino. Estas limitaciones están representadas en el Mapa No. 6 “Costos de desplazamiento del oso andino”, y representan una herramienta que se puede utilizar conjuntamente con áreas elegibles para reforestación; en donde, la fijación de carbono favorecería a su vez la movilización de osos andinos por la existencia de hábitat natural remanente.

La zonificación de áreas para reforestación propuesta en la presente investigación, integra también la normativa de planificación y gestión de uso del suelo que es mandatoria dentro del DMQ. Por este motivo, la gestión de un proyecto de reforestación, realizado bajo los preceptos de la zonificación en mención, respetaría los objetivos de ordenamiento territorial del DMQ. De acuerdo a la Resolución No. 007-CNC-2012 del Consejo Nacional de Competencias, el MAE firmará convenios directos con los GAD's (parroquiales y provinciales) para gestionar proyectos de reforestación. En cualquiera de los casos, la zonificación del presente estudio racionalizaría la reforestación; optimizando recursos tanto económicos como humanos para intervenir en las zonas identificadas como prioritarias.

La segunda línea de acción del programa de conservación del oso andino en el DMQ, se refiere a establecer alternativas productivas sustentables, cuyo objetivo es zonificar el área del Corredor del Oso Andino a fin de establecer los usos adecuados para cada zona. Frente a esta línea de acción que debe cumplirse hasta el 2019, la presente disertación ha establecido una propuesta de categorías de uso de suelo rural en función de la capacidad de acogida del territorio para conservación y manejo sustentable del patrimonio natural. Cabe recalcar que el 89,72% del corredor del oso andino presenta una aptitud de uso de la tierra para conservación estricta, ya que de manera natural no puede sustentar ningún cultivo. Motivo por el cual, la única alternativa de manejo es la conservación. Considerando que el 10% restante de aptitud del suelo menciona distintos usos agroproductivos, las categorías de uso de suelo rural propuestas en la presente investigación toman en cuenta las actividades de uso de suelo, el cambio de uso de suelo; así como, la accesibilidad y distancia a centros poblados del área de estudio. El rol de las actividades de uso de suelo, cambio de uso y silvicultura (conocido como LULUCF) toman un rol en la mitigación del cambio climático, ya que incrementan la remoción de gases de efecto invernadero en la atmósfera o reducen las emisiones desde las fuentes generadoras (Leguia & Moscoso, 2015).

El análisis del sector LULUCF está considerado dentro de la determinación de categorías de suelo rural, y por lo tanto, establecen usos adecuados dentro del corredor, que pueden ser tomados como un análisis base para la maximización de actividades de mitigación del cambio climático acorde a la vocación agrícola del territorio. Es muy probable que se incremente cada vez más la presión sobre el uso del suelo, generando así conflictos de sobreutilización en función de la aptitud agrícola de la tierra. Esta aseveración se sustenta en el análisis de conflicto de uso de suelo que ha señalado un 11,74% del corredor con problemas de sobreutilización del suelo, especialmente por utilización con cultivos semipermanentes y permanentes. Por otro lado, el análisis realizado respecto al cambio de uso de suelo entre los años 2001 y 2017 ha señalado una cifra alarmante del 56,9% de conversión de unidades de “bosque” (e.g., Bosque Nativo o Plantación Forestal) a cultivos, suelos sin cobertura vegetal y pastizales. Este cambio de uso de suelo implicaría el incremento de gases de efecto invernadero en la atmósfera durante el período de análisis. Existe además una tendencia positiva que señala un 47,07% de unidades de uso que han mantenido la composición herbácea y arbustiva entre los períodos analizados. Esta tendencia de cambio de uso del suelo presenta también condiciones favorables, ya que se ha hallado evidencia de presencia de *N. acutifolia* en pastizales y bosque secundario.

5.2. Pérdida de hábitat de oso andino y conflicto oso-ser humano

En el Corredor Ecológico del Oso Andino-DMQ se han detectado 42.019, 42 hectáreas de unidades de bosque (e.g. bosque nativo y plantaciones forestales), que representan el 65% de toda el área de estudio. De este porcentaje, el 67,25% de bosque recae sobre 10 bosques protectores, 1 área protegida del SNAP, 1 área protegida dentro del Subsistema Metropolitano de Áreas Protegidas del DMQ y 1 área del Programa Socio Bosque. Según está previsto en el Plan de Uso y Ocupación del Suelo del DMQ, las 14 unidades antes señaladas corresponden a categorías de Uso de Suelo de Conservación y Protección. Por tal motivo estas unidades manejan un estatus de conservación; mientras que, el 32,75 % de bosque no está protegido de acuerdo a la identificación realizada en la presente disertación. Se puede concluir que existe un bajo porcentaje de plantaciones forestales dentro de las áreas de conservación y protección; sin embargo, el porcentaje de bosque nativo tampoco cubre la totalidad de estas 14 unidades de conservación. Por ejemplo, el Bosque Protector Tanlahua posee el menor porcentaje de cobertura boscosa y abarca el 2, 34% de todo el bosque disponible en el corredor. Por el contrario, el mayor porcentaje de bosque nativo (27%) recae dentro del B.P. Cuenca del Río Guayllabamba-Área 1. Durante el periodo 2001-2017 se pudo detectar un porcentaje de conversión de unidades de bosque a cultivos, suelos sin cobertura vegetal y pastizales del 56,9%. El conflicto oso-ser humano se agrava justamente en las áreas cubiertas por cultivos y pastizales, ya que

Castellanos y colaboradores (2005) han demostrado que el oso puede atacar al ganado en pastizales y alimentarse de cultivos de maíz y caña. No obstante, el uso de hábitat entre el ganado y el oso andino no se solapa, y más bien, es casi improbable que el oso se movilice por zonas donde existan cabezas de ganado. El mapa de costos de desplazamiento del oso andino ha señalado que existen unidades de suelo cuya conectividad se ve truncada por la intervención agropecuaria; en donde, el 20,3% del corredor presenta algunas y severas limitaciones para el normal desplazamiento del mamífero. Como respuesta a este antecedente, el presente estudio ha priorizado áreas para reforestación con Pacches, sobre las cuales estableció una zonificación acorde a los usos y actividades que permite el Plan de Uso y Ocupación del Suelo-DMQ. Es así que, la mencionada zonificación podría establecerse como una herramienta que ha señalado las actividades agroforestales y de aprovechamiento productivo capaces de combinar especies arbóreas con un uso actual del suelo que reduzca el conflicto oso-ser humano.

El 36,75% (1.566,06 ha) de las áreas prioritarias para reforestación con Pacches se localizaron en zonas donde la normativa metropolitana dictamina un uso del suelo para protección ecológica; mientras que, el 63,25% restante (2.695,34 ha) se ubicó en zonas donde se permite el aprovechamiento de recursos naturales renovables y producción sostenible. Es decir, más del 50% de áreas prioritarias para reforestación podrían implementarse en sistemas agroforestales (SAF). Los SAF se establecen con el fin de optimizar la producción total por unidad de superficie, aumentando su rendimiento total. La agroforestería es un área interdisciplinaria que incluye interacciones entre árboles, personas y agricultura, manejando una serie de sistemas y tecnologías del uso de la tierra en las que se combinan la producción de cultivos con especies forestales y/o animales. Desde el punto de vista socio-económico, el uso de prácticas agroforestales reduce los riesgos económicos con base en la diversificación de la producción y la creación de nuevos puestos de trabajo en tareas de viveros, recolección y propagación de especies, siembras, mantenimiento de áreas, mejoramiento estético y recreacional etc. Desde el punto de vista biológico, las técnicas agroforestales permiten combinar especies con requisitos ambientales diferentes para mejorar el aprovechamiento de la energía radiante, utilizando tanto el espacio vertical como horizontal. Debido a la estructura vertical proporcionada por los árboles y otras especies leñosas, pueden convivir plantas y cultivos con diferentes requerimientos de luz, protegiendo al suelo de los efectos del sol, el viento y las fuertes lluvias que caracterizan la zona del trópico.

El mejoramiento del suelo en SAF está vinculado al crecimiento de los árboles fijadores de nitrógeno o de árboles/arbustos de raíces profundas, que aumentan la disponibilidad de los nutrientes a través de la fijación biológica. Los árboles en los SAF influyen en el ciclo del agua al incrementar la

intercepción de la lluvia y de nubes (goteo debido a la condensación al chocar las nubes con la vegetación) y al modificar la transpiración y la retención del agua en el suelo, reduciendo así la escorrentía e incrementando la infiltración. Un servicio ecosistémico de los SAF es el secuestro de carbono (C) en suelos y biomasa leñosa sobre y bajo suelo. Por ejemplo, actualmente el manejo ganadero tradicional involucra monocultivos de pastos, los cuales se degradan aproximadamente cinco años después de ser establecidos, liberando cantidades significativas de C a la atmósfera (IDEAM & Conservación Internacional, 2011). Sin embargo, no puede perderse de vista que el objetivo primordial de reforestación ha sido ampliar el hábitat del osos andinos y facilitar su desplazamiento. Razón por la cual, el presente estudio ha constituido una primera etapa que incentiva la evaluación *in situ* de las categorías de uso de suelo rural propuestas; y de la zonificación establecida para las áreas prioritarias de reforestación con Pacches.

CONCLUSIONES

Los corredores ecológicos son estrategias de manejo del paisaje y de ecosistemas, cuyo objetivo es conectar remanentes de vegetación natural con espacios cuya intervención antropogénica es escasa. El objetivo de la conectividad radica en prevenir la fragmentación de los hábitats e incrementar la biodiversidad, a fin de permitir el libre movimiento, la dispersión de especies y garantizar el flujo génico entre individuos de una misma especie. La creación de un corredor ecológico es efectiva al establecer una relación de armonía, respeto y beneficio mutuo entre la población local y la vida silvestre. Esta disertación representa un primer acercamiento que identificó áreas prioritarias para reforestación con *N. acutifolia* en el Corredor Ecológico del Oso Andino en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), como una estrategia de conectividad que permita la movilización del oso andino como especie paraguas. Además, *N. acutifolia* (Pacches) es una especie arbórea que provee de alimento estacional al mamífero; y es una especie nativa con potencial de colonizar bosque secundario, especialmente en unidades de bosque siempreverde piemontano, montano bajo y montano de la Cordillera Occidental de los Andes. La identificación de áreas prioritarias tomó en consideración criterios de elegibilidad, potencial distribución de Pacches, y costos de desplazamiento del oso andino.

Según el análisis de áreas elegibles para reforestación, el 66,10% del corredor presenta cobertura boscosa, páramos, infraestructura antrópica y plantaciones forestales; siendo condiciones no favorables para la colonización de árboles de Pacches. Mientras que el 33,9 % de la superficie total es elegible. Para comprender la dinámica de cambio de uso de suelo en las áreas elegibles, se determinaron cuatro patrones de cambio de uso que permiten implementar proyectos de reforestación. El mayor cambio correspondió al 56,9% de la superficie que en el 2001 era ocupado por bosque y al 2017 fue transformado a cultivos, zonas antrópicas y pastizales. En este grupo es alarmante el conflicto por sobreutilización del suelo, pues tan solo el 10,3% del área en estudio presenta aptitud agrícola, capaz de sustentar cultivos de manera natural. Un segundo patrón correspondió al 32,03% de cultivos que permanecieron como tal al 2017, y un 67,97% de la superficie recuperada con vegetación herbácea y arbustiva. Un tercer patrón señala zonas con menor alteración del paisaje, pues permanece sin alteración la vegetación arbustiva o se transforma a cultivos. Tanto el segundo como tercer patrón de conversión señalaron condiciones óptimas para la colonización de Pacches, por su factibilidad de crecer en bosque secundario.

La identificación de áreas potenciales para reforestación buscó alcanzar la conservación del hábitat del oso andino, considerando áreas donde existen limitaciones para el desplazamiento del mamífero.

Es así que se determinó que el 20,26% del corredor presenta algunas y severas limitaciones para la movilización de la especie, por la presencia de centros poblados, vías, cultivos y pendientes del terreno que dificultan su movilización y la de otras especies que se hallan en su rango de distribución. Aunque el 79,74% del área no representó dificultades, la expansión de cultivos y la interrupción de hábitat por presencia de vías amenazan la movilización del oso.

Además, se realizó un modelamiento para estimar la distribución potencial de árboles de Pacches; y así se identificó una idoneidad del 26,91% del corredor que logró satisfacer los requerimientos edafológicos y climáticos de la especie arbórea. La efectiva colonización de Pacches se sustentó en la confiabilidad del 95% del modelamiento de máxima entropía realizado y un desempeño medido con el estadístico AUC parcial igual a 1,98. El estudio de Ortega-Andrade y colaboradores (2015) alcanzó valores de 1,9 y 1,99 en sus modelamientos; indicando un óptimo desempeño predictivo de distribución de especies. Por lo tanto el modelamiento del presente estudio señala alta probabilidad de distribución de Pacches.

La presente disertación identificó áreas prioritarias para reforestación con Pacches en función de los criterios de elegibilidad, distribución de *N. acutifolia* y esfuerzo de desplazamiento del oso andino; y, determinó cinco zonas en el corredor ecológico. La zonificación establecida se resumió en la restauración del paisaje intervenido, el manejo sostenible de recursos naturales en tierras productivas, y el manejo de pastizales con cercas vivas. De manera complementaria, estas zonas fueron enlazadas a la Reserva Geobotánica Pululahua, el ACUS Yunguilla, los 10 Bosques protectores y los remanentes de bosques nativo sin estatus de protección existentes al 2017 en el área de estudio. Así se logró una estructura de conectividad consolidada.

Finalmente, la metodología de capacidad de acogida del territorio fue aplicada para establecer cinco categorías de uso de suelo rural para conservación y manejo sustentable del patrimonio natural, ya que el corredor no presenta gran aptitud agrícola del suelo. Estas categorías de uso de suelo rural son una herramienta de ordenamiento territorial que permite organizar las actividades agroproductivas en el corredor; de tal manera se señaló que solo el 2,91% del área de estudio tiene acogida para aprovechamiento distinto a la conservación.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, P., Jiménez-Valverde, A., Lobo, J., & Real, R. (2012). Delimitando el área de accesibilidad en modelamiento de distribución de especies. *Journal of Biogeography*, 1-8. doi:doi:10.1111/j.1365-2699.2012.02713.x
- Álvarez-Portal, R. (2007). *Análisis de la exactitud geométrica y de las escalas de imágenes satelitales*. La Habana: Ministerio de Agricultura-Cuba. Recuperado el 20 de Septiembre de 2017, de <http://www.bvs.hn/cu-2007/ponencias/GEO/GEO-064.pdf>
- Antequera, E. (2008). *Temas de ordenación del territorio. Tomo II*. España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Araújo, M. B., & Guisan, A. (2006). Cinco o más desafíos en el modelamiento de distribución de especies. *Journal of Biogeography*(33), 1677-1688. doi:10.1111/j.1365-2699.2006.01584.x
- Arias-Suárez, I. (2007). Metodología para el tratamiento de imágenes satélite de alta resolución (HRS) para cartografía a grandes escalas. *Geocuba: V Seminario Nacional de Geomática*, 1-20. Recuperado el 21 de Septiembre de 2017, de <http://www.bvs.hn/cu-2007/ponencias/GEO/GEO-067.pdf>
- Ariza, A. (2013). *Descripción y Corrección de Productos Landsat 8-LDCM. Versión 1.0*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Austin, M. (2007). Modelos de distribución de especies y teoría ecológica: una evaluación crítica y nuevos enfoques posibles. *Ecological Modelling*, 200, 1-19. doi:10.1016/j.ecolmodel.2006.07.005
- Aves y Conservación-Birdlife Ecuador. (2017). *Áreas importantes para aves y biodiversidad*. Obtenido de <http://datazone.birdlife.org/site/ibacriteria>
- Barve, N. (2008). Tool for Partial-ROC. Versión 1.0. *Biodiversity Institute, Lawrence, KS*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2017, de <http://kuscholarworks.ku.edu/dspace/handle/1808/10059>
- Barve, N., Barve, V., Jiménez-Valverde, A., Lira-Noriega, A., Maher, S., Peterson, T., . . . Villalobos, F. (2011). El rol crucial del áreas de accesibilidad en modelamiento de nicho ecológico y modelamiento de distribución de especies. *Ecological Modelling*(222), 1810-1819. doi:10.1016/j.ecolmodel.2011.02.011

- Bennett, A. (1998). *Enlazando el paisaje: el papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre*. Gland, Suiza: IUCN.
- Brotons, L., Thuiller, W., Araújo, M. B., & Hirzel, A. (2004). Métodos de modelamiento de Presencia-absencia versus presencia para predecir idoneidad de hábitat para aves. *Ecography*, 27, 437-448.
- Brown, J. L. (2014). SDMtoolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *Methods in Ecology and Evolution*.
- Campaña, J. L. (1992). *Estudio de los patrones de floración, biología floral y relación con los polinizadores del género Nectandra (Lauraceae) en la Reserva Florística "Río Guajalito"*. Disertación previo a la obtención del título de Biólogo, Pontificia Universidad Católica del Ecuador: Quito, Ecuador.
- Cao, Y., DeWalt, E., Robinson, J., Tweddale, T., Hinz, L., & Pessino, M. (2013). Using MaxEnt to model the historic distributions of stonefly species in Illinois streams: The effects of regularization and threshold selections. *Ecological Modelling*, 259, 30-39. doi:dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.03.012
- Carrera, M., Bustamante, M., & Sáenz, M. (2016). *Las áreas protegidas del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: SA-DMQ, Fondo Ambiental, CONDESAN, Proyecto EcoAndes-Programa Bosques Andinos.
- Castellanos, A., Altamirano, M., & Tapia, G. (2005). Ecología y comportamiento de osos andinos reintroducidos en la Reserva Biológica Maquipucuna: implicaciones en la conservación. *Revista Politécnica*, 16-17.
- Castellanos, A., Cevallos, J., Laguna, A., Achig, L., Viteri, P., & Molina, S. (2010). *Estrategia Nacional de Conservación del Oso Andino*. Quito, Ecuador: Anyma.
- Castellanos, A., Jackson, D., & Arias, L. (2016). *Guía para el rescate, rehabilitación, liberación y monitoreo de Osos Andinos*. Quito, Ecuador.
- Cerda, J., & Cifuentes, L. (2012). Uso de curvas ROC en investigación clínica: aspectos teórico-prácticos. *Revista chilena de infectología*, 29(2), 138-141. doi:dx.doi.org/10.4067/S0716-10182012000200003
- Cerón, F., & Muñoz, O. (2015). *Árboles representativos de Pachijal. Guía práctica de identificación de especies arbóreas del Cantón San Miguel de los Bancos*. Quito: EcoFondo.
- Chapman, A. (2005). Principios y métodos para la depuración de datos-especies primarias y datos de ocurrencia de especies. *Reporte presentado para Global Biodiversity Information Facilit, Versión 1.0*, Copenhague.

- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial* (Segunda ed.). Madrid, España: Ediciones RIALP, S.A. doi:84321.2680.2
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección Ambiental, La observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona: Planeta S.A.
- CITES. (2017). *Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora: Tremarctos ornatus*. Recuperado el 13 de Marzo de 2017, de <https://www.cites.org/eng/app/appendices.php>
- Conservación Internacional. (2013). *Corredores de conservación*. Obtenido de http://www.conservation.org/global/peru/Historia/corredores/Pages/Corredores_de_Conservacion.aspx
- Cord, A., Klein, D., Mora, F., & Dech, S. (2014). Comparación de la idoneidad de información de cobertura de la tierra y variables provenientes de sensoramiento remoto como predictores de patrones de distribución de plantas. *Ecological Modelling*, 129-140. doi:dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.09.011
- Delgado-Cueva, T. (2008). *Evolución de la diversidad vegetal en Ecuador ante un escenario de cambio global*. Tesis Doctoral: Universidad Complutense de Madrid.
- Dodson, C., & Gentry, A. (1991). Biological Extinction in Western Ecuador. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 78(2), 273-295. Recuperado el 20 de febrero de 2017, de https://ia600705.us.archive.org/16/items/cbarchive_121205_biologicaextinctioninwesterne1991/biologicaextinctioninwesterne1991.pdf
- Ehrlen, J., & Morris, W. (2013). Cambio predecido en la distribución y abundancia de especies bajo cambio climático. *Cartas de Ecología*, 18(3), 303-314. doi:http://dx.doi.org/10.1111/ele.12410
- El Telégrafo. (3 de Agosto de 2016). ¿Cómo viven y de qué se alimentan los osos de anteojos? *El Telégrafo*, págs. 1-2. Recuperado el 23 de Junio de 2017, de <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/4/como-viven-y-de-que-se-alimentan-los-osos-de-anteojos>
- Elith, J., Kearney, M., & Phillips, S. (2010). El arte de modelar especie con amplio rango de desplazamiento. *Methods in Ecology and Evolution*(1), 330-342.
- Elith, J., Phillips, S., Hastie, T., Duhík, M., En Chee, Y., & Yates, C. J. (2011). Una explicación estadística de MaxEnt para ecologistas. *Diversity and Distributions*, 17, 43-57. doi:10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x

- ESRI. (2016). *ArcGIS, vers. 10.3*. Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, California, USA.
- ESRI. (2017). *ArcGIS Desktop. Sobre el análisis de los datos ráster y de imágenes*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2017, de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/about-analyzing-imagery-raster-data.htm>
- EUROPARC-España. (2009). *Conectividad ecológica y áreas protegidas. Herramientas y casos prácticos*. Madrid: FUNGOBE. doi:ISBN 978-84-935502-8-8
- Feijóo, P. (2013). *Estudio de la Capacidad de Acogida del Territorio en cuanto a la ubicación de Infraestructuras Industriales dentro de la Parroquia Tambillo, con enfoque al Plan de Ordenamiento Territorial*. Disertación previo a la obtención del título de Magíster en Desarrollo Regional y Planificación Territorial, Pontificia Universidad Católica del Ecuador: Quito, Ecuador.
- Fielding, A., & Bell, J. F. (1997). Una revisión de métodos para evaluar la predicción de errores en modelos de conservación de especies de presencia/ausencia. *Environmental Conservation*, 24(1), 38-49.
- Figeroa, J., Stucchi, M., & Rojas-VeraPinto, R. (2016). Modelación de la distribución del oso andino *Tremarctos ornatus* en el bosque seco del Maraón (Perú). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 1-9. doi:dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.01.008
- Galacho, F., & Arrebola, J. A. (2013). Modelo de evaluación de la capacidad de acogida del territorio con SIG y técnicas de decisión multicriterio respecto a la implantación de edificaciones en espacios rurales. *Investigaciones Geográficas*, 69-85. doi:10.14198/INGEO2013.60.04
- Gálmez, V., & Kómetter, R. (2009). Perspectivas y posibilidades de REDD+ en Bosques Andinos. En *Serie Investigación y Sistematización No.11*. (págs. 11-30). Programa Regional ECOBONA-INTERCOOPERATION. Lima, Perú.
- García, M., & Suárez, L. (1986). *Extinción de animales en el Ecuador*. Quito: Fundación Natura.
- Gentry, A. (1986). Species Richness and Floristic Composition of Chocó Region Plant Communities. *Caldasia*, 15, 71-75. doi:10.15446/caldasia
- Gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica. (15 de Agosto de 2017). *Información del Sistema de Posicionamiento Global y asuntos relacionados*. Obtenido de <https://www.gps.gov/systems/gps/modernization/sa/benefits/>
- Goldstein, I. (2004). Andean bear use of the epiphytic bromeliad *Tillandsia fendleri* at Quebrada el Molino, Venezuela. *Ursus*, 15(1), 54-56. Recuperado el 13 de marzo de 2017, de [http://dx.doi.org/10.2192/1537-6176\(2004\)015<0054:ABUOTE>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.2192/1537-6176(2004)015<0054:ABUOTE>2.0.CO;2)

- Gómez Orea, D. (2007). *Ordenación Territorial*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Gómez, M., & Barredo, J. I. (2005). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid: Ra-Ma.
- González-Chávez, J. M. (2003). *Recuperación de la cobertura vegetal del bosque alto andino mediante el sistema de siembra directa de especies arbóreas nativas*. Disertación previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, Universidad de los Llanos: Yopa, Colombia.
- GPS NAVSTAR. (2008). *Servicio de Posicionamiento Estándar del Sistema de Posicionamiento Global: Estándar de desempeño* (Cuarta ed.). Estados Unidos: Departamento de Defensa de los E.E.U.U. Recuperado el 12 de Octubre de 2017, de <https://www.gps.gov/technical/ps/2008-SPS-performance-standard.pdf>
- Grinnell, J. (1917). Relaciones de nicho de California Thrasher. *American Ornithologist's Union*, 34(4), 427-433. Obtenido de <http://max2.ese.u-psud.fr/epc/conservation/PDFs/HIPE/Grinnell1917.pdf>
- Guisan, A., & Zimmermann, N. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135, 147-186. Recuperado el 4 de Septiembre de 2017, de <https://www2.unil.ch/biomapper/Download/Guisan-EcoMod-2000.pdf>
- Guisan, A., Graham, C., Elith, J., Huettmann, F., & NCEAS Group. (2007). Sensibilidad de los modelos predictivos de distribución de especies a la variación de la resolución espacial. *Biodiversity Research*, 13, 332-340. doi:DOI: 10.1111/j.1472-4642.2007.00342.x
- Hengl, T. (2006). Definir el tamaño correcto de pixel. *Computers / Geosciences*(32), 1283-1298. doi:10.1016/j.cageo.2005.11.008
- Hernández, L., & Arsiniegas, M. (2015). *Consultoría CDA-SA-007-2014: "Implementación de la primera fase del mapa de ordenamiento forestal en las ACUS y AIER como parte del proceso de fortalecimiento a la aplicación del Modelo de Gestión Forestal en el DMQ"*. Quito: Mapa de Zonificación Forestal.
- Hernández-Abreau, E., & Martínez-Pérez, M. (2012). El método bootstrap en la estimación de incertidumbres. *Redalyc*(1), 8-16. Recuperado el 12 de Septiembre de 2017, de <http://www.redalyc.org/pdf/2230/223023835002.pdf>
- Hernández-González, J. (2007). *Ciencia Matemática*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2017, de http://www.cienciamatematica.com/descarga/estadistica/estadistica_II.pdf
- Hijmans, R. J., Cameron, S., & Parra, J. (2005). Very High resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965-1978.

- Hutchinson, G. (1957). Concluding Remarks. *Cold Spring Harbor Symp. Quant.Biol.*, 22, 415-427.
- IDEAM & Conservación Internacional. (2011). *Sistemas agroforestales y restauración ecológica como medidas de adaptación al cambio climático en alta montaña, Caso piloto, Proyecto Nacional de Adaptación al Cambio Climático –INAP– componente B*. Bogotá.
- INEC-Ecuador. (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. Obtenido de REDATAM
- Instituto de la Ciudad; Sistema de investigación sobre la problemática agraria en el Ecuador (SIPAE). (2013). *Sistemas rurales-urbanos en el DMQ*. Quito. doi:978-9978-9995-9-2
- Instituto Geográfico Militar. (2006). *Especificaciones técnicas generales para la realización de cartografía topográfica a cualquier escala*. Quito: CÓDIGO: IGMC-PG-N-ET-01.
- Jorgensen, P., & León-Yáñez, S. (1999). *Catálogo de Plantas vasculares del Ecuador* (Vol. 75). (V. Hollowell, Ed.) St. Louis Missouri, E.E.U.U.: Missouri Botanical Garden.
- Justicia, R. (2007). *Ecuador's Choco andean corridor: A landscape approach for conservation and sustainable development*. Dissertation submitted to the Graduate Faculty of The University of Georgia of the requirements for the Degree in Doctor of Philosophy: Athens, Georgia.
- Koike, S., Kasai, S., Yamazaki, K., & Furubayashi, K. (2007). Fruit phenology of *Prunus jamasakura* and the feeding habit of the Asiatic black bear as a seed disperser. *The Ecological Society of Japan*, 23, 385-392. doi:DOI 10.1007/s11284-007-0399-3
- Kupfer, J. (2012). Landscape ecology and biogeography: Rethinking landscape metrics in a post-FRAGSTATS landscape. *Progress in Physical Geography*, 36(3), 400-420. doi:http://dx.doi.org/10.1177/0309133312439594
- Lechner, W., & Baumann, S. (2000). Sistemas Satelitales de Navegación Global. *Computer and Electronics in Agriculture*(25), 67-85. Recuperado el 10 de Octubre de 2017, de [https://scihub.cc/https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(99\)00056-3](https://scihub.cc/https://doi.org/10.1016/S0168-1699(99)00056-3)
- Leguía, D., & Moscoso, F. (2015). *Medidas y Acciones REDD+ Ecuador: Aplicación del enfoque paisaje y flujo/stock*. Programa Nacional Conjunto ONU REDD Ecuador y Ministerio de Ambiente del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Liu, C., Berry, P. M., Dawson, T. P., & Pearson, R. G. (2005). Seleccionar umbrales de ocurrencia en la predicción de distribución de especies. *Ecography*, 28, 385-393.
- MAE-Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). *Manuel para la Gestión Operativa de las Áreas Protegidas de Ecuador*. Quito, Ecuador: Proyecto USAID: Costas y Bosques Sostenibles.
- MAE-Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Quito: Subsecretaría de Patrimonio Natural.

- MAE-Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2014a). *Mapa Interactivo Ambiental*. Recuperado el 25 de Abril de 2017, de <http://mapainteractivo.ambiente.gob.ec/>
- MAE-Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2014b). *Plan Nacional de Restauración Forestal 2014-2017*. Quito.
- MAE-Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2016). *Estrategia Nacional de Biodiversidad 2015-2030* (primera ed.). Quito, Ecuador. doi:978-9942-22-081-3
- MAGAP-IEE. (2013). *Proyecto MAGAP (SINAGAP)-IEE Informe Final. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca e Instituto Espacial Ecuatoriano*. Quito.
- MAGAP-SIGAGRO. (2014). *Mapa de aptitudes agrícolas del Ecuador continental. Escala 1:250.000*. Quito. Recuperado el 27 de 12 de 2017, de <http://balcon.magap.gob.ec/mag01/magapaldia/Anexos/3.4%20Anexo%2051%20C%20METODOLOGI%CC%81A%20PARA%20EL%20MAPA%20DE%20APTITUDES%20AGRI%CC%81COL.pdf>
- MAGAP-SINAGAP. (2014). *Zonificación agroecológica económica del Cultivo de café (Coffea spp.) en el Ecuador a escala 1:250.000*. Quito. Recuperado el 22 de Diciembre de 2017, de <http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/zae/cafe.pdf>
- MAG-IICA-CLIRSEN. (2002). *Proyecto MAG-IICA-CLIRSEN Informe Final. Ministerio de Agricultura, Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture, Centro de Levantamiento Integrados de Recursos Naturales*. Quito.
- Maldonado, A. (2016). *Evaluación de diferentes dosis de Hexametáfosfato de sodio en la determinación de tres tipos texturales del suelo*. Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Central del Ecuador: Quito, Ecuador.
- Mateo, R., Felicísimo, Á., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista chilena de historia natural*, 84(2), 217-240. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200008>
- MECN. (2009). Ecosistemas del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). *Publicación Miscelánea No. 6. Serie de Publicaciones del Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (MECN) - Fondo Ambiental del MDMQ*, 1-51. Recuperado el 14 de marzo de 2017, de http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/Documentos/patrimonio_natural/biodiversidad/guia_ecosistemas_dmq.pdf
- MECN- SA(DMQ). (2010). Áreas Naturales del Distrito Metropolitano de Quito: Diagnóstico Bioecológico y Socioambiental. *Reporte Técnico No.01. Serie de Publicaciones del Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (MECN)*, 1-216.

- Merow, C., Smith, M. J., & Silander, J. J. (2013). Una guía práctica de MaxEnt para el modelamiento de distribución de especies: ¿qué hace y por qué los datos de entrada y configuraciones importan? *Ecography*(36), 1-12. doi:10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x
- Missouri Botanical Garden. (2017). *Tropicos.org*. Recuperado el 5 de Septiembre de 2017, de <http://www.tropicos.org/Name/17804072>
- Molina, S. (2012b). *Informe Final del proyecto "Fortalecimiento del Subsistema Metropolitano de Áreas Protegidas"*. Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito - Centro de Transferencia de Tecnología de la Universidad San Francisco de Quito: Quito, Ecuador.
- Molina, S. (2012a). *Análisis preliminar de la dinámica poblacional y amenazas del oso andino (Tremarctos ornatus) al nor-occidente del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)-Ecuador*. Disertación previo a la obtención del título de Máster en Ciencias (Ecología Tropical), Universidad San Francisco de Quito: Quito, Ecuador.
- Molina, S. (2014). *Proyecto de consolidación del corredor natural para el oso andino (Tremarctos ornatus) al nor-occidente del DMQ*. Quito: Fondo Ambiental-Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito; Instituto de Ecología Aplicada (ECOLAP) de la Universidad San Francisco de Quito.
- Molina, S., Fuller, A. K., Morin, D. J., & Royle, J. (2017). Use of spatial capture-recapture to estimate density of Andean bears in northern Ecuador. *Ursus*, 117-126. doi:10.2192/URSU-D-16-00030.1
- Morrone, J. J. (2002). Presentación sintética de un nuevo esquema biogeográfico de América Latina y el Caribe. En C. Costa, S. A. Vanin, J. M. Lobo, & A. Melic (Edits.), *Monografías Tercer Milenio* (Vol. 2, págs. 267-276). Zaragoza: Proyecto de la Red Iberoamericana de Biogeografía y Entomología Sistemática PRIBES 2002.
- Moscoso, V., Albernaz, A. L., & de Paiva Salomao, R. (2013). Modelamiento de nicho ecológico de 12 especies de flora (seis especies maderables y 6 palmas) en la región amazónica a partir de colecciones y datos de campo. *Forest Ecology and Management*, 310, 652-662. doi:dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.08.064
- Mouton, A. M., De Baets, B., & Goethals, P. L. (2010). Relevancia ecológica de los criterios de desempeño en modelamiento de distribución de especie. *Ecological Modelling*, 221, 1995-2002. doi:10.1016/j.ecolmodel.2010.04.017
- Ordenanza Metropolitana No. 0127. (25 de Julio de 2016). Anexo: Plan de Uso y Ocupación del Suelo. PUOS-DMQ. *Ordenanza modificatoria de la Ordenanza Metropolitana No. 0041 del*

Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Distrito Metropolitano de Quito.

- Ortega-Andrade, H., Rojas-Soto, O. R., Valencia, J. H., Espinosa de los Monteros, A., Morrone, J. J., Ron, S. R., & Cannatella, D. C. (2015). Insights from Integrative Systematics Reveal Cryptic Diversity in *Pristimantis* Frogs (Anura: Craugastoridae) from the Upper Amazon Basin. *Plos One*, *10*(11), 1-43. doi:10.1371/journal.pone.0143392
- Ortega-Andrade, M., & Rojas-Soto, O. (2017). *Material de clase: IV Curso Pre-Congreso de Modelado de Nicho Ecológico*. Tena: Universidad Amazónica IKIAM.
- Ortegón, E., Pacheco, J. F., & Prieto, A. (2005). Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas. *Publicación de las Naciones Unidas*. doi:1680-8878
- Pearson, R., Raxworthy, C., Nakamura, M., & Peterson, A. (2007). Predecir la distribución de especies a partir de pocos registros de ocurrencia: caso de evaluación de cryptic geckos en Madagascar. *Journal of Biogeography*, *34*, 102-117.
- Peterson, A., & Soberón, J. (2012). Modelamiento de distribución de especies y modelamiento de nicho ecológico: correctas conceptualizaciones. *Revista Brasileira de Conservación de la Naturaleza*, *10*(2), 102-107. doi:dx.doi.org/10.4322/natcon.2012.019
- Peterson, A., Papes, M., & Soberón, J. (2008). Replanteamiento del análisis "Receiver Operating Characteristic" en modelamiento de nicho ecológico. *Ecological Modelling*, *213*, 63-72. doi:10.1016/j.ecolmodel.2007.11.008
- Peterson, A., Tian, H., Martínez-Meyer, E., Soberón, J., Sánchez-Cordero, V., & Huntley, B. (2005). Modelamiento de distribución de desplazamiento de especies y biomas. *Understanding the Future*, 211-228.
- Peyton, B. (1999). Spectacled bear conservation action plan. *Bears: status survey and conservation action plan*, 157-198.
- Philips, S., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, *31*(2), 161-175. doi:10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x
- Philips, S., Dudík, M., & Schapire, R. (18 de Octubre de 2017). *Software Maxent para el modelamiento de nichos y distribución de especies (version 3.4.0)*. Obtenido de https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/

- Phillips, S., & Dudík, M. (2008). Modelamiento de distribución de especies con MaxEnt: nuevas extensiones y extensas evaluaciones. *Ecography*, 31, 161-175. doi:10.1111/j.2007.0906-7590.05203.x
- Phillips, S., Anderson, R., & Schapire, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3), 231-259. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026
- Plissock, P., & 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. doi:http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022011000100005
- Posada, E. (2012). *Manual de práctica de percepción remota: Parte 1*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Registro Oficial No. 135. (2 de Diciembre de 2013). *Lineamientos de gestión para la conectividad con fines de conservación*, República del Ecuador.
- Registro Oficial No. 790. (5 de Julio de 2016). *LOOTUGS. Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo*, República del Ecuador.
- Registro Oficial Suplemento No.418. (10 de Septiembre de 2004). *Ley forestal y de conservación de áreas naturales y vida silvestre*, República del Ecuador.
- Registro Oficial Suplemento No.467. (26 de Marzo de 2015). Ordenanza Metropolitana No. 0041. *Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Distrito Metropolitano de Quito*.
- Ríos-Gallego, S. Y. (2014). *Determinación de la capacidad de acogida del territorio a usos complementarios y compatibles con la protección en la zona de influencia directa de los embalses. Caso de estudio: Embalses Porce II y Porce III*. Disertación previo a la obtención del título de Magíster en Estudios Urbano Regionales, Universidad Nacional de Colombia: Medellín, Colombia.
- Ríos-Uzeda, B., Villalpando, G., Palabral, O., & Álvarez, O. (2009). Dieta del oso andino en la región alta de Apolobamba y Madidi en el norte de La Paz. *Ecología en Bolivia*(44). Recuperado el 13 de marzo de 2017, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1605-25282009000100005&script=sci_arttext
- Rohwer, J. G. (1993). *Flora Neotrópica. Lauraceae: Nectandra* (Vol. 60). New York, USA: Organization for Flora Neotropica, The New York Botanical Garden.

- Rojas-Soto, O., Sosa, V., & Ornelas, J. (2012). Predicción de Bosque Nublado en el este y sudeste de México: perspectivas de conservación bajo escenarios futuros de cambio climático. *Biodiversity Conservation*, 21, 2671-2690. doi:10.1007/s10531-012-0327-x
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26. doi:10.1016/0377-2217(90)90057-I.
- Scottgale, E. (2015). Aguacatillo y Osos Andinos: una investigación preliminar sobre el impacto de los osos andinos (*Tremarctus ornatus*) en el aguacatillo (*Nectandra acutifolia*). En *Artículo presentado como cumplimiento del Programa Comparative Ecology and Conservation, SIT Study Abroad, Fall 2015*. Reserva Biológica Maquipucuna.
- Secretaría de Ambiente-DMQ. (2014). *Programa de Conservación del Oso Andino en el Noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito*. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito: Quito.
- SENPLADES. (2015). Uso de Suelo y conflictos de uso agrario. En *Lineamientos para la elaboración de Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales* (págs. 46-48). Quito.
- SENPLADES, CLIRSEN Y MAGAP. (Diciembre de 2011). *Sistema Nacional de Información*. Obtenido de Generación de Geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25.000: http://app.sni.gov.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA8/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/GUAYAS/GUAYAQUIL/MEMORIA_TECNICA/mt_conflictos_uso_de_la_tierra.pdf
- Sguerra, S., Bejarano, P., Rodríguez, O., Blanco, J., Jaramillo, O., & Sanclemente, G. (2011). *Corredor de Conservación Chingaza – Sumapaz – Guerrero. Resultados del Diseño y Lineamientos de Acción*. Bogotá, Colombia: Conservación Internacional Colombia y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá ESP.
- Shannon, C. (1998). Comunicación en presencia de ruido. *Proceeding of the IEEE*, 86(2), 447-457. doi:0018-9219/98
- Soberón, J., & Miller, C. P. (2009). Evolución de los nichos ecológicos. *Miscelánea Matemática*, 49, 83-99. Recuperado el 19 de Octubre de 2017, de <http://www.miscelaneamatematica.org/Misc49/4906.pdf>
- Souris, M. (15 de Octubre de 2017). *Modelo Digital de Elevación para el Ecuador a 30 metros de resolución*. Obtenido de <http://www.rsgis.ait.ac.th/~souris/ecuador.htm>

- Syphard, A., & Franklin, J. (2009). Differences in spatial predictions among species distribution modeling methods vary with species trait and environmental predictors. *Ecography*, 32(6), 907-918. doi:10.1111/lj.1600-0587.2009.05883.x
- Timaná, M., & Cuentas-Romero, M. (2015). Biogeografía predictiva: técnicas de modelamiento de distribución de especies y su aplicación en el impacto del cambio climático. *Espacio y Desarrollo*, 159-179. doi:dx.doi.org/10.18800/esapcioydesarrollo.201501.008
- Trimble Navigation Limited. (Mayo de 2012). *Guía del usuario de los colectores de mano Junio Series*. Westminster: Versión 1.00. Recuperado el 10 de Septiembre de 2017, de http://www.farmworks.com/files/manuals/Juno3Series_User_Guide_V1_RevB_Spanish.pdf
- Trimble Navigation Limited. (2013-2016). *Comparativa de productos de hardware para GIS*. Recuperado el 12 de Octubre de 2017, de <https://drive.google.com/file/d/0BxW3dqQ5gdnTOVJHUmhGSXBmMIU/view>
- Turner, M. (2005). LANDSCAPE ECOLOGY: What is the state of the science? *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 36, 319-344. Recuperado el 5 de Septiembre de 2017, de <https://search.proquest.com/docview/219568712?accountid=13357>
- Turner, M., & Gardner, R. (2015). *Ecología del Paisaje en la teoría y en la práctica: patrones y procesos* (Segunda ed.). New York: Springer. doi:10.1007/978-1-4939-2794-4
- VanDerWal, J., Shoo, L., Graham, C., & Williams, S. (2009). Selecting pseudo-absence data for presence-only distribution modeling: How far should you stray from what you know? *Ecological Modelling*(220), 589-594. doi:10.1016/j.ecolmodel.2008.11.010

ANEXOS

Anexo 1. Glosario

Aprovechamiento urbanístico o de suelo.- El aprovechamiento urbanístico o de suelo determina las posibilidades de utilización del suelo, en términos de clasificación, uso, ocupación y edificabilidad, de acuerdo con los principios rectores definidos en la LOOTUGS (2016).

Aptitud de uso de la tierra.- se refiere a la capacidad de ésta para su aprovechamiento bajo una categoría o tipo de utilización, desde el punto de la producción agropecuaria y/o forestal, en condiciones naturales (SENPLADES, CLIRSEN Y MAGAP, 2011)

Capacidad de Uso de la Tierra.- es la determinación en términos físicos, del soporte que tiene una unidad de tierra de ser utilizada para determinados usos o coberturas y/o tratamientos. Generalmente se basa en el principio de la máxima intensidad de uso soportable sin causar deterioro físico del suelo. El grado de limitaciones que la misma presenta permite definir su uso potencial (SENPLADES, CLIRSEN Y MAGAP, 2011)

Conectividad ecológica.- Con el fin de permitir el flujo de material genético en el mantenimiento de la biodiversidad, la conectividad ecológica es fundamental. En este sentido, el tener bloques compactos y grandes de cobertura boscosa favorece los procesos de conectividad ecológica, ayudando así al mantenimiento de la biodiversidad (Sguerra, *et al.*, 2011).

Conflicto de uso del suelo: es una medida que permite comparar la interacción de las unidades cartográficas de Cobertura y Uso Actual en relación con su Vocación Actual de Uso principal; además, esta incluye la definición de usos compatibles a la vocación de uso principal de cada unidad de tierra. (SENPLADES, 2015)

Ecosistema.- Un ecosistema es una unidad compuesta de organismos interdependientes que comparten el mismo hábitat. Los ecosistemas suelen formar una serie de cadenas que muestran la interdependencia de los organismos dentro del sistema. Las relaciones entre las especies y su medio, resultan en el flujo de materia y energía del ecosistema (Registro Oficial No. 135, 2013).

Forestación.- Establecimiento de plantaciones forestales en terrenos desprovistos o de incipiente vegetación forestal (MAE, 2014b).

Hábitat.- hace referencia al ambiente que presenta las condiciones adecuadas para que una población biológica pueda residir y reproducirse, perpetuando su presencia (Registro Oficial No. 135, 2013)

Nivel de fijación de carbono: la presencia de bosque implica que se cuenta con un activo que favorece la fijación de carbono. Entre mejor conservado esté el bosque y entre más se aumente la cobertura de bosque, se estaría mejorando las condiciones para la fijación de carbono (Gálmez & Kómetter, 2009).

Reforestación.- Reposición de plantaciones forestales en terrenos donde anteriormente existió cubierta arbórea (MAE, 2014b).

Madera en pie.- Árboles que se encuentran en el bosque en estado natural, antes de ser objeto de aprovechamiento (MAE, 2014b).

Ocupación del suelo.- La ocupación del suelo es la distribución del volumen edificable en un terreno en consideración de criterios como: altura, dimensionamiento y localización de volúmenes, forma de edificación, retiros y otras determinaciones de tipo morfológicos. La ocupación de suelo será determinada por los Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales y metropolitanos mediante su normativa urbanística que comprenderá al menos el lote mínimo, los coeficientes de ocupación, aislamientos, volumetrías y alturas, conforme lo establecido en esta LOOTUGS (2016).

Patrimonio Forestal del Estado.- Constituye toda la riqueza forestal natural, las tierras forestales y la flora y fauna silvestres existentes en el territorio nacional, que redunden de acuerdo con sus condiciones propias para la protección, conservación y producción (MAE, 2014b).

Procesos ecológicos.- son acciones o eventos de carácter físico, químico o biológico que vinculan a los organismos entre sí y con su medioambiente. Algunos de los procesos de los ecosistemas son la descomposición, la producción [de materia vegetal], el ciclo de los nutrientes y los flujos de nutrientes y de energía (Registro Oficial No. 135, 2013)

Productos forestales.- Componentes aprovechables del bosque, tales como madera, leña, carbón y otros diferentes de la madera, como cortezas, goma, resinas, látex, esencias, frutos y semillas (MAE, 2014b).

Sistema Agro - Silvo - Pastoril.- Sistema a través del cual se utiliza el suelo en usos múltiples de producción, en el que la **cobertura forestal constituye la actividad principal** de producción y la agrícola o ganadera como complementaria (IDEAM & Conservación Internacional, 2011).

Sostenible.- actividad mediante la cual se satisfacen las necesidades económicas, sociales, de diversidad cultural y de un medio ambiente sano de la actual generación, sin poner en riesgo la satisfacción de las mismas a las generaciones futuras (Registro Oficial No. 135, 2013).

Suelo.- El suelo es el soporte físico de las actividades que la población lleva a cabo en búsqueda de su desarrollo integral sostenible y en el que se materializan las decisiones y estrategias territoriales, de acuerdo con las dimensiones social, económica, cultural y ambiental (LOOTUGS, 2016).

Unidad de manejo.- Área natural declarada legalmente por el Estado como parque nacional, reserva ecológica, reserva de producción faunística o área nacional de recreación (IDEAM & Conservación Internacional, 2011).

Uso del suelo.- El uso es la destinación asignada al suelo, conforme con su clasificación y subclasificación, previstas en esta Ley. Los usos serán determinados en los respectivos planes de uso y gestión de suelo y en sus instrumentos complementarios (LOOTUGS, 2016).

Uso Potencial de la Tierra.- se refiere a la producción agrícola como un indicador que engloba las condiciones ambientales que caracterizan el terreno y los tipos de utilización agrícola, pecuarios y forestales que muestran la posibilidad de ser establecidos en él, así como el grado en que los requerimientos técnicos y biológicos de cada tipo de utilización pueden satisfacer por el conjunto de condiciones ambientales del terreno (SENPLADES, CLIRSEN Y MAGAP, 2011)

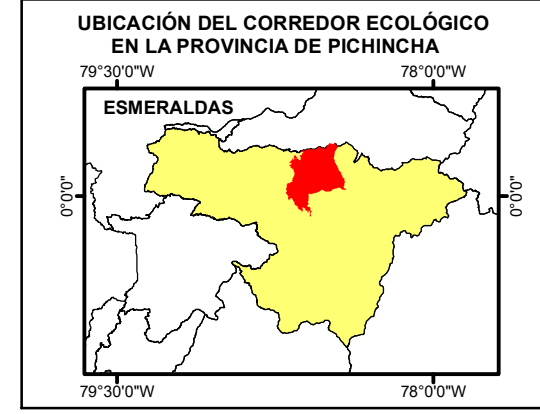
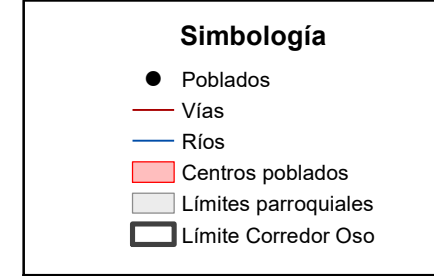
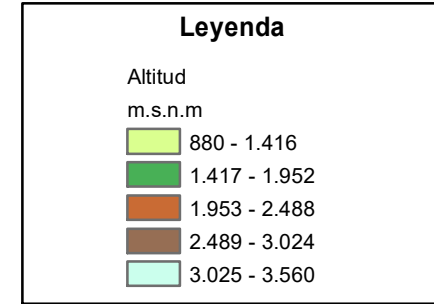
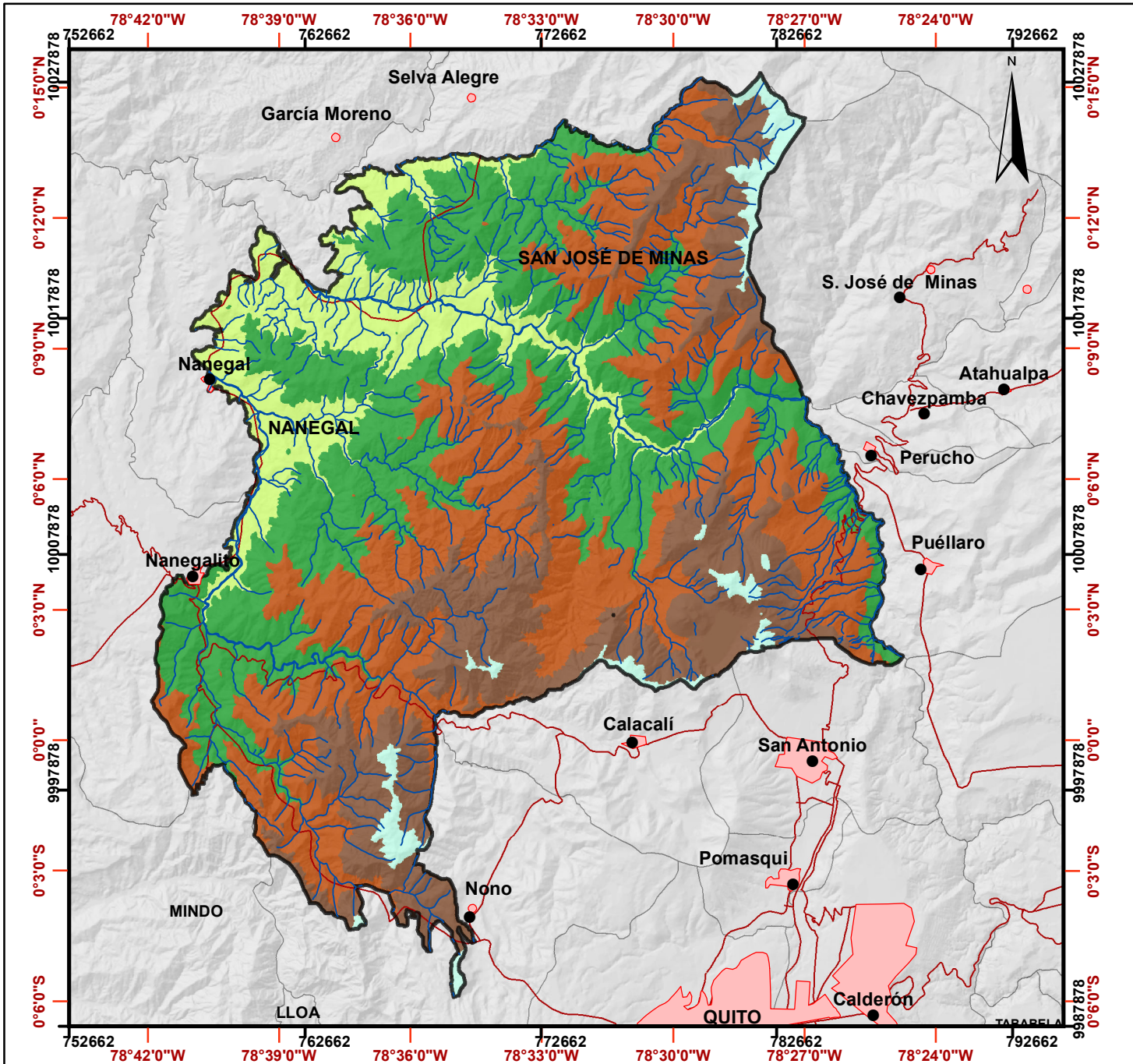
Anexo 2. Aptitudes agrícolas del Corredor Ecológico del Oso Andino

Categoría	Código	Clase de Aptitud	Descripción	Limitaciones	Aptitud agrícola	Superficie hectáreas	% Ocupación
C (Apto para cultivo)	C1	Muy apto	Tierras con pocas o ninguna limitación para actividades agropecuarias o forestales adaptadas ecológicamente a la zona.	Presentan suelos profundos de texturas francas, bien drenados y fáciles de trabajar. No presentan problemas de pedregosidad, con niveles altos de fertilidad, sin toxicidad, ni salinidad.	Agroproductivo óptimo, para cultivos anuales y ciclo corto	438,97	0,71%
	C2	Apto	Tierras con leves limitaciones, que reducen la elección de actividades o se incrementan los costos de producción debido a la necesidad de usar prácticas de manejo y conservación de suelos.	Se localizan en pendientes de 2 a 5 %, con suelos moderadamente profundos, de textura franca hasta limosa e inclusive con mayores contenidos de arcilla; drenaje natural bueno y moderado, poca pedregosidad que no imposibilita las labores de maquinaria agrícola. Requieren prácticas de manejo más cuidadosas que los suelos de la Clase C1. Incluyen a suelos ligeramente salinos y no salinos.			
	C3	Moderadamente apto	Tierras con limitaciones moderadas que restringen la elección de los cultivos. Para desarrollar cultivos anuales se requieren prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos y agua.	Ubicadas en pendientes de 5 a 12 %, con suelos poco profundos, moderadamente profundos e inclusive profundos; de textura arcillosa, franco arcillosa-arenosa; drenaje bueno y moderado, con poca pedregosidad que no limitan o imposibilitan las labores de maquinaria. Incluyen a suelos ligeramente salinos y no salinos. Puede incluirse además aquellas unidades con pendientes menores a 5 %, pero que presentan otras limitaciones.	Agroproductivo restrictivo 1 con manejo, para cultivos permanentes y semipermanentes	4.865,04	7,54%
	C4	Marginalmente apto	Tierras con fuertes limitaciones que restringen su uso a vegetación semipermanente y permanente. Los cultivos anuales se pueden desarrollar únicamente en forma ocasional y con prácticas muy intensivas de manejo y conservación de suelos y agua.	Localizadas en pendientes menores al 25 %, poco profundos a moderadamente profundos, con pedregosidad de hasta el 25 %, de textura variable, con drenaje bueno a moderado, que pueden presentar diferentes niveles de salinidad y alta toxicidad por carbonatos o aluminio. Esta clase de tierras requiere un tratamiento especial en cuanto a las labores de maquinaria agrícola, pues permiten un laboreo "ocasional". Se recomiendan medidas de protección del suelo.			
P (Apto para pastos)	P	Apto para pastizales	Tierras con severas limitaciones para el desarrollo de cultivos anuales, semipermanentes, permanentes; por lo cual, su uso se restringe para pastoreo o manejo de bosque natural.	Localizadas en pendientes menores al 12 %, generalmente, con profundidad efectiva superficial, con problemas de drenaje o pedregosidad que dificulta su mecanización; suelos con diferentes niveles de salinidad y toxicidad. Estos requieren de un tratamiento "muy especial", ya que presentan limitaciones difíciles de eliminar en la práctica.	Agroproductivo restrictivo 2 para pastoreo	1.312,50	2,03%
B (Apto para bosques)	B	Apto para bosques	Tierras con severas limitaciones en donde solo se permite el manejo forestal. En aquellos casos en que el uso actual sea diferente al bosque, se procurará la restauración forestal por medio de la regeneración natural.	Presentan diferentes características tanto físicas, químicas, climáticas y de relieve, las cuales, solas o combinadas, constituyen fuertes limitantes para la producción agraria, ya que de manera natural no pueden sustentar ningún cultivo, por lo que la única alternativa de manejo para las mismas es la conservación.	Conservación estricta	57.917,91	89,72%
SA (No apto)	SA	Sin aptitud agropecuaria o forestal	Tierras sin condiciones mínimas para actividades de producción agropecuaria o forestal. Las tierras de esta clase tienen utilidad solo como zonas de conservación de flora y fauna.	Presentan diferentes características tanto físicas, químicas, climáticas y de relieve, las cuales constituyen fuertes limitantes para la producción agraria, ya que de manera natural no pueden sustentar ningún cultivo, por lo que la única alternativa de manejo para las mismas es la conservación.			
					TOTAL	64.554,42	100%

Fuente: MAGAP-SIGAGRO, 2014

DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO - CORREDOR ECOLÓGICO DEL OSO ANDINO

ECUADOR - ESCALA 1:250.000



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
 Facultad de Ciencias Humanas
 Escuela de Ciencias Geográficas
 Ingeniería en Ciencias Geográficas y Planificación Territorial

Contiene:
 Mapa 01. Mapa Base del Corredor Ecológico del Oso Andino

Realizado por: Paola Parra	Revisado por: Mtr. Jorge Campaña
--------------------------------------	--

Fuente: IGM, Cartografía Base, 2015 Souris, Modelo Digital de Elevación, 2006	Escala Fuente 1:250.000 30 m, resolución espacial
--	--

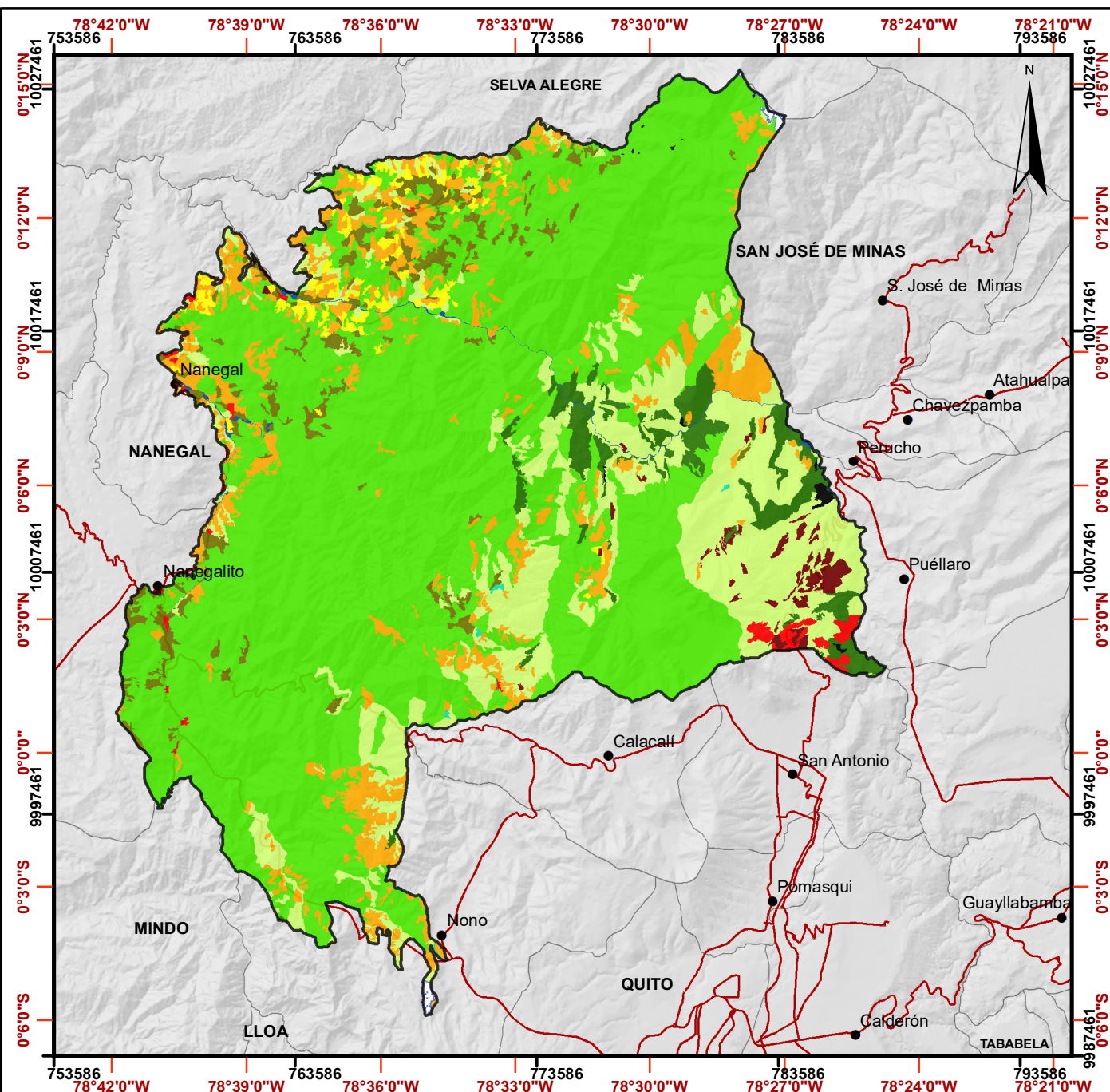
Fecha: Enero, 2018	Escala de trabajo: 1:250.000
------------------------------	--

ELIPSOIDE: World Geodetic System 1984 (WGS84)
 DATUM: World Geodetic System (WGS84)
 PROYECCIÓN: Universal Transversa de Mercator
 ZONA: 17 Sur

Notas y guía de compilación temática
 Modelo Digital de Elevación y Cartografía Base.

DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO - CORREDOR ECOLÓGICO DEL OSO ANDINO

ECUADOR - ESCALA 1:250.000



Leyenda

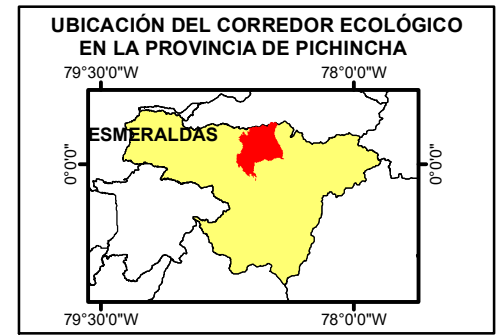
Uso del suelo y Cobertura vegetal 2017

Categoría

- Pastizal
- Cultivo anual
- Cultivo permanente
- Cultivo semi-permanente
- Infraestructura Antrópica
- Bosque Nativo
- Vegetación arbustiva
- Vegetación herbácea
- Plantación Forestal
- Páramo
- Cuerpos de agua
- Erial/ sin cobertura vegetal

Simbología

- Poblados
- Vías
- Límites parroquiales
- Límite Corredor Oso



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Facultad de Ciencias Humanas
Escuela de Ciencias Geográficas
Ingeniería en Ciencias Geográficas y Planificación Territorial

Contiene:

Mapa 02. Uso del Suelo y Cobertura Vegetal al 2017

Realizado por: Paola Parra	Revisado por: Mtr. Jorge Campaña
Fuente: SA-DMQ, Información temática, 2010 MAGAP (SINAGAP) - IEE, Información temática, 2013 Imagen LANDSAT 8, sensores OLI y TIRS, 2017	Escala Fuente 1:50.000 1:50.000 30 m, resolución espacial
Fecha: Enero, 2018	Escala de trabajo: 1:250.000

0 20 Km

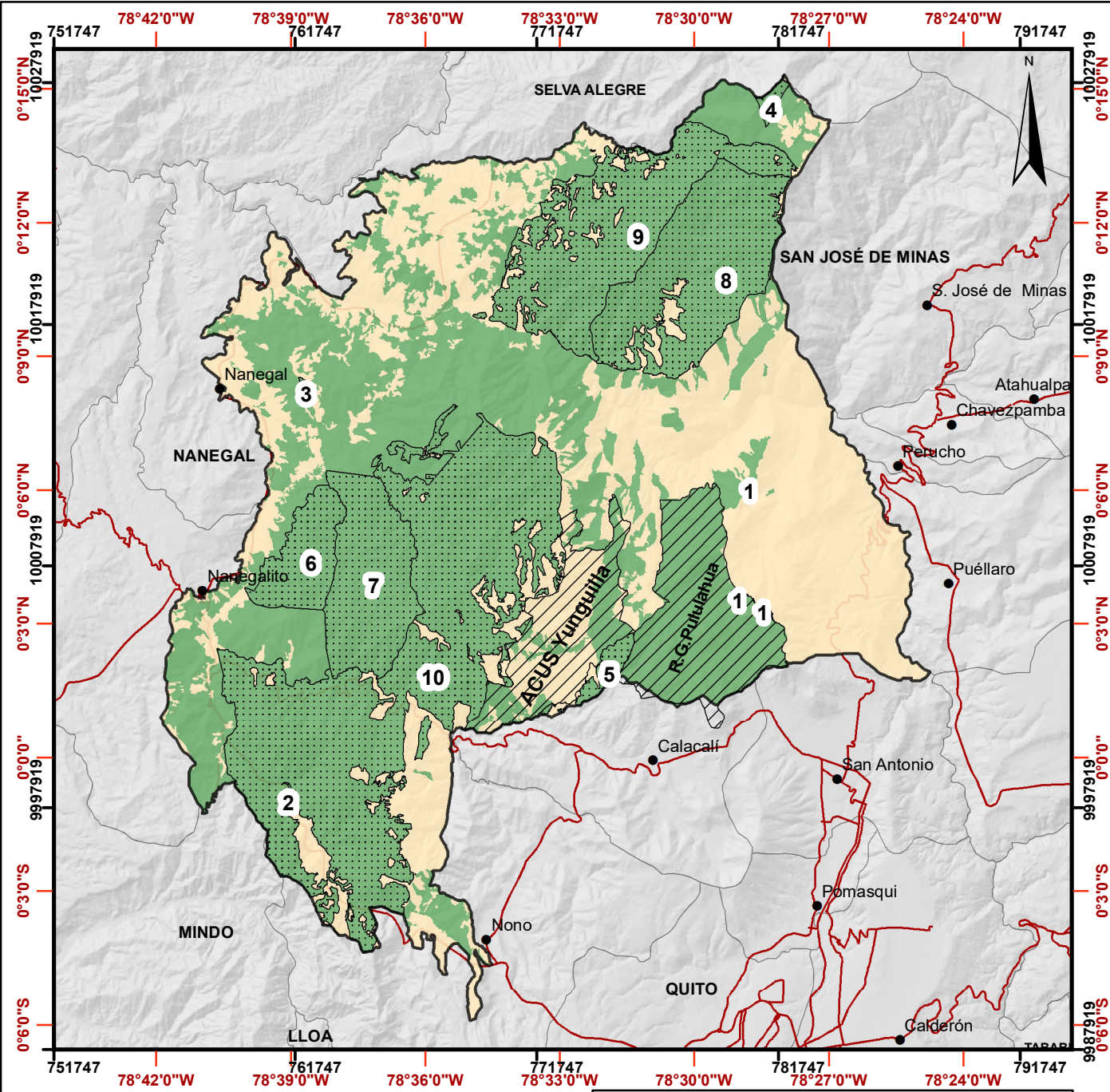
ELIPSOIDE: World Geodetic System 1984 (WGS84)
DATUM: World Geodetic System (WGS84)
PROYECCIÓN: Universal Transversa de Mercator
ZONA: 17 Sur

Notas y guía de compilación temática

Clasificación supervisada imagen LANDSAT 8, Path 10/ Row 60;
Cobertura de uso del suelo 2001; y actualización de Cobertura de uso del suelo y vegetación natural, 2017.

DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO - CORREDOR ECOLÓGICO DEL OSO ANDINO

ECUADOR - ESCALA 1:250.000



Leyenda

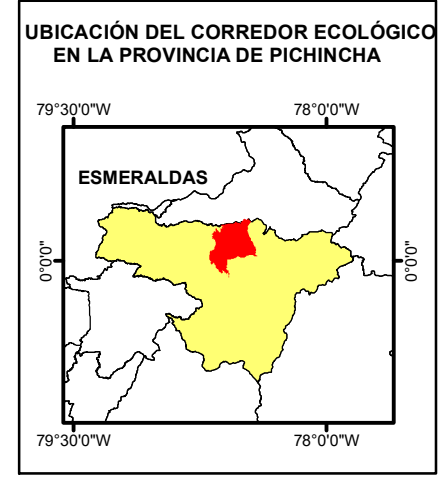
Unidades de Bosque y No-Bosque

- Bosque
- No-Bosque

Áreas Protegidas

Bosques Protectores

- 1 Tanlagua y ampliación
- 2 Hacienda San Eloy
- 3 San Segundo
- 4 Aminanga o Taminanga Grande
- 5 Flanco Oriental de Pichincha y Cinturón Verde de Quito
- 6 Cuenca Río Guayllabamba (Área 2)
- 7 Maquipucuna
- 8 Cambugán
- 9 Paso Alto
- 10 Cuenca Río Guayllabamba (Área 1)



Simbología

- Poblados
- Vías
- Límites parroquiales
- Límite Corredor Oso

Unidades de Bosque y No Bosque

Categoría	Porcentaje
SI (Bosque)	65,09 %
NO (No-Bosque)	34,91 %

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
 Facultad de Ciencias Humanas
 Escuela de Ciencias Geográficas
 Ingeniería en Ciencias Geográficas y Planificación Territorial

Contiene:
Mapa 03. Unidades de Bosque y No Bosque

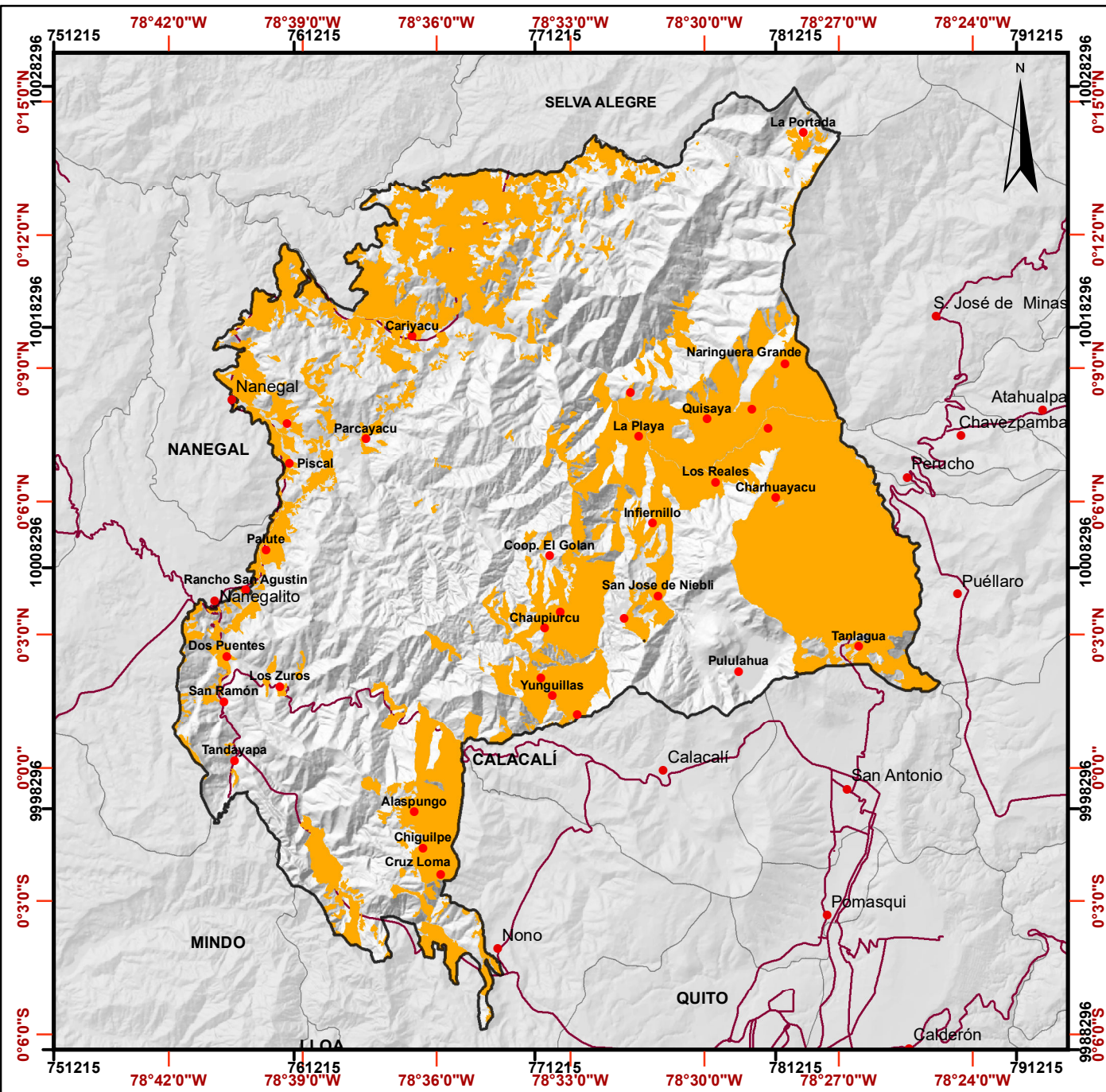
Realizado por: Paola Parra	Revisado por: Mtr. Jorge Campaña
Fuente: SA-DMQ, Información temática, 2010 MAGAP (SINAGAP) - IEE, Información temática, 2013 Imagen LANDSAT 8, sensores OLI y TIRS, 2017	Escala Fuente 1:50.000 1:50.000 30 m, resolución espacial
Fecha: Enero, 2018	Escala de trabajo: 1:250.000

0 20 Km
 ELIPSOIDE: World Geodetic System 1984 (WGS84)
 DATUM: World Geodetic System (WGS84)
 PROYECCIÓN: Universal Transversa de Mercator
 ZONA: 17 Sur

Notas y guía de compilación temática
 Clasificación supervisada imagen LANDSAT 8, Path 10/ Row 60;
 Cobertura de uso del suelo 2001; y actualización de Cobertura de uso del suelo y vegetación natural, 2017.

DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO - CORREDOR ECOLÓGICO DEL OSO ANDINO

ECUADOR - ESCALA 1:250.000



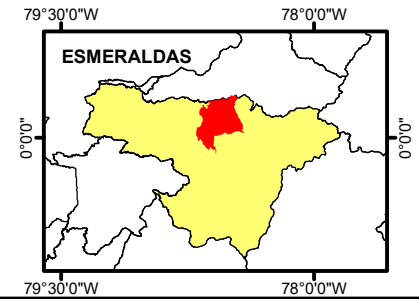
Legenda

■ Áreas elegibles para reforestación con Pacches

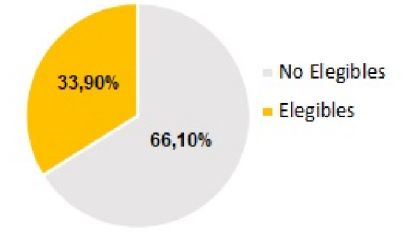
Simbología

- Poblados
- Vías
- ▭ Limite Corredor Oso
- ▭ Límites parroquiales

UBICACIÓN DEL CORREDOR ECOLÓGICO EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA



Áreas elegibles para reforestación según criterio de bosque



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Facultad de Ciencias Humanas
Escuela de Ciencias Geográficas
Ingeniería en Ciencias Geográficas y Planificación Territorial

Contiene: Mapa 04. Áreas elegibles para reforestación con <i>N. acutifolia</i> según el criterio de bosque	
Realizado por: Paola Parra	Revisado por: Mtr. Jorge Campaña
Fuente: MAGAP (SINAGAP) - IEE, Información temática, 2013 Souris, Modelo Digital de Elevación, 2006	Escala Fuente: 1:50.000 30 m, resolución espacial
Fecha: Enero, 2018	Escala de trabajo: 1:250.000

Notas y guía de compilación temática

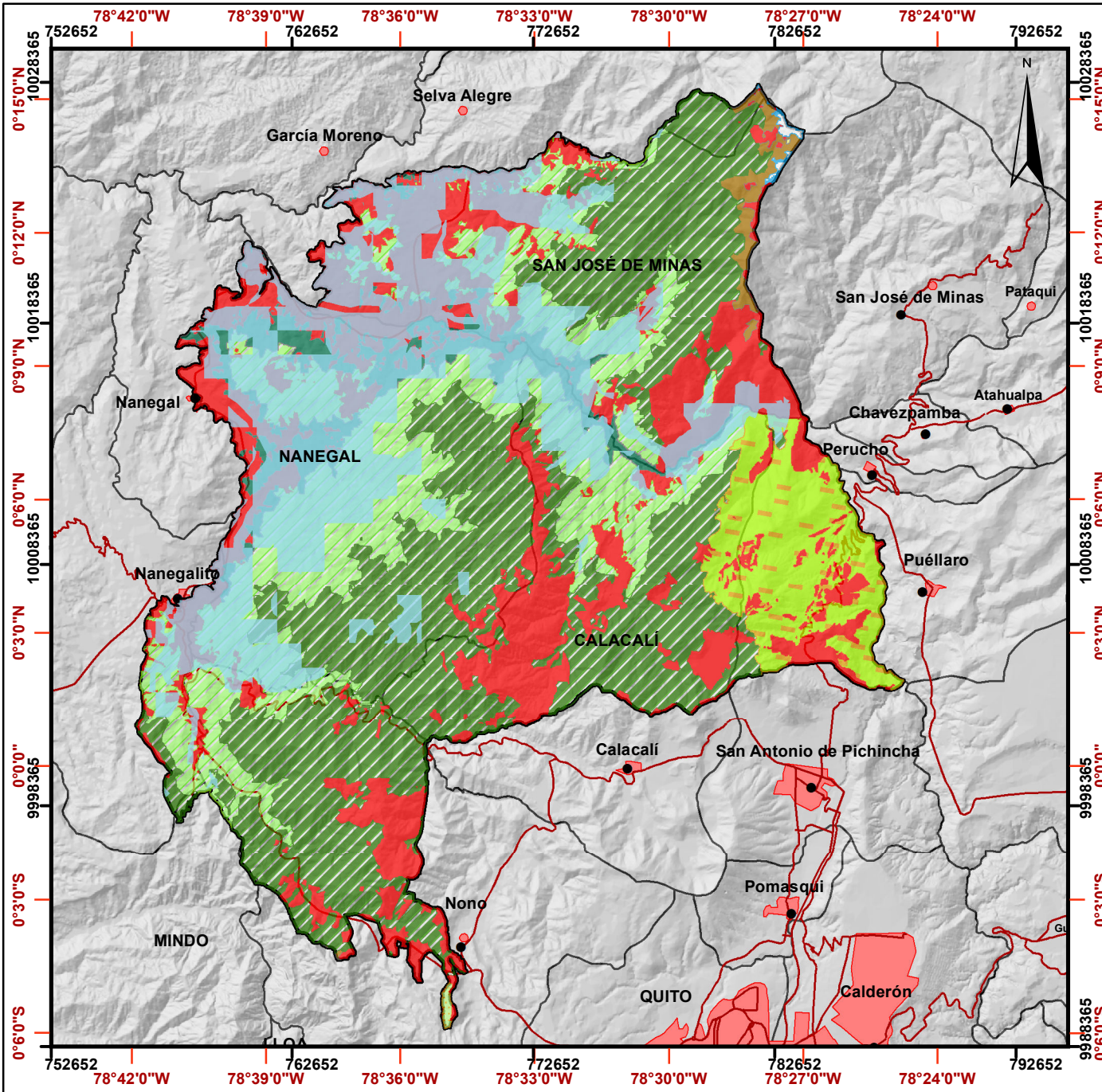
Modelo Digital de Elevación a 30 metros de resolución espacial;
Cartografía Base; Cobertura de uso del suelo y vegetación natural, 2017.

ELIPSOIDE: World Geodetic System 1984 (WGS84)
DATUM: World Geodetic System (WGS84)
PROYECCIÓN: Universal Transversa de Mercator
ZONA: 17 Sur

0 20 Km

DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO - CORREDOR ECOLÓGICO DEL OSO ANDINO

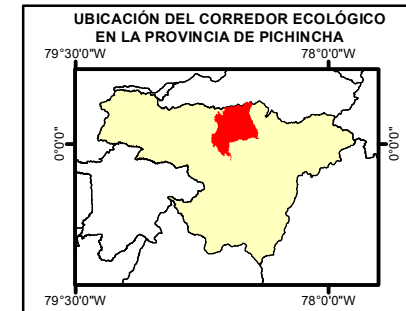
ECUADOR - ESCALA 1:250.000



Leyenda

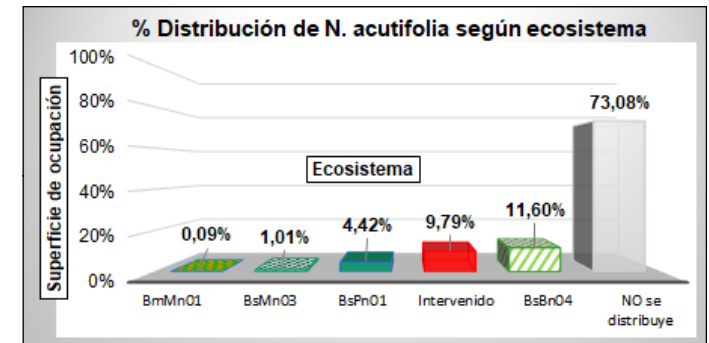
Distribución <i>N. acutifolia</i>		Superficie (ha)	% Ocupación
Existe idoneidad		17.374,6	26,91%

Nomenclatura	Ecosistema
BmMn01	Bosque y Arbustal semidecuido del norte de los Valles
BsMn03	Bosque siempreverde montano de Cordillera Occidental Andes
BsPn01	Bosque siempreverde piemontano Cordillera Occidental Andes
Intervenido	Intervención
BsBn04	Bosque siempreverde montano bajo Cordillera Occidental Andes
AsMn01	Arbustal siempreverde montano del norte de los Andes
BsAn03	Bosque siempreverde montano alto Cordillera Occidental Andes
AsSN01	Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo
HsSn02	Herbazal del Páramo



Simbología

- Poblados
- Vías
- Centros poblados
- Límites parroquiales
- ▭ Límite Corredor Oso



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
 Facultad de Ciencias Humanas
 Escuela de Ciencias Geográficas
 Ingeniería en Ciencias Geográficas y Planificación Territorial

Contiene: **Mapa 05. Áreas de Distribución de *N. acutifolia***

Realizado por: Paola Parra	Revisado por: Mtr. Jorge Campaña
Fuente: IGM, Cartografía Base, 2015 MAE, Clasificación Ecosistemas, 2013	Escala Fuente: 1:250.000 1:100.000
Fecha: Enero, 2018	Escala de trabajo: 1:250.000

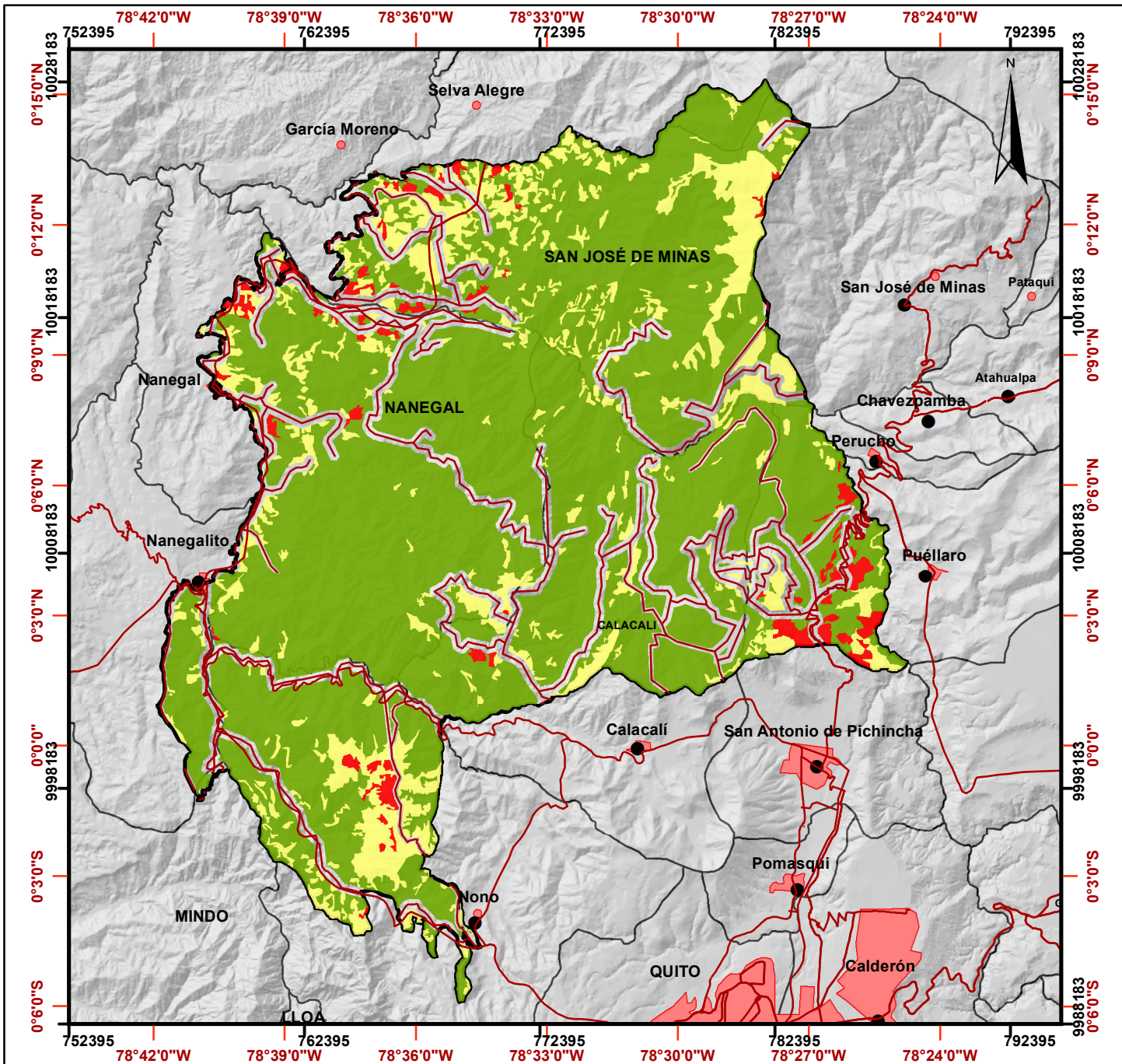
Notas y guía de compilación temática

Modelamiento de máxima entropía de *N. acutifolia* a 30 metros de resolución espacial; Cartografía Base; Ecosistemas del Ecuador Continental, 2013.

ELIPSOIDE: World Geodetic System 1984 (WGS84)
 DATUM: World Geodetic System (WGS84)
 PROYECCIÓN: Universal Transversa de Mercator
 ZONA: 17 Sur

DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO - CORREDOR ECOLÓGICO DEL OSO ANDINO

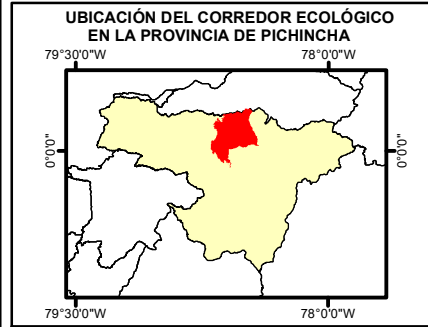
ECUADOR - ESCALA 1:250.000



Leyenda

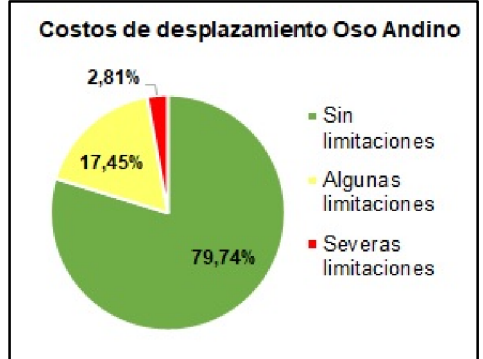
Costo de desplazamiento Oso Andino


- Severas Limitaciones
- Algunas Limitaciones
- Sin Limitaciones



Simbología

- Poblados
- Vías
- Centros poblados
- Límites parroquiales
- ▭ Límite Corredor Oso




Pontificia Universidad Católica del Ecuador
 Facultad de Ciencias Humanas
 Escuela de Ciencias Geográficas
 Ingeniería en Ciencias Geográficas y Planificación Territorial

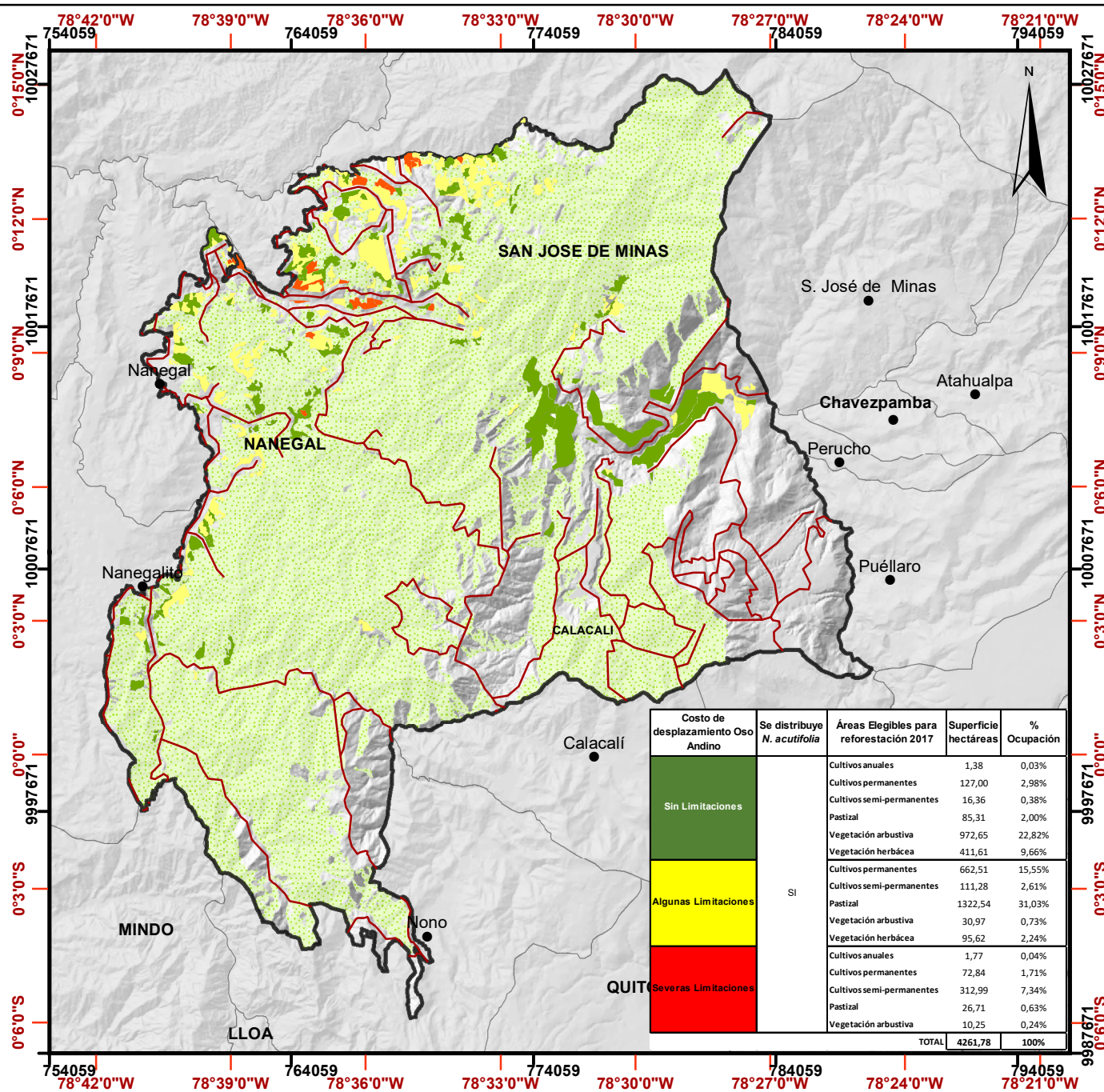
Contiene: Mapa 06. Costos de desplazamiento del Oso Andino *Tremarctos ornatus*

Realizado por: Paola Parra	Revisado por: Mtr. Jorge Campaña
Fuente: IGM, Cartografía Base, 2015 MAGAP (SINAGAP) - IEE, Información temática, 2013 Souris, Modelo Digital de Elevación, 2006	Escala Fuente 1:250.000 1:50.000 30 m, resolución espacial
Fecha: Enero, 2018	Escala de trabajo: 1:250.000

0 Km 20
 ELIPSOIDE: World Geodetic System 1984 (WGS84)
 DATUM: World Geodetic System (WGS84)
 PROYECCIÓN: Universal Transversa de Mercator
 ZONA: 17 Sur

Notas y guía de compilación temática
 Intersección Cartografía Base, Modelo Digital de Elevación a 30 metros de resolución espacial; y Cobertura Uso Actual y Vegetación Natural, 2017.

ECUADOR - ESCALA 1:250.000



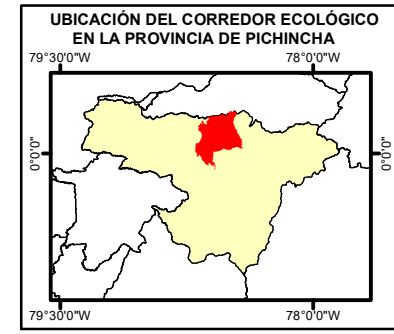
Leyenda

Áreas prioritarias reforestación según costo desplazamiento Oso Andino

- Severas Limitaciones
- Algunas Limitaciones
- Sin Limitaciones

Disponibilidad de bosque

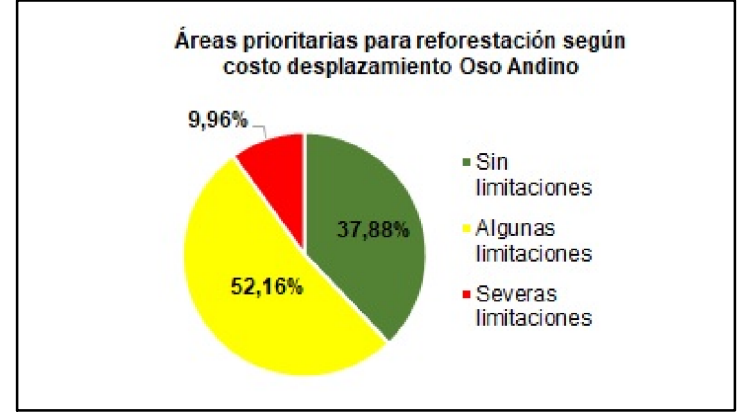
- Bosque Nativo



Simbología

- Poblados
- Vías
- Límites parroquiales
- Límite Corredor Oso

Costo de desplazamiento Oso Andino	Se distribuye <i>N. acutifolia</i>	Áreas Elegibles para reforestación 2017	Superficie hectáreas	% Ocupación
Sin Limitaciones	SI	Cultivos anuales	1,38	0,03%
		Cultivos permanentes	127,00	2,98%
		Cultivos semi-permanentes	16,36	0,38%
		Pastizal	85,31	2,00%
		Vegetación arbustiva	972,65	22,82%
		Vegetación herbácea	411,61	9,66%
Algunas Limitaciones	SI	Cultivos permanentes	662,51	15,55%
		Cultivos semi-permanentes	111,28	2,61%
		Pastizal	1322,54	31,03%
		Vegetación arbustiva	30,97	0,73%
Severas Limitaciones	SI	Vegetación herbácea	95,62	2,24%
		Cultivos anuales	1,77	0,04%
		Cultivos permanentes	72,84	1,71%
		Cultivos semi-permanentes	312,99	7,34%
		Pastizal	26,71	0,63%
		Vegetación arbustiva	10,25	0,24%
		TOTAL	4261,78	100%



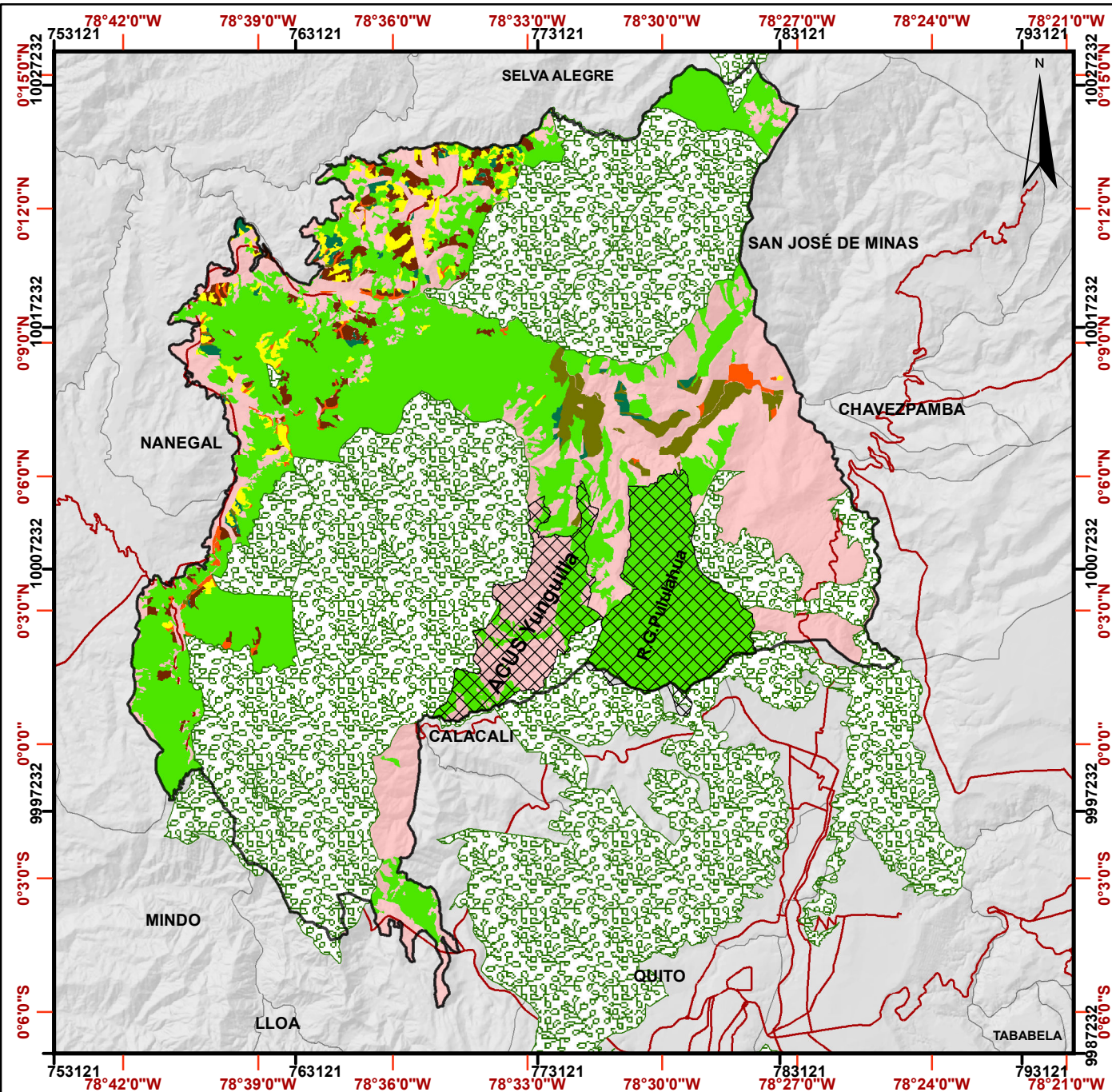
Pontificia Universidad Católica del Ecuador
 Facultad de Ciencias Humanas
 Escuela de Ciencias Geográficas
 Ingeniería en Ciencias Geográficas y Planificación Territorial

Contiene: **Mapa 07. Áreas prioritarias para reforestación con *N. acutifolia***

Realizado por: Paola Parra	Revisado por: Mtr. Jorge Campaña
Fuente: IGM, Cartografía Base, 2015 MAGAP (SINAGAP) - IEE, Información temática, 2013 Souris, Modelo Digital de Elevación, 2006	Escala Fuente 1:250.000 1:50.000 30 m, resolución espacial
Fecha: Enero, 2018	Escala de trabajo: 1:250.000

Notas y guía de compilación temática
 Intersección de áreas elegibles para reforestación, Modelamiento de máxima entropía de *N. acutifolia*.y, Mapa de costos de desplazamiento del oso andino-DMQ

ELIPSOIDE: World Geodetic System 1984 (WGS84)
 DATUM: World Geodetic System (WGS84)
 PROYECCIÓN: Universal Transversa de Mercator
 ZONA: 17 Sur



Leyenda

Elementos estructurantes de conectividad

Áreas núcleo

- Áreas Protegidas

Nodos de conectividad

- Bosques protectores
- Bosque Nativo

Ruta de conectividad: Zonificación áreas prioritarias para reforestación

- Zona 1 protección y conservación
- Zona 2 recuperación vegetal para protección
- Zona 3 recuperación vegetal en tierras productivas
- Zona 4 recuperación agroforestal en tierras productivas
- Zona 5 manejo de pastizales con cercas vivas

Matriz de paisaje

- Usos: agropecuario, urbano, entre otros



Simbología

- Vías
- Límites parroquiales
- Límite Corredor Oso

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Facultad de Ciencias Humanas
Escuela de Ciencias Geográficas
Ingeniería en Ciencias Geográficas y Planificación Territorial

Contiene:
Mapa 08. Zonificación áreas prioritarias para reforestación con *N. acutifolia* y elementos estructurantes de conectividad

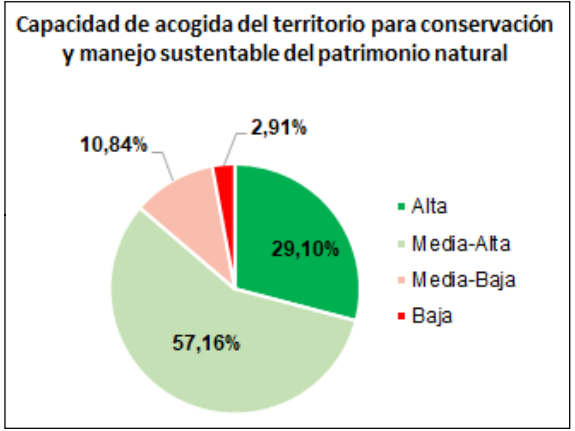
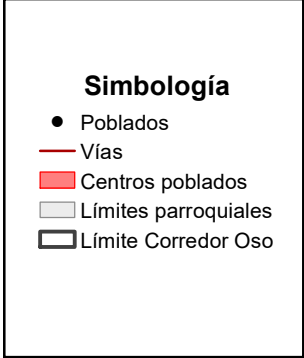
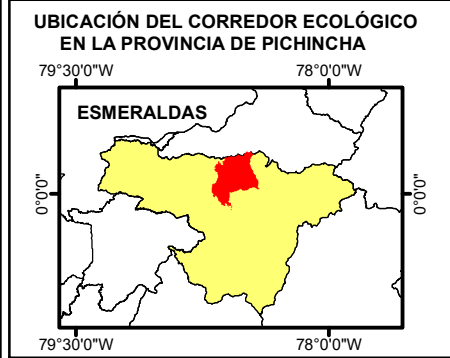
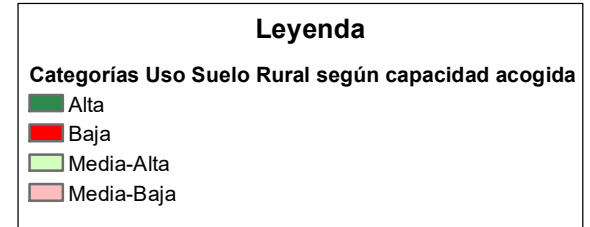
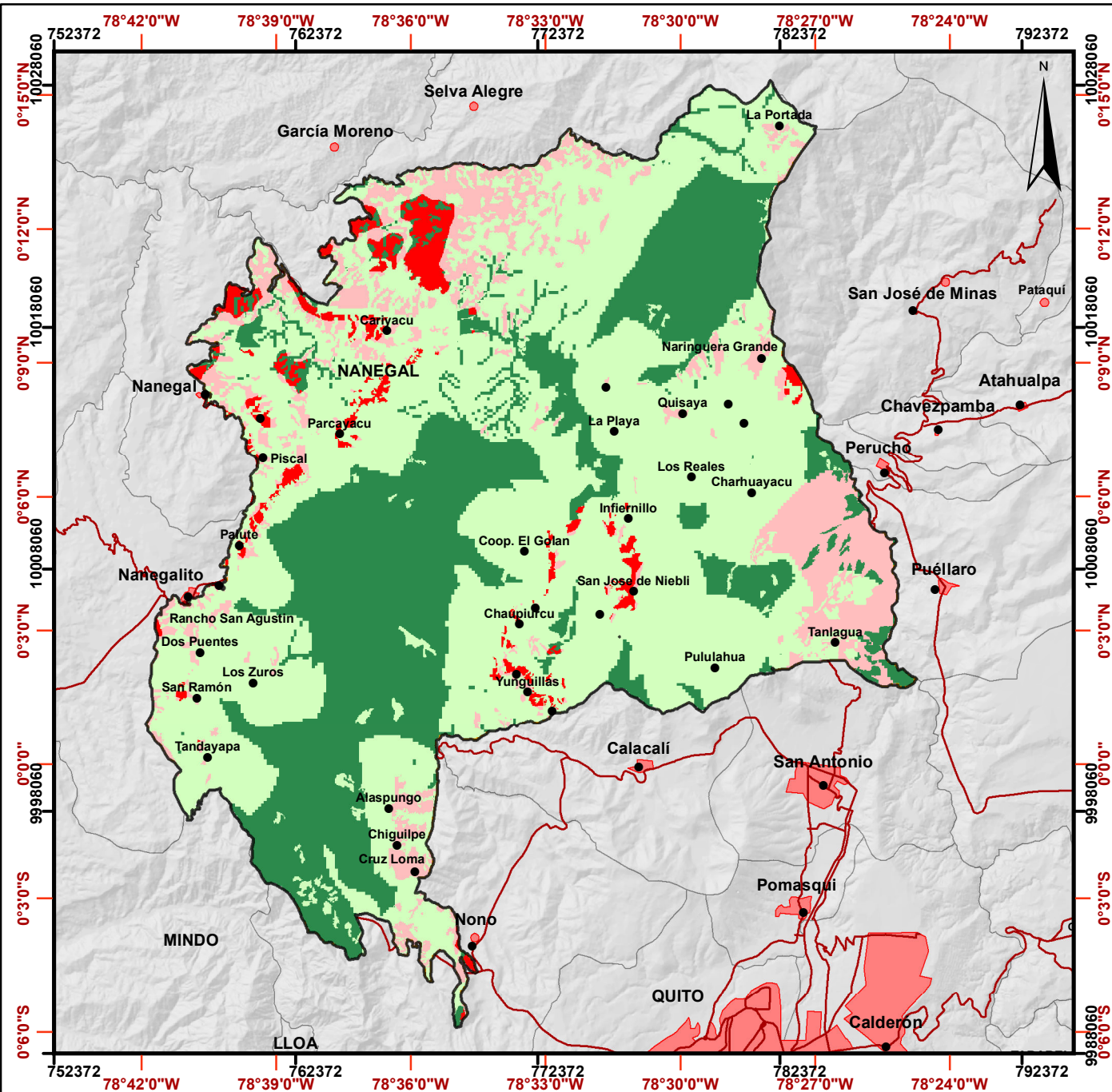
Realizado por: Paola Parra	Revisado por: Mtr. Jorge Campaña
Fuente: MAE, Información SNAP y Bosques Protectores, 2013 MAGAP (SINAGAP) - IEE, Información temática, 2013 IGM, Cartografía Base, 2015 SA-DMQ, Información Áreas Protegidas Municipales, 2016	Escala Fuente 1:250.000 1:50.000 1:250.000 1:50.000
Fecha: Enero, 2018	Escala de trabajo: 1:250.000

0 20 Km
 ELIPSOIDE: World Geodetic System 1984 (WGS84)
 DATUM: World Geodetic System (WGS84)
 PROYECCIÓN: Universal Transversa de Mercator
 ZONA: 17 Sur

Notas y guía de compilación temática
 Intersección de áreas prioritarias para reforestación con *N. acutifolia* y, Plan de Uso y Ocupación del Suelo del DMQ, 2016.

DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO - CORREDOR ECOLÓGICO DEL OSO ANDINO

ECUADOR - ESCALA 1:250.000



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
 Facultad de Ciencias Humanas
 Escuela de Ciencias Geográficas
 Ingeniería en Ciencias Geográficas y Planificación Territorial

Contiene:
Mapa 09. Categorías de uso de suelo rural en función de Capacidad acogida del territorio para conservación y manejo sustentable del patrimonio natural

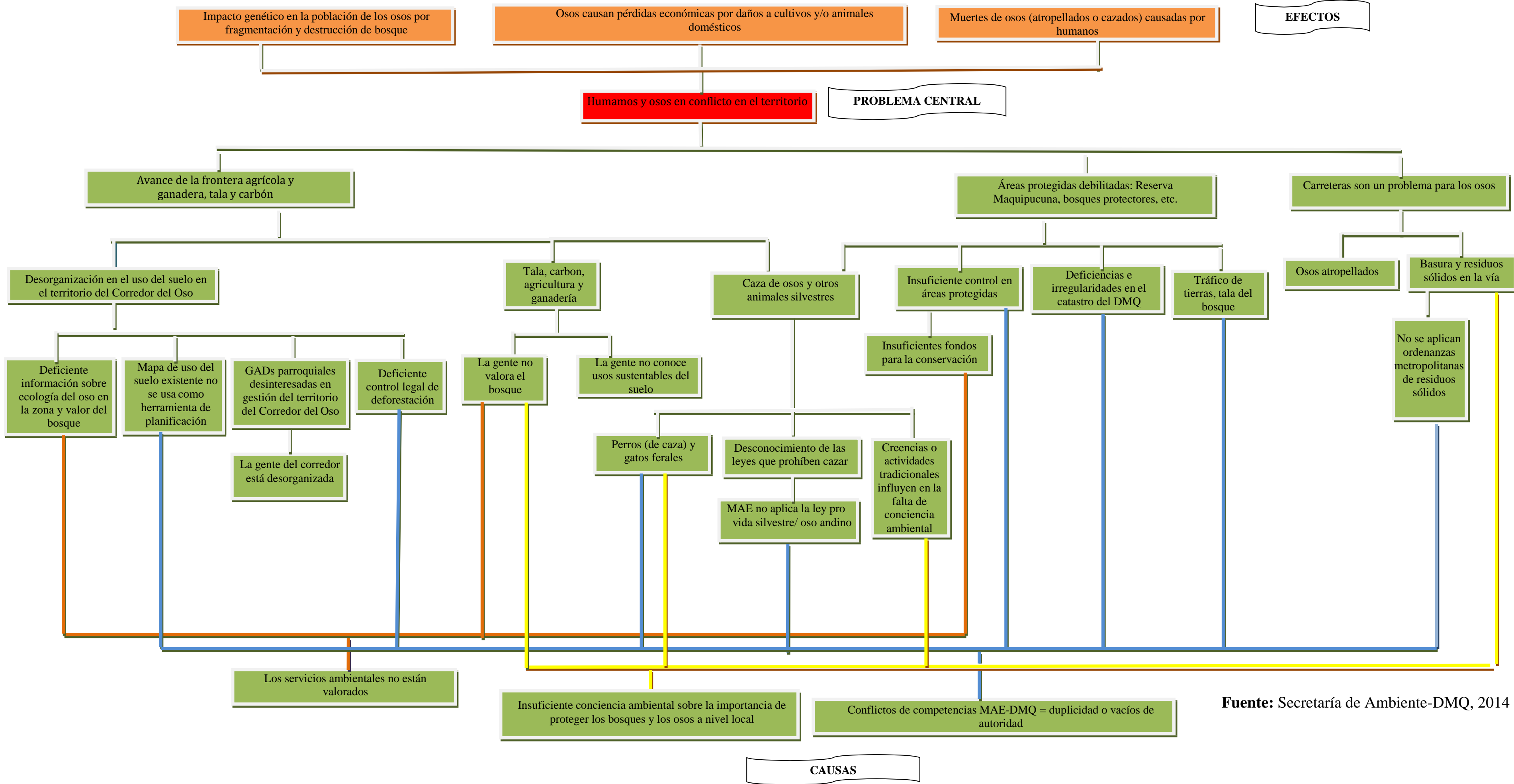
Realizado por: Paola Parra	Revisado por: Mtr. Jorge Campaña
Fuente: MAGAP (SINAGAP) - IEE, Información temática, 2013 MAGAP-SIGAGRO, Aptitudes agrícolas del Ecuador, 2014 IGM, Cartografía básica, 2015 DMQ, Plan Uso y Ocupación Suelo, 2016	Escala Fuente 1:50.000 1:250.000 1:250.000 1:25.000
Fecha: Enero, 2018	Escala de trabajo: 1:250.000

ELIPSOIDE: World Geodetic System 1984 (WGS84)
DATUM: World Geodetic System (WGS84)
PROYECCIÓN: Universal Transversa de Mercator
ZONA: 17 Sur

Notas y guía de compilación temática

Evaluación multicriterio de variables obtenidas de: Cartografía Base; Cobertura de uso del suelo y vegetación natural, 2017, Aptitud agrícola del suelo; y Categorías de uso principal del suelo contempladas en el Plan de Uso y Ocupación del suelo-Distrito Metropolitano de Quito, 2016.

Anexo 12. “Árbol de Problemas del Corredor Ecológico del Oso Andino”



Fuente: Secretaría de Ambiente-DMQ, 2014