



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**Análisis multicriterio para la determinación de la aptitud de riego en
la cuenca alta del río Guayllabamba**

**Trabajo de titulación presentado como requisito previo a la obtención
del Título de Ingeniero Agrónomo**

Autor: Juan Felipe Ordóñez Montalvo

Tutor: Ing. Agr. Carlos Lenin Montúfar Delgado MSc.

Quito, mayo 2019

DERECHOS DE AUTOR

Yo, Juan Felipe Ordóñez Montalvo en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación: **Análisis multicriterio para la determinación de la aptitud de riego en la Cuenca alta del Río Guayllabamba**, modalidad presencial, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, concedo a favor de la Universidad Central del Ecuador una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Central del Ecuador para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Juan Felipe Ordóñez Montalvo

C.C.: 1726188871

feliche2000@gmail.com

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, presentado por **JUAN FELIPE ORDÓÑEZ MONTALVO**, para optar por el Grado de Ingeniero Agrónomo; cuyo título es: **ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA APTITUD DE RIEGO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO GUAYLLABAMBA**, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

En la ciudad de Quito, al 24 día del mes de abril de 2019.

Ing. Agr. Carlos Lenin Montúfar Delgado MSc.

DOCENTE-TUTOR

CC.: 1707320865

**Análisis multicriterio para la determinación de la aptitud de riego en la
cuenca alta del río Guayllabamba**

APROBADO POR:

Ing. Agr. Carlos Lenin Montúfar Delgado, MSc.

TUTOR

Ing. Agr. Randon Stalin Ortiz Calle, M.Sc.

REVISOR/LECTOR VOCAL PRINCIPAL

Ing. Agr. Jaime Ramiro Hidrobo Luna, PhD

REVISOR/LECTOR DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

A la memoria de Raúl Montalvo, por su amor incondicional y su apoyo durante los años mas duros de mi vida, hoy si podrias llamarme ingeniero.

A mi madre María Montalvo, que con su ejemplo me enseñó a vivir, a compartir, a crecer y amar, por ayudarme a cumplir mis sueños y darme todo su amor.

A mi familia por estar siempre junto a mi bajo cualquier circunstancia.

A la vida.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central del Ecuador, la Facultad de Ciencias Agrícolas y sus docentes, quienes supieron transmitirme sus conocimientos, y darme las herramientas para desarrollarme profesionalmente.

Al Ingeniero Carlos Montúfar, por guiarme, apoyarme, y confiar en mis capacidades dura cada momento de este proyecto, por ayudarme a crecer dentro y fuera de las aulas de clase y enseñarme que la honestidad es la mejor arma con la que enfrentarse al mundo profesional.

A la Empresa INGEOMATICA y todas aquellas personas que en ella trabajan, por acogerme siempre de la mejor manera y compartirme sus experiencias.

A Fernando Montalvo por ser un verdadero padre y un amigo durante todo este tiempo, por su apoyo incondicional y confianza en mi.

A Dayan Guitierres, quien con su infinito y sincero amor me ha acompañado durante todo este proceso, alentándome a superarme y crecer, quien me ha apoyado y ayudado a superar todas las dificultades y darme tantas alegrías, por ser ante todo siempre y primero mi amiga.

A todos ustedes gracias por estar conmigo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	2
3.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.5.1	Unidades de clasificación	5
3.5.2	Descripción de Sub clases de Tierras con Aptitud de Riego.....	6
3.7.1	San Pedro	9
3.7.2	Pita.....	9
3.7.3	Guayllabamba Alto	9
3.7.4	Pisque	9
3.7.5	Guayllabamba medio	9
3.8.1	Métodos y sistemas de Riego.....	11
3.9.1	Componentes de una IDE.....	12
3.9.2	Estructura de una Infraestructura de Datos Espaciales	15
3.12.1	PostGIS	19
3.12.2	GeoServer	19
3.12.3	GeoExplorer.....	20
3.12.4	GeoWebCache.....	20
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
4.2.1	Ubicación política de la zona de estudio.....	21
4.2.2	Ubicación Geográfica de la zona de estudio	21
4.3.1	Tropical semiárido:.....	22
4.3.2	Mesotérmico semi - húmedo y seco:.....	22
4.3.3	Ecuatorial de alta montaña:	22
4.4.1	Software	22
4.4.2	Información temática	22

4.4.3	Equipos y materiales de oficina.....	22
4.5.1	Fase I: Recopilación de información.....	23
4.5.2	Fase II: Determinación de áreas con aptitud de riego	26
4.5.3	Fase III: Publicación de productos a travez geoportal.....	31
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
5.2.1	Subclases de la cuenca alta del rio Guayllabamba.....	37
5.2.2	Ordenes de suelo y aptitud para riego.....	39
5.2.3	Cobertura - Uso de la tierra y aptitud de riego	41
5.3.1	Idea del Proyecto.....	43
5.3.2	Visor Geográfico	43
6.	CONCLUSIONES	45
7.	RECOMENDACIONES	46
	Conforme a los resultados obtenidos y actividades desarrolladas en la presente investigación, se puede recomendar:.....	46
8.	Resumen.....	47
9.	Summary.....	48
10.	Referencias Bibliográficas	49
11.	Anexos.....	52

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. CLASES PARA LA EVALUACIÓN DE LA IDONEIDAD DE LOS SUELOS PARA SOPORTAR REGADÍO SEGÚN EL USBR	6
CUADRO 2. FACTORES QUE FAVORECEN LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE RIEGO.	11
CUADRO 3. INFORMACIÓN DE SUELOS NECESARIA PARA LA CLASIFICACIÓN DE TIERRAS SEGÚN SU APTITUD DE RIEGO (USBR, 1973)	25
CUADRO 4. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS FACTORES QUE DEBEN SER EXAMINADOS (USBR, 1973).	27
CUADRO 5. SÍMBOLOS UTILIZADOS EN LA EVALUACIÓN DE LA TIERRA SEGÚN SU APTITUD PARA RIEGO (USBR, 1973).	28
CUADRO 6. ESPECIFICACIONES GENERALES DE CLASIFICACIÓN PARA APTITUD DE RIEGO (USBR, 1973).	28
CUADRO 7. ESPECIFICACIONES GENERALES ADPTADAS DE LA METODOLOGÍA USBR PARA LA APTITUD DE RIEGO (TOPOGRAFÍA Y DRENAJE).....	29
CUADRO 8. ESPECIFICACIONES GENERALES ADPTADAS DE LA METODOLOGÍA USBR PARA LA APTITUD DE RIEGO (SUELO)	30
CUADRO 9. ÁREA SEGÚN LA APTITUD DE RIEGO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO GUAYLLABAMBA	34
CUADRO 10. ÁREA SEGÚN LA PENDIENTE PRESENTE EN LA ZONA DE ESTIDIO.....	36
CUADRO 11. ÁREA DE LIMITANTES PARA LA APTITUD DE RIEGO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO GUAYLLABAMBA.....	37
CUADRO 12. ÁREA DE APTITUD PARA RIEGO SEGÚN ORDEN DE SUELO (USDA).....	39
CUADRO 13. ÁREA DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA VS. CLASES DE APTITUD DE RIEGO	41

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. AGRUPACIÓN DE LAS TIERRAS POR SU APTITUD DE RIEGO	7
FIGURA 2. FACTORES DE CLASIFICACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE APTITUD DE RIEGO.....	8
FIGURA 3. MAPA DE LA CUENCA ALTA DEL RIO GUAYLLABAMBA Y SUS UNIDADES HIDROGRÁFICAS.....	10
FIGURA 4. ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DE LAS IDEs.....	16
FIGURA 5. ARQUITECTURA GENERAL DE UN GEOPORTAL.....	17
FIGURA 6. MAPA CONCEPTUAL DEL SOFTWARE LIBRE Y DE CÓDIGO ABIERTO.....	18
FIGURA 7. COMPONENTES DE OPENGEO SUITE.....	19
FIGURA 8. ESTÁNDARES Y FORMATOS DE DATOS QUE ABARCA GEOSERVER	20
FIGURA 9. MAPA “UBICACIÓN CUENCA ALTA DEL RÍO GUAYLLABAMBA”	21
FIGURA 10. ESQUEMA METODOLÓGICO FASE I - RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN.....	24
FIGURA 11. ESQUEMA METODOLÓGICO FASE II - DETERMINACIÓN DE ÁREAS CON APTITUD DE RIEGO	26
FIGURA 12. CÓDIGO CARTOGRÁFICO DE LECTURA	31
FIGURA 13. ESQUEMA METODOLÓGICO FASE III - PARA LA PUBLICACIÓN DEL PRODUCTO MEDIANTE UN GEOPORTAL.....	32
FIGURA 14. ESTRUCTURA BÁSICA DEL ALGORITMO VBSCRIPT.....	34
FIGURA 15. MAPA DE CLASIFICACIÓN DE LA CUENCA DEL RIO GUAYLLABAMBA SEGÚN SU APTITUD DE RIEGO	35
FIGURA 16. MAPA DE CLASIFICACIÓN Y LIMITANTES DE CUENCA ALTA DEL RIO GUAYLLABAMBA	38
FIGURA 17. MAPA DE ORDENES DE SUELO SEGÚN LA CLASIFICACION DE LA USDA.....	40
FIGURA 18. MAPA DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO GUAYLLABAMBA.....	42
FIGURA 19. IDEA DEL PROYECTO: CAPAS PROPUESTAS PARA SU INCLUSIÓN EN EL VISOR GEOGRÁFICO	43

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. CÓDIGO DE VISUALIZACIÓN DEL PROYECTO DE APTITUD DE RIEGO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO GUAYLLABAMBA EN <i>.HTML</i>	43
ILUSTRACIÓN 2. DESPLIEGUE EN UN NAVEGADOR DEL PROYECTO DE VISOR GEOGRÁFICO A TRAVEZ DE GEOEXPLORER	44

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. CATEGORIZACIÓN DE PENDIENTE	52
ANEXO 2. MATRIZ DE TABULACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN VS. PENDIENTE	52
ANEXO 3. MATRIZ DE TABULACIÓN DE NIVEL FREÁTICO VS. SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN.....	52
ANEXO 4. MATRIZ DE TABULACIÓN DE INUNDACIÓN VS. NIVEL FREÁTICO	53
ANEXO 5. MATRIZ DE TABULACIÓN DE VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN VS. INUNDACIÓN	53
ANEXO 6. MATRIZ DE TABULACIÓN DE DRENAJE VS. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	54
ANEXO 7. MATRIZ DE TABULACIÓN DE TEXTURA SUPERFICIAL VS. DRENAJE	54
ANEXO 8. MATRIZ DE TABULACIÓN DE TEXTURA A PROFUNDIDAD VS. TEXTURA SUPERFICIAL	55
ANEXO 9. MATRIZ DE TABULACIÓN DE PROFUNDIDAD EFECTIVA VS. TEXTURA A PROFUNDIDAD	56
ANEXO 10. MATRIZ DE TABULACIÓN DE CRAD VS. PROFUNDIDAD EFECTIVA	57
ANEXO 11. MATRIZ DE TABULACIÓN DE PEDREGOSIDAD VS. CRAD	58
ANEXO 12. MATRIZ DE TABULACIÓN DE SALINIDAD VS. PEDREGOSIDAD	59
ANEXO 13. MATRIZ DE TABULACIÓN DE PH VS. SALINIDAD	60

TÍTULO: Análisis multicriterio para la determinación de la aptitud de riego en la cuenca alta del río Guayllabamba

Autor: Juan Felipe Ordóñez Montalvo

Tutor: Ing. Agr. Carlos Lenin Montúfar Delgado, M.Sc.

RESUMEN

En Ecuador, la superficie que cuenta con irrigación, representa el 31,56 % de la superficie con potencial de riego, estimada en 3 136 000 ha, considerando la aptitud de los suelos al riego y los recursos hídricos disponibles, sin embargo, el desarrollo tecnológico en el “sector riego” del país es insuficiente e inequitativo, por ello, la presente investigación evaluó las tierras según su aptitud al riego de la cuenca alta del río Guayllabamba (Pichincha – Ecuador), generando y difundiendo información de apoyo para la gestión del recurso de manera apropiada en pos de su sostenibilidad/sustentabilidad. La evaluación de tierras determinó que el área de estudio posee cuatro de las cinco clases de aptitud, donde de un total de 574 417,85 ha el 5 % pertenece a la “clase II”, moderadamente apta; el 11,9 % a la “clase III”, limitadamente apta; el 21,8 % a la “clase IV”, no apta; el 51,5 % a la “clase V”, no transformable. Se demostró que los factores limitantes de mayor influencia son la topografía (t) y el drenaje (d) sumando el 56,6 % del área de estudio, a su vez, la plataforma OpenGeo Suite, permitió desarrollar un proyecto de publicación cartográfica en la web de la información generada.

PALABRAS CLAVE: EVALUACIÓN DE TIERRAS, FACTORES LIMITANTES, USRB, VISOR GEOGRÁFICO, INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES.

TITLE: Multicriteria analysis for the determination of irrigation capacity in the upper basin of the Guayllabamba river.

Author: Juan Felipe Ordóñez Montalvo

Tutor: Ing. Agr. Carlos Lenin Montúfar Delgado, MSc.

RESUMEN

In Ecuador, the surface that has irrigation, represents 31.56 % of the surface with irrigation potencial, estimated at 3 136 000 ha, considering the suitability of the soils for irrigation and the available water resources, however, the technological development in the "irrigation sector" of the country is insufficient and inequitable, therefore, the present investigation evaluated the lands according to their aptitude to irrigate the Upper Basin of the Guayllabamba River (Pichincha - Ecuador), generating and disseminating support information for the management of the resource in an appropriate manner in pursuit of its sustainability / sustainability. The land evaluation determined that the studied area has four of the five aptitude classes, where from the total of 574 417.85 ha 5% belongs to the "class II", moderately apt; 11.9 % to "class III", limited aptitude; 21.8 % to "class IV", not suitable; 51.5 % to "class V", not transformable. It was shown that the most influential limiting factors are the topography (t) and the drainage (d) adding 56.6 % of the study area, in turn, the OpenGeo Suit platform, allowed to develop a cartographic publication project in the web of the information generated.

KEY WORDS: EVALUACIÓN DE TIERRAS, FACTORES LIMITANTES, USRB, VISOR GEOGRÁFICO, INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES.

1. INTRODUCCIÓN

La productividad en Ecuador se rige por políticas como la Ley Orgánica de Régimen de Soberanía Alimentaria, la cual fomenta la sustentabilidad y accesibilidad de los ciudadanos a alimentos inocuos producidos en el territorio nacional; la Constitución de la República del Ecuador en su Art. 71 "reconoce a la naturaleza como titular de derecho", con ella se busca protegerla mediante la formulación de leyes tales como: la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua, que "prohíbe la privatización del recurso hídrico por su trascendencia para la vida, la economía y el ambiente"; la Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales, que "establece la creación de una Autoridad Agraria con el fin de proveerles a la familia campesina y a pequeños y medianos productores: tierras productivas, créditos accesibles, asistencia técnica y capacitación para la producción, infraestructura de riego, y resolución de conflictos en tierras rurales"; junto a las normativas ambientales vigentes, y teniendo en cuenta las problemáticas del sector agropecuario del Ecuador, esta investigación busca coadyuvar el manejo y conservación de los recursos suelo y agua.

El desarrollo tecnológico en el "sector riego" de Ecuador es insuficiente e inequitativo, según el INEC (2016), la superficie con potencial de riego en el país se estima en 3 136 000 ha, este dato se ha obtenido considerando la aptitud de los suelos para este fin y los recursos hídricos disponibles. Sin embargo, la superficie que cuenta con irrigación en el Ecuador es de 989 637,67 ha, dicha superficie representa el 31,56 % de la superficie con potencial de riego (INEC, 2016). El aumento de la demanda sobre estos recursos para la obtención de alimentos unidos al escenario de incertidumbre de los posibles impactos del cambio climático, presentan grandes retos, pero también posibilidades del riego como una herramienta de desarrollo y adaptación para enfrentar el desafío tecnológico, institucional y jurídico para las sociedades rurales (Hidalgo García *et al.* 2015).

Existen algunas metodologías para definir la potencialidad de un territorio al riego, pero considerando la complejidad del sector agropecuario, resulta importante involucrar los mayores criterios para dicha valoración. El riego es más que una obra de ingeniería civil compuesta de bocatomas, óvalos, distribuidores, canales, tubos, mangueras o aspersores; el riego es una herramienta social y económica para coadyuvar en el desarrollo del agro de manera sustentable y mejorar las condiciones de vida de los agricultores. La planificación del riego debe integrar buenas prácticas de manejo en la agricultura, conceptos y premisas de soberanía alimentaria, democracia dirigida a provocar cambios importantes en los territorios de desarrollo bajo riego; todo esto bajo un marco legal y una institucionalidad técnica (Román *et al.* 2017). Por ello buscar una metodología que cumpla con dicho perfil es imperativo, esto proporcionará a técnicos y tomadores de decisiones un instrumento de planificación y de asesoría a la toma de decisiones.

Por todo lo mencionado anteriormente, el objetivo general de esta investigación fue evaluar las tierras según su aptitud al riego de la Cuenca Alta del Río Guayllabamba (Pichincha – Ecuador), ya que este es un espacio complejo donde confluyen diferentes actores con diversos intereses, por ello, es indispensable generar información multicriterio que pueda apoyar la gestión del recurso de manera apropiada, equitativa e integral, que interconecte los aspectos sociales, ambientales y técnicos para garantizar la disponibilidad de agua para todos los ciudadanos, para ello la investigación planteó dos objetivos específicos: Identificar las áreas con aptitud para riego de la cuenca alta del río Guayllabamba, en función de las características de soporte de sus recursos; y publicar los resultados de la investigación a través de un Geoportal.

2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cómo se distribuye la tierra según su aptitud de riego en la cuenca alta del río Guayllabamba?
- ¿Qué factores limitan la aptitud para riego en la cuenca alta del río Guayllabamba?

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Suelo

Según el latín la palabra “solum” significa piso o terreno, de donde se deriva el termino suelo, refiriéndose en general a la superficie suelta de la tierra para distinguirlo de la roca sólida. Según Weii 2000, citado por Pereira *et al.* (2011) Se considera al suelo como un ser natural estructurado que se encuentra en constante cambio y que para su formación y evolución depende de factores bióticos y abióticos. Entre dichos factores se encuentra el clima, micro y macro organismos, relieve y el tiempo; factores que actúan sobre el material parental, es decir la roca madre.

“Es un ente natural organizado e independiente, con constituyentes, propiedades y génesis que son el resultado de la actuación de una serie de factores activos sobre un material pasivo”. El suelo constituye un sistema abierto a la atmosfera y la corteza que almacena de forma temporal los recursos que son necesarios para los seres vivos. Además, la disponibilidad de estos recursos depende de la intensidad y velocidad de los procesos de intercambio entre el suelo y el resto de compartimientos de los sistemas ecológicos (López, 2006).

3.2. Tierra

La tierra, a diferencia del suelo, comprende el ambiente físico, que incluye el clima, el relieve, el suelo, la hidrología y la vegetación, debido a que ellos influyen directamente en el potencial empleo de la tierra. Incluye los resultados de las actividades humanas pasadas y presentes, por ejemplo, desbroce de vegetación o salinización del suelo. Sin embargo, las características puramente económicas y sociales no se incluyen en el concepto tierra. (FAO, 1977)

3.3. Evaluación de Tierras

La evaluación de tierras se muestra como un mecanismo para proporcionar información y buscar respuestas a las problemáticas dentro de un territorio, permite la toma de decisiones y la planificación del uso de la tierra. Según la FAO (1984), la evaluación de tierras es el proceso determinación y predicción del comportamiento de una porción de tierra usa para fines específicos, en la que se consideran aspectos físicos, económicos y sociales. La evaluación de la aptitud de la tierra se considera la parte central del proceso de evaluación de tierra.

Deben diferenciarse dos tipos de evaluación de tierras: la primera, se trata de un tipo cualitativo que indica el grado de adaptación de las especies y en algunas oportunidades el factor que estaría limitado; y la segunda, referida al tipo cuantitativo donde el resultado se expresa en productividad (Silva *et al.* 1999).

Como mencionaran la FAO (1976, 1984); Espinoza (1996) y Burgos (1998) mencionados por Choque Baitizta (2013), la evaluación de aptitudes de la tierra se fundamenta en cuatro principios:

1. “La evaluación debe reparar el entorno físico, económico y sociocultural del área de estudio, así las recomendaciones pueden ser adoptadas por residentes del lugar.”
2. “La evaluación de la aptitud involucra un uso sostenido de la tierra, debiéndose tomar en cuenta los efectos ambientales adversos, los beneficios de los usos y las formas de manejo de las tierras que se propongan los usuarios.”
3. “La evolución de tierras requiere la identificación de las unidades espaciales con características biofísicas y socioeconómicas con algún grado conocido de homogeneidad, caracterizadas a su vez, por una serie de atributos que denoten su capacidad productiva.”
4. “Requiere además definir un conjunto de usos potenciales caracterizados por una serie de atributos o requisitos de uso, que no son más que las condiciones necesarias de la tierra para la exitosa y sostenida producción”.

3.4. Aptitud de la tierra

La aptitud de la tierra se refiere a sistemas específicos de utilización de las tierras, es capacidad de aprovechamiento de la misma, bajo una categoría o tipo de utilización, siempre desde un punto vista productivo, ya sea agropecuario o forestal. (FAO, 2003)

La clasificación de tierras, resulta de vital importancia dentro un territorio ya que permite obtener una predicción confiable en lo referente a la capacidad natural productiva del recurso tierra, del mismo modo, es fundamental para normar de forma adecuada el sistema de explotación empleado en la zona, por medio del establecimiento de la planificación accionaria de carácter público – regional (Aguilar Rivera *et al.* 2013).

3.5. Clasificación de tierras para usos con riego (USBR)

La metodología *Interior Bureau of Reclasification (USBR)*, del *United State Department of the Agriculture (USDA)*, es un sistema de clasificación de alta difusión para la evaluación de tierras con aptitud de riego. Analiza en forma integrada los factores físicos, sociales y económicos, lo que permite asemejar de mejor manera la realidad, los proyectos que usan esta metodología deben ser evaluados bajo sus condiciones locales. El sistema no suministra opciones de uso, evalúa solamente una opción de riego y las alternativas no forman parte de la clasificación. Bureau of Reclamation Manual, (1979)

El primer paso en el proceso de evaluación de tierras, es el establecimiento de una correlación en las características de suelo, topografía y drenaje, es decir las propiedades físicas; para posteriormente correlacionarlas con características económicas como la capacidad productiva, costo de desarrollo y costos de producción.

3.5.1 Unidades de clasificación

La clasificación USBR, maneja unidades básicas para la identificación de los suelos de acuerdo con su aptitud para riego, estas unidades se las denomina “clases”, de acuerdo con las limitaciones de los factores de clasificación, la metodología, establece subclases de acuerdo con (Centeno Catillo y Baca García, 2017), la USBR propone 6 clases:

3.5.1.1 Clase I: “Arable”

Incluye aquellas tierras, muy apropiados para el riego, capaces de producir altos rendimientos en un amplio margen de cultivos. Con pendientes planas, pendientes suaves, profundas, texturas medias, estructuras que permiten una fácil penetración de las raíces, friables, con drenaje normal y suficiente capacidad de retención de agua.

3.5.1.2 Clase II: “Arable”

Comprende las tierras que son moderadamente apropiadas para el riego debido a sus condiciones algo inferiores a la clase I, su adaptación a todo tipo de cultivo está algo restringidos y sus rendimientos moderadamente sostenidos; son más costosas para introducir riego.

3.5.1.3 Clase III: “Arable”

Se encuentran las tierras que poseen condiciones para riego, sin embargo, su aptitud está restringida por una o más limitaciones deficiencias de suelo. Topografía y drenaje. Las tierras de esta clase pueden ser tratadas para corregir las deficiencias y poner la tierra en producción bajo riego.

3.5.1.4 Clase IV: “Arable Limitada o de Uso Especial”

Se trata de tierras aptas sólo para un rango muy limitado de cultivos, debido a que presentan uno o varias deficiencias excesivas en los factores suelo, topografía y drenaje, pero posee alguna unidad que en ciertas circunstancias pudiera garantizar su desarrollo.

En condiciones especiales y mediante aportes de capital, es posible que algunas tierras de esta clase se puedan mejorar notablemente y ser incluidas entre las clases regables.

3.5.1.5 Clase V: “Temporalmente No-Arable”

Agrupación transitoria de tierras, que comprende aquellas tierras que deben eliminarse temporalmente de proyectos de riego debido a sus condiciones inapropiadas de alcalinidad, salinidad, drenaje y ubicación. La capacidad definitiva de estas tierras debe ser estudiadas posteriormente, en caso de ser determinada su aptitud para riego, continuara como clase V, hasta completar su mejoramiento, de determinarse que el mejoramiento es antieconómico, pasara a ser clase VI.

3.5.1.6 Clase VI: “No Aptas”

Las tierras asociadas a esta clase, deben considerarse eliminadas por completo de los proyectos de riego, debido a que no presentan los requerimientos mínimos exigidos por las clases anteriores.

Incluyen las tierras que a primera vista no son desarrollables, tales como tierras escabrosas y fracturadas, así como excesivamente erosionados, con texturas muy ligeras y gruesos o pesadas; con drenaje inadecuado y alta concentración de sales solubles.

Cuadro 1. Clases para la evaluación de la idoneidad de los suelos para soportar regadío según el USBR

Clase	Denominación	Evaluación
1	Apta	Muy adecuada para riego. Nivel más alto de aptitud Producciones. altas dentro del intervalo climatológico o un coste razonable.
2	Moderadamente Apta	Conveniente para riego. Exige seleccionar los cultivos Mayores gastos para producir.
3	Limitadamente Apta	Usos restringidos. Requieren estudios complementarios para verificar si son regables. Puede ser regable para usos especiales (en ciertos casos frutales).
4	No Apta	Clase provisional que agrupa los suelos de aptitud dudosa para ser transformados. Requiere estudios posteriores.
5	No transformable	No cumple las condiciones mínimas exigidas. La capacidad de pago estimada se hace menor que los costes previstos de la transformación.

Fuente: Normas Bureau of Reclasification manual

3.5.2 Descripción de Sub clases de Tierras con Aptitud de Riego

Según la USDA, (1973) citado por Centeno y Baca (2017), las subclases de la clasificación se determinan por las limitaciones presentes en las propiedades físicas del suelo, identificadas por medio de letras minúsculas. Cuando los suelos tienen más de una limitación se escribe primero la de mayor dominancia y a continuación los demás en el siguiente orden: s, t, d:

3.5.2.1 Subclase Suelo (s)

Evalúa las limitaciones del suelo en la zona radicular, en cuanto a riegos como limitantes de uso, los factores analizados son suelos superficiales, baja capacidad de retención de agua, baja fertilidad y presencia de salinidad o alcalinidad.

3.5.2.2 Subclase Topografía (t)

Esta subclase, evalúa la topografía que restringe o presenta riesgo dominante para su uso, cuyos factores de pendiente moderadamente empinada a empinada determinan las limitaciones para el uso de agua de riego.

3.5.2.3 Subclase Drenaje (d)

Referente al exceso de agua, la subclase de drenaje, analiza las limitantes donde la plétora agua es la limitante o riesgo dominante para su uso. El drenaje deficiente, humedad del manto freático elevado e inundación, son los factores analizados en esta subclase limitante.

En la figura 1 y figura 2, se muestra un resumen de la clasificación de los suelos según su aptitud de riego y sus factores de clasificación.

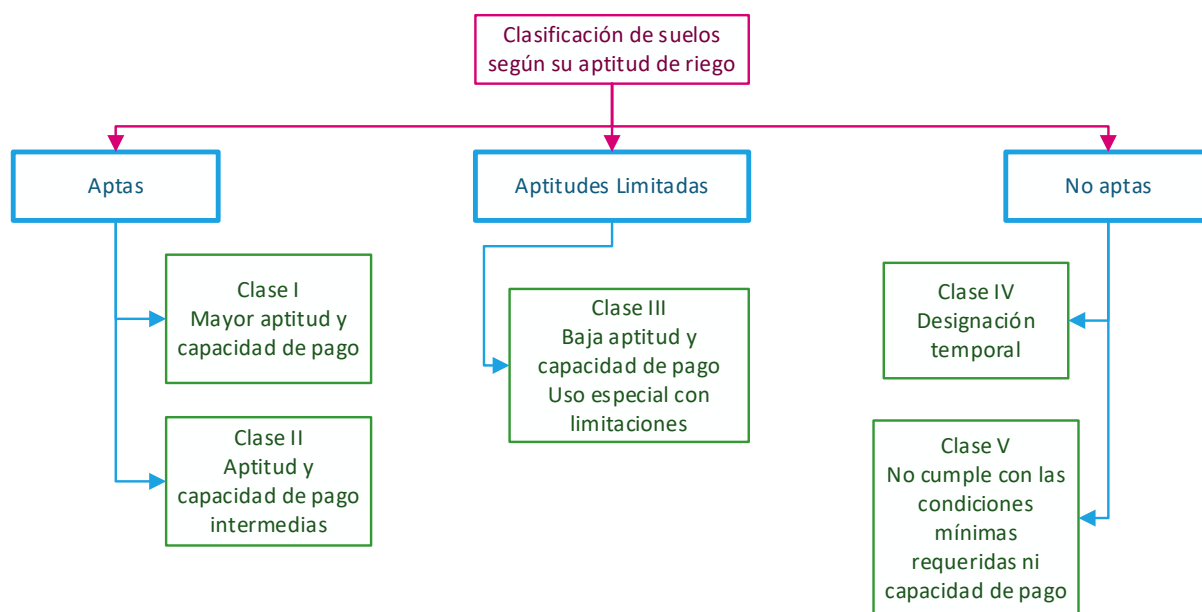


Figura 1. Agrupación de las tierras por su aptitud de riego
Modificado de Choque Baitizta (2013)

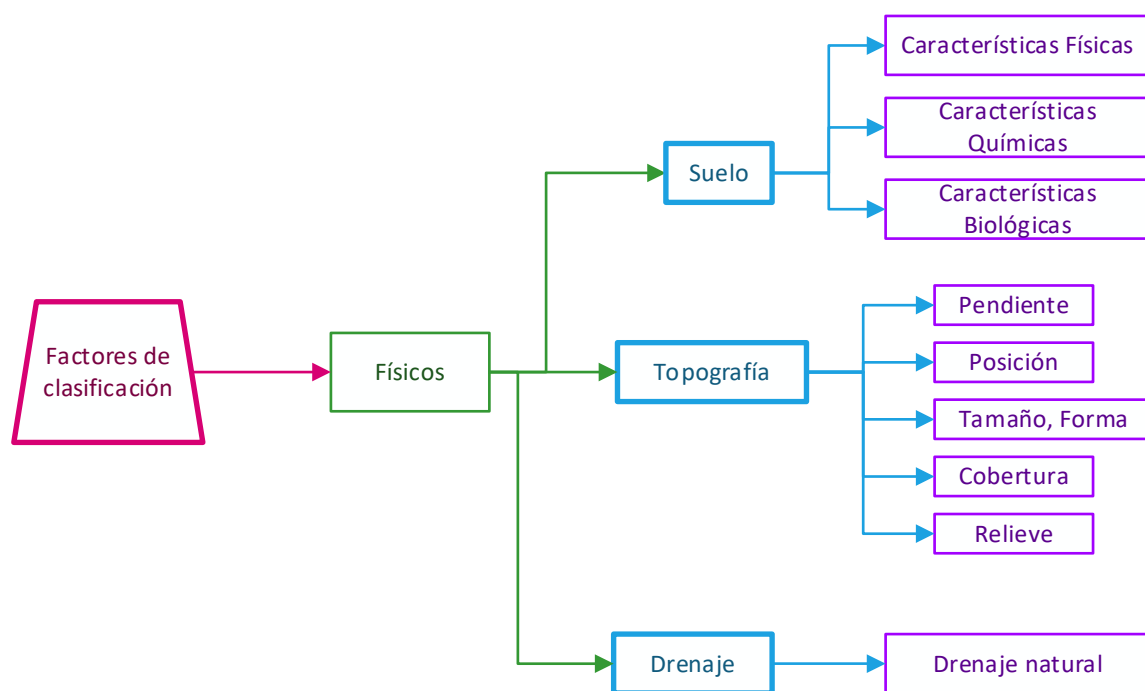


Figura 2. Factores de clasificación para la determinación de aptitud de riego
Modificado de Choque Baitizta (2013)

3.6. Recursos Hídricos

Los recursos hídricos naturales, se refieren a la disponibilidad de agua en una región, sin necesidad de realizar obras de infraestructura y toma en cuenta tanto las reservas superficiales como las subterráneas (Zegarra y Chirinos, 2016).

A nivel mundial, producto de la actividad humana y factores naturales, el recurso hídrico se encuentra en un proceso reductivo de disponibilidad. el agua se encuentra en varias formas y lugares, ya sea: la atmosfera, la superficie, bajo tierra o en los océanos; sin embargo, el agua dulce representa tan solo el 2,5% del agua de la tierra, en estado sólido (glaciares) y líquida (agua subterránea) y en estado gaseoso en la atmosfera, solo una pequeña fracción (Demin, 2014).

La disponibilidad de agua, a nivel mundial, se ve amenazada hoy en día por el rápido derretimiento de los glaciares, el aumento de la población que requiere más cantidad de agua para el consumo humano, industria y la agricultura (FAO, 2014). Por ello resulta imperativo que los países tomen medidas para mitigar la pérdida del recurso hídrico, optimizando su uso y salvaguardando la integridad de las cuencas que albergan el tan preciado recurso.

3.7. Cuenca Alta del Rio Guayllabamba

La cuenca alta del rio Guayllabamba, comprende los nacimientos de los ríos Pisque, Pita y San Pedro, se localiza en el callejón Interandino, cubre la provincia de Pichincha y sus cantones: Quito, Mejía, Rumiñahui, Pedro Moncayo y Cayambe, aquí se encuentran las Reservas Ecológicas los Ilinizas y Antizana, los Parques Nacionales Cotopaxi y Cayambe – Coca, la Reserva Geo- Botánica Pululahua, el Bosque protector Pasochoa y el Área Nacional de recreación el Boliche. La cuenca posee una cota máxima de 5 893 m.s.n.m. (volcán Cotopaxi) y desciende has los 630 m.s.n.m. (FONAG, 2018). Se divide en cinco unidades hidrográficas mostradas en color rojo en la figura 3 y se detallan a continuación:

3.7.1 San Pedro

Con una superficie aproximada de 732 km². Sus principales actividades productivas son la agricultura y la ganadería, esta zona presenta una marcada minifundización en la parte alta de la unidad hidrográfica. La cobertura natural alcanza el 45% del total de la unidad y la conforman páramos, bosque natural y matorral.

3.7.2 Pita

Con una superficie aproximada de 586 km². La ganadería representa la principal actividad económica, seguido de la agricultura. La mayor parte de la cobertura vegetal de la unidad hidrográfica, se mantiene en estado natural con un 34,6%.

3.7.3 Guayllabamba Alto

Su superficie aproximada alcanza los 1 356 km². Las zonas pobladas y cultivos, de esta unidad hidrográfica, representan el 40% de su superficie total, el 15% está cubierto por páramos y el resto del territorio lo ocupan industrias de diferente índole, hidroeléctricas y áreas protegidas.

3.7.4 Pisque

Con una superficie aproximada de 1 129 km², las comunidades asentadas en las zonas más altas (páramos) poseen como actividad económica principal el pastoreo y la agricultura y el 30% de la cobertura vegetal de unidad está representada por páramos, pasto natural y bosques.

3.7.5 Guayllabamba medio

Con la mayor superficie de las unidades que conforman la cuenca, 1 582 km², sus principales actividades económicas son agrícolas y ocupan cerca del 40% del área total de la unidad hidrográfica. La cobertura vegetal está conformada por bosques Altimontanos y arbustivos en la parte más alta.

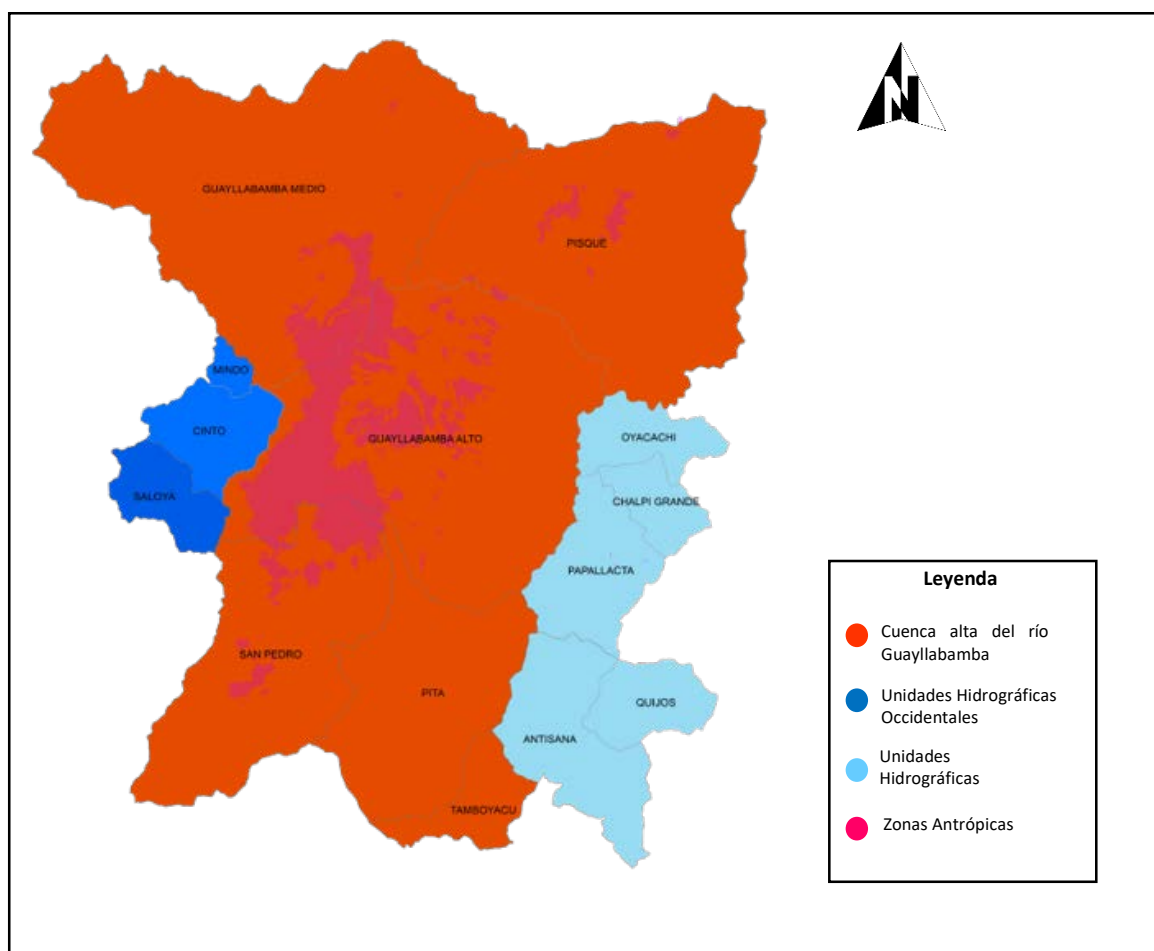


Figura 3. Mapa de la Cuenca Alta del Río Guayllabamba y sus unidades hidrográficas

3.8. Riego

El agua es un recurso esencial para la vida, puesto que es el componente mayoritario de todo ser vivo, el agua primordial para la supervivencia y el bienestar humano, y es fundamental para muchos sectores de la economía, desde el punto de vista agrícola, el agua representa un factor importante para la producción, se trata del recurso que debe proporcionar a los cultivos la humedad necesaria para su desarrollo (CAMAREN, 2017).

El riego consiste en la aplicación artificial de agua a un terreno para que las plantas (cultivos) puedan satisfacer sus necesidades de humedad, requeridas para su desarrollo. Además de humedad el riego permite aporta a los cultivos nutrientes en disolución, se presta como un seguro contra estrés frente a sequias de duración corta, genera un micro clima apto para las plantas porque regula la temperatura del suelo y la atmosfera circundante, además permite la disolución de sales contenidas en el suelo (lavado de sales) y acompañado de un buen drenaje, resulta como un elemento perfecto para la reducción de sales contenidas en el suelo.

El riego representa un importante factor dentro de la producción no solo agrícola, si no ganadera y dentro de la industria. Frente a las consecuencias del calentamiento global, el riego se muestra como la herramienta que permite dar soluciones a las problemáticas de producción, haciendo el negocio agrícola rentable y sustentable. Claro está, que para cumplir tomar esta herramienta como solución es fundamental que las técnicas de riego utilizadas no atenten contra la integridad del recurso (sostenibilidad), y no afecte a otros sectores de la economía que también dependen de él. (Demin, 2014)

3.8.1 Métodos y sistemas de Riego

Santos Pereira *et al.* (2010), define a los métodos de riego como el conjunto de aspectos que caracterizan el modo de aplicar el agua a las parcelas regadas. Así pues se los puede clasificar del siguiente modo:

- Riego de superficie, o también llamado riego por inundación, en canteros tradicionales y surcos cortos o nivelado de precisión, riego por escorrentía libre y riego por infiltración en surcos.
- Riego por aspersión, con sistemas estáticos en cuadrícula, fijos o móviles, sistemas de cañón o ala de carro tirada por enrollador o cable y sistemas de lateral móvil, pivotante o de desplazamiento lineal.
- Riego localizado, o microrriego, que engloba el riego por goteo, por difusores o en borboteadores, por tubos perforados o porosos, micro-aspersión, y el riego sub-superficial.

Cuadro 2. Factores que favorecen la elección del método de riego.

Factores	Riego de superficie	Aspersión	Riego localizado
Precio del agua	Bajo	Medio	Alto
Suministro del agua	Irregular	Regular	Cantínuo
Disponibilidad del agua	Abundante	Media	Limitada
Pureza del agua	No Limitante	Sin Solidos	Elevada
Capacidad de infiltración del suelo	Baja a Media	Media a Alta	Cualquiera
Capacidad de almacenamiento del suelo	Alta	Media a Baja	No Limitante
Topografía	Plana y Uniforme	Relieve Suevo	Irregular
Sensibilidad al déficit hídrico	Baja	Moderada	Alta
valor de la produccion	Bajo	Medio	Alto
Coste de la mano de obra	Bajo	Medio	Alto
Coste de la energía	Alto	Bajo	Moderado
Disponibilidad de capital	Baja	Media a Alta	Alta
Exigencia tecnológica	Limitada	Media a Alta	Elevada

Fuente: Pereira y Trout (1999)

Se denominan sistemas de riego al conjunto de equipamientos y técnicas que permiten la aplicación de agua según un método dado. El termino sistema de riego también es utilizado para referir el

conjunto de equipamientos y técnicas de gestión que aseguran la captación de agua, su almacenamiento, transporte y distribución a los regantes.

3.9. Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE)

Una IDE es un sistema informático integrado por un conjunto de recursos como, catálogos, servidores, programas, datos, aplicaciones, páginas WEB; cuya finalidad es gestionar Información Geográfica (IG), ya sean mapas, ortofotos, imágenes satelitales o metadatos; disponibles en Internet, dichos datos deben cumplir con una serie de condiciones de interoperabilidad, es decir normas, especificaciones, protocolos, interfaces; que permiten a un usuario combinarlos y analizarlos, de manera eficaz, según sus necesidades, utilizando un simple navegador (Ides, 2014).

Para el establecimiento de una IDE ya sea de nivel local, regional, estatal o global, requiera un acuerdo entre los productores, integradores y los usuarios de los datos espaciales del ámbito territorial en el que se establece. Dicho acuerdo debe considerar también las IDE que ya están definidas, o en definición, en otros ámbitos territoriales superiores, hacia los cuales deberá converger. (Idee, 2004)

Así pues, el establecimiento de la una IDE, debe estar definido con dos ideas fundamentales:

- El acceso a la IG existente debería ser fácil, cómodo y eficaz, es decir que deben compartir los mismos formatos, modelos, políticas de distribución, etc.
- La IG generada en un proyecto debe poder ser reutilizada para otras finalidades y por cualquier institución, entidad pública o privada, es decir cualquier usuario, para evitar la duplicación de información y el desperdicio de recursos valiosos.

3.9.1 Componentes de una IDE

Según Bernabé Poveda y López Vázquez, (2012) en una IDE, de cualquier ámbito espacial y temático, además del componente Geográfico, debe contener un componente político, tecnológico y social, para Permitir a la IDE cumplir con sus objetivos de desarrollo e integrarse bajo los conceptos de interoperabilidad y accesibilidad.

3.9.1.1 Componente político

Es responsable de fomentar la participación de todos los actores que intervienen en la formación y uso de una IDE, la administración, la empresa privada, la universidad y los usuarios; bajo la diligencia de iniciativas y actuaciones legales que establezcan y regulen su desarrollo, bajo la tutela de un organismo colectivo, en el caso de Ecuador este organismo es el Instituto Geográfico Militar quien debe cumplir una función consultiva y de planificación de IG y de la cartografía oficial. (Bernabé-Poveda y López-Vázquez, 2012)

3.9.1.2 Componente Tecnológico

Para una IDE, la mejor arquitectura es la “Cliente – Servidor, que consiste en que una serie de clientes, en este caso navegadores Web, solicitan una serie de servicios a un ordenador o servidor remoto, el cual procesa esa solicitud enviada por el navegador y, mediante un protocolo HTTP, devuelve una respuesta visualizada en páginas HTML. Dichas paginas poseen una estructura basada en etiquetas a las cuales se les asigna un valor, estas etiquetas manejan dos lenguajes: XML, denominado metalenguaje extensible de etiquetas, y se encuentra en el registro de los datos; y GML, que es dialecto de XML utilizado para el modelado, transporte y almacenamiento de IG. (Bernabé-Poveda y López-Vázquez, 2012)

Para cumplir con el objetivo de interoperabilidad de una IDE, se deben establecer estándares que permitan que los datos, servicios y recursos puedan utilizarse, combinarlos y compartirlos, para ello se debe procurar que la IG contenga buena especificación semántica y formatos definidos, además se debe reducir costes en la implantación y mantenimiento del software, evitar duplicación de datos (cada productor debe encargarse de mantener sus datos actualizados) y mejorar la colaboración entre instituciones y clientes entre sí. (Inierto y Núñez, 2013)

3.9.1.3 Componente Geográfico

Se basa en la descripción geográfica de un territorio y de los fenómenos que ocurren en este, para ello se requiere un conjunto de datos de los que además se conozcan sus características de calidad, actualidad y procedencia. Solo así se puede elaborar servicios para su publicación en la red.

Por ello se distinguen tres componentes geográficos principales.

- **Datos**, son aquellos sin los cuales es imposible construir información lógica, consistente, exacta, racional e intercambiable. (IGM, 2008) Clasificados en dos tipos: Los *Datos de Referencia*, son los datos fundamentales que sirven de base para construir o referenciar cualquier otro conjunto de datos temáticos (Como la cartografía base); a su vez los *Datos Temáticos*, complementan a los datos de referencia y describen temas específicos que se desarrollan sobre el territorio (Hidrología, geología, climatología, etc.) (Bernabé-Poveda y López-Vázquez, 2012)
- **Metadatos**, son los datos que detallan los conjuntos de datos geográficos y los servicios de información geográfica, es decir que proporcionan información sobre su esencia, lo que hace posible localizarlos, intervenirlos y utilizarlos a través de un catálogo de datos. (Inierto y Núñez, 2013)

- **Servicios**, se ofrecen a través de los servidores web para su visualización, consulta, análisis y descarga de IG.
 - **Servicio de Web de Mapas (WMS)**
Permite visualizar la IG almacenada y la muestra en forma de mapa, es decir una imagen, cuyo formato de respuesta puede ser JPEG, GIF, PNG, etc. Mostradas a través de un navegador estándar en forma de URLs (Uniform Resource Locators).
 - **Servicio Web de Fenómenos, entidades u objetos (WFS)**
Permite acceder y consultar los atributos de un objeto geográfico, además de poder descargarlo. Además, permite la manipulación de los datos, edición, eliminación y creación.
 - **Servicio Web de Coberturas (WCS)**
Se trata de un servicio similar al WFS, pero trabaja los datos en forma vectorial, es decir en formato ráster, permitiendo consultar el valor almacenado en cada pixel.
 - **Servidor de Nomenclátor (WFS – G)**
Permite la búsqueda de un objeto geográfico mediante un nombre previamente asignado y examinar los atributos contenidos en este, permite una selección más fluida de la IG

3.9.1.4 Componente Social

Se trata de un conjunto de actores, que cumplen una función explícita dentro la IDE, ya sea como productores de datos, de software, como agentes de difusión o simplemente usuarios de la IG.(Bernabé-Poveda y López-Vázquez, 2012)

- **Productores de datos:** se trata del organismo público o privado quien genera los datos de IG. En el caso concreto las universidades que manejen proyectos IDE.
- **Proveedores de servicios:** Se encargan de la implementación, el funcionamiento y mantenimiento de los servicios web. Generalmente se trata del organismo que produce los datos.
- **Desarrolladores de software:** Se encargan de la creación de las aplicaciones que actúan en la IDE, como aquellas que ofrecen los servicios, aplicaciones clientes o geoportales, que representan la puerta de entrada a la infraestructura.
- **Intermediarios:** Denominados *Brokers* son aquellos actores que dan valor añadido a los elementos de la IDE, y a la IG.

- **Usuarios finales:** Es el público objetivo de la IDE, para quien fue creada, se trata de personas naturales, instituciones, organismos, empresas o Universidades, quien requieren usar la o consultar la información generada.

3.9.2 Estructura de una Infraestructura de Datos Espaciales

Debido a la complejidad que la IDE representa, tanto en su creación y mantenimiento, es necesario que exista una estructura organizativa, cuyo objetivo es agenciar los datos y tareas, así como distribuir las responsabilidades y el trabajo que la IDE requiere, haciendo cumplir el fundamento de la interoperabilidad. (Inierto y Núñez, 2013)

Nodo IDE

Se trata de un conjunto de servicios web y aplicaciones que lo complementan, como geoportales, clientes, visualizador, etc. Que son publicados por un organismo específico y que debe incluir los servicios WMS, WFS, WMT, WCS, CSW, y el Geoportal con su visualizador y cliente de catálogo. (Idee, 2004)

Geoportal

Se trata de un sitio web con un cliente de un servicio web de datos geográficos. Un portal que contenga un visualizador ya se lo puede llamar Geoportal.

Un Geoportal de referencia, tiene el objetivo de dar acceso a todos los recursos disponibles de la IDE, es decir servicios web y geoportales. Debe contener un catálogo de datos y servicios. (Inierto y Núñez, 2013)

La estructura de la IDE se compone de un conjunto jerárquico de nodos interconectados que van desde la IDE Global en el nivel superior hasta las IDEs locales y corporativas en el nivel inferior, cada una de ellas administrada por un organismo específico, y que cumpla con normas comunes de ejecución a todo nivel (Figura 4.)

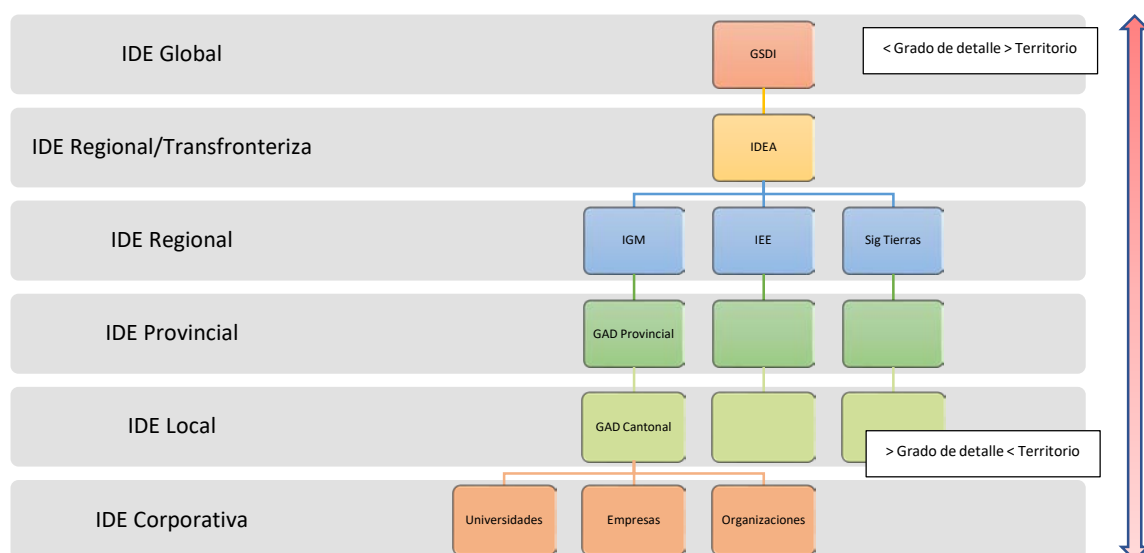


Figura 4. Esquema de la estructura organizativa de las IDEs

Elaboración: Felipe Ordóñez M.

Fuente: (Inierto y Núñez, 2013)

3.10. Geoportal

Franco (2017), define al Geoportal como un portal web que permite el acceso a información geográfica y otros servicios geográficos asociados, el despliegue, edición, análisis, filtros, metadatos, entre otros. Se trata de la puerta de entrada a una infraestructura de datos espaciales, que permiten adquirir, procesar, almacenar y distribuir la IG y promover su uso.

Según Sancho and Manso-Callejo (2012), se trata de un sitio web, cuyo objetivo es brindar al usuario, de manera práctica e integrada, el acceso a una serie de recursos y servicios basados en información geográfica, resolviendo la conexión física y funcional entre el almacenamiento de los datos geográficos

Este portal incluye un apartado de descargas de colecciones de cartografía, documentos descriptivos, informativos o normativos, series de datos, y otras secciones destinadas a noticias y enlaces de interés. Permite acceder e interoperar con servicios OGC de IDEs externas, servicios de visualización WMS y servicios de búsqueda por catálogo de metadatos CSW. (Leyva Bolívar, 2015)

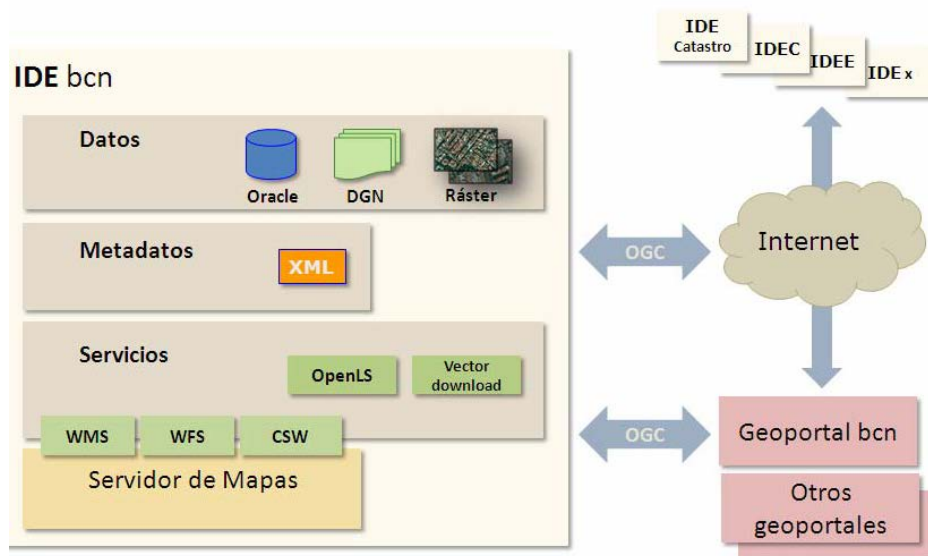


Figura 5. Arquitectura General de un Geoportal

Fuente: Leyva Bolívar, 2015

Existen diversos softwares que permiten la creación y administración de un Geoportal y una IDE en general, sin embargo, la tendencia mundial opta por la utilización de recursos Opensource, de Licencia de código abierto, tanto para su utilización, como para su edición.

3.11. Sistemas tipo Open Source

El software libre y de código abierto (FOSS O FLOSS), por sus siglas en inglés “Free and Open Source Software” o Free/Libre and Open Source Software”, es el software que esta licenciado de manera tal que sus usuarios pueden estudiar, modificar y mejorar su diseño según sus necesidades, gracias a la disponibilidad de su código fuente. A pesar de la ambigüedad de la palabra “free”, en inglés, no debe confundirse al software libre como “gratis”, este tipo de denominación hace referencia al respeto que existe sobre la libertad del usuario. (Gacek y Arief, 2004). Asi pues la Figura 3 muestra un mapa conceptual sobre las definicion y los componentes necesarios para que un software se considere libre o de codigo abierto.

Para década de los ochentas el ejercito de los estados unidos desarrolla el SIG “*GeographicResourcesAnalysisSupportSystem*” (GRASS), en el año 1991 lo pone a disposición del público en general. Esto sento los precedentes para que la comunidad de usuarios formen organizaciones como la “*Open GeospatialConsortium*” (OGC) en 1994, la “*Open SourceIniciative*” (OSI) en 1998 para hasta llegar, en 2006, a la formación de la funcacion “*Open SourceGeospatial*” (OSGeo), quien es el mayor representante del SIG de codigo abierto en la actualidad. (Sui, 2014)

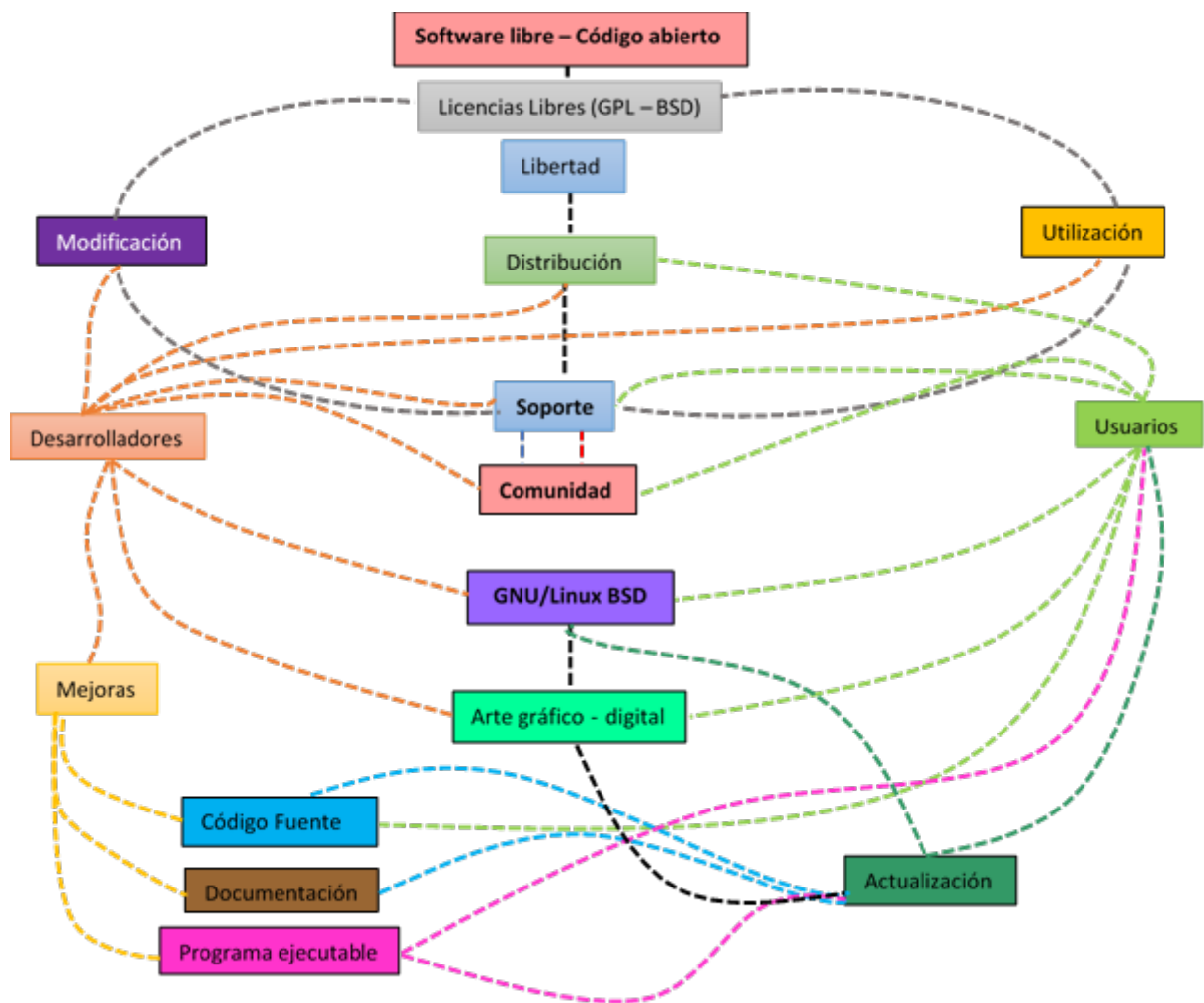


Figura 6. Mapa conceptual del software libre y de código abierto

Fuente: Gacek y Arief, 2004

3.12. OpenGeo Suite

OpenGeo suite es una plataforma open source completamente constituida, que permite la publicación de mapas y datos a través de aplicaciones web o clientes de escritorio. Se trata de la opción open source por excelencia gracias a su sólida construcción bajo una tecnología solvente que combina PostGIS, GeoServer, OpenLayers, GeoExt y GeoWebCache. Sus componente se muestran en la Figura 7 (Fonts y Pericay, 2012).

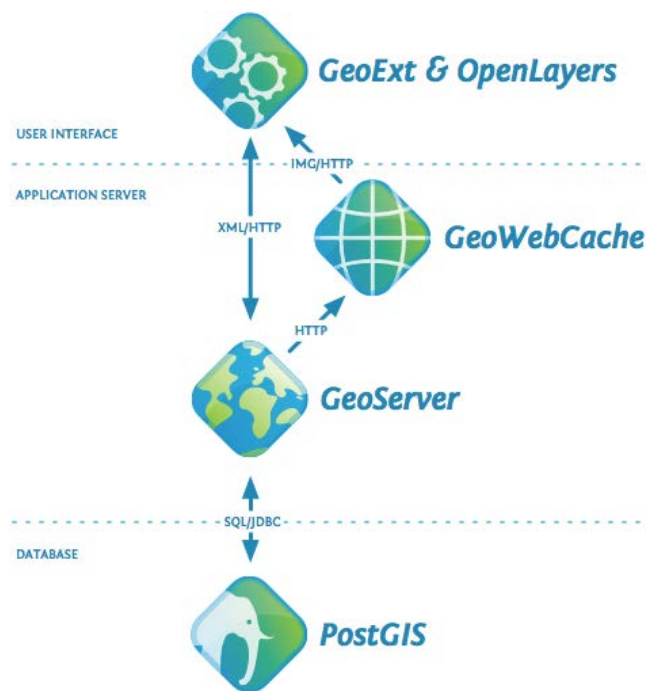


Figura 7. Componentes de OpenGeo Suite

Fuente: Fonts y Pericay, 2012

3.12.1 PostGIS

PostGIS, fue desarrollado por Refrations Research Inc., como un proyecto de investigación tecnológica de bases de datos espaciales. Su página web oficial lo describe como una extensión para generar bases de datos espaciales PostgreSQL, que relaciona objetos con la base de datos. PostGIS es un software de código abierto, bajo la licencia “General Public License” (GNU) e implementa “Simple Features for SQL Especificacion” del OGC. Además, PostGIS también funciona bien como fuente de datos para GeoServer, que cuenta con los servicios WMS, WFS, WCS, y WPS. (PostGIS.net, 2018)

3.12.2 GeoServer

GeoServer posee una potente función de servidor para compartir, analizar y editar datos geoespaciales de fuentes de datos espaciales que utiliza estándares abiertos (Figura 4) bajo licencia “GNU”. Estos servicios pueden ser integrados con aplicaciones de proyectos propios para crear aplicaciones de mapas o integrar mapas y capacidades de SIG en aplicaciones web, móviles y de escritorio existentes. (Chakraborty *et al.* 2015)



Figura 8. Estándares y formatos de datos que abarca GeoServer

Fuente: GeoServer.org

3.12.3 GeoExplorer

Se trata de una aplicación web, con base en marco GeoXT, para componer y publicar mapas. Permite montar mapas de GeoServer o cualquier “*Web Mapping Service*” (WMS) de la OGC e integrarlos con mapas de Google Maps y OpenStreetMap. A su vez permite editar la información del mapa de estilo, insertar los mapas que redacte en cualquier página web, o la salida de los mapas en formato PDF. (Fonts y Pericay, 2012)

3.12.4 GeoWebCache

GeoWebCache almacena en caché las imágenes de varias fuentes para acelerar la entrega de los mosaicos de mapas. Proporciona herramientas sofisticadas para la gestión de la cache de “tiles” para optimizar las aplicaciones para una visualización más rápida. Software libre bajo Licencia Publica General de GNU que implementa estándares abiertos OGC. (Gacek y Arief, 2004)

3.13. OpenLayers

Se trata de una biblioteca JavaScript para visualizar o editar los datos geoespaciales en cualquier escritorio o el navegador web móvil, su objetivo de desarrollo es promover el uso de la información geográfica de todo tipo. Posee una licencia de código abierto, liberado bajo licencia BSD, e implementa estándares OGC (Sitanggang y Trisminingsih, 2017).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Características del área de estudio

4.2. Ubicación

La investigación se realizó en la cuenca alta del Río Guayllabamba, localizada en la Sierra Norte de Ecuador, en la provincia de Pichincha, ubicada en la parte alta de la cuenca del río Esmeraldas, vertiente del Pacífico ecuatoriano, presente en cinco cantones: Mejía, Rumiñahui, Cayambe, Pedro Moncayo y el Distrito Metropolitano de Quito.

4.2.1 Ubicación política de la zona de estudio

- Provincia: Pichincha
- Cantones: Quito, Cayambe, Mejía, Pedro Moncayo, Rumiñahui.
- Cuenca Hidrográfica: Cuenca alta del Río Guayllabamba

4.2.2 Ubicación Geográfica de la zona de estudio

Las coordenadas extremas en el sistema de referencia espacial WGS 1984 UTM Zona 17 S, de la zona de estudio son:

Norte:	781 972.58	10 028 327.30
Sur:	798 406.40	9 934 690.65
Este:	728 366.48	10 022 532.76
Oeste:	815 032.14	9 981 193.20

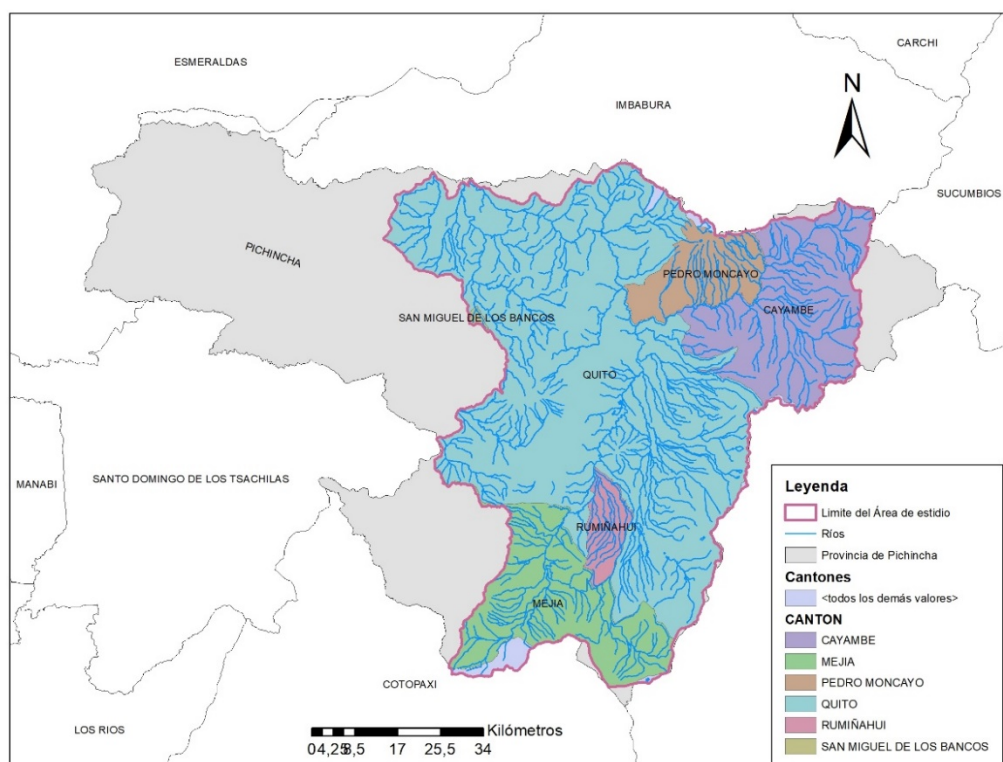


Figura 9. Mapa “Ubicación Cuenca Alta del río Guayllabamba”

4.3. Condiciones Agroclimáticas de la zona de estudio

Debido a la fuerte variación altitudinal la cuenca presenta tres tipos de climas:

4.3.1 Tropical semiárido:

En la parte baja, zona de Pomasqui y San Antonio de Pichincha.

- **Temperatura:** 16 – 24 °C
- **Precipitación:** 400 – 700 mm/año
- **Altitud:** 1 000 a 2 000 msnm

4.3.2 Mesotérmico semi - húmedo y seco:

A lo largo de la meseta de Quito.

- **Temperatura:** 12 – 20 °C
- **Precipitación:** 700 – 1 500 mm/año
- **Altitud:** 2 000 a 3 000 msnm

4.3.3 Ecuatorial de alta montaña:

Presente en las cordilleras oriental y occidental que circundan la cuenca

- **Temperatura:** < 8 °C
- **Precipitación:** 1 000 – 1 600 mm/año
- **Altitud:** > 3 000 msnm

4.4. Materiales

4.4.1 Software

- ArcGIS v. 10.4
- QGIS v. 2.18 Las Palmas
- Microsoft Office
- Suite OpenGeo Suite
- Bloc de notas

4.4.2 Información temática

- Cartografía Climática
- Cartografía Geomorfológica
- Topografía
- Uso del suelo
- Hidrología

4.4.3 Equipos y materiales de oficina

- Ordenador de escritorio (personalizado)
- Disco duro externo (SanDisk)
- Impresora (Brother)
- Esferográficos y lápiz

4.5. Metodología

El análisis multicriterio es empleado principalmente para analizar problemas, sistemas o casos con múltiples objetivos, que además posee información cuantitativa y cualitativa (Silva y Cardozo, 2015). A su vez, la información geográfica, contiene una serie de elementos que se relacionan en diversos grados de complejidad, esto facilita el manejo y análisis de la información. El análisis multicriterio se ajusta a la modelación de información espacial y permite representar al mundo real localizando elementos sobresalientes, identificando fenómenos y áreas de interés, etc. (Hernández, 2009). Esta investigación generó elementos de decisión territorial, convirtiéndose en una herramienta de apoyo en la toma de decisiones para organismos gubernamentales y de planificación territorial.

Esta investigación se desarrolló en tres fases que describen a continuación:

- Fase I: Recopilación de información.
- Fase II: Determinación de áreas con aptitud de riego
- Fase III: Publicación de productos a través de un geoportal

4.5.1 Fase I: Recopilación de información

La recopilación de información se realizó en función de los objetivos planteados en la investigación, a saber: la determinación de las áreas con aptitud de riego en la cuenca alta del río Guayllabamba y su publicación digital web. Para la delimitación del área de estudio se trabajó en un mapa base.

La información requerida para el estudio de aptitud de riego está dividida en dos grupos: A (datos de suelo) y B (datos meteorológicos) como muestra la figura 9 y fue obtenida a través de los medios de difusión de las instituciones gubernamentales y no gubernamentales que han generado dicha información, el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIG Tierras) y el Instituto Geográfico Militar (IGM); así como la información secundaria, que será tabulada y sistematizada con el propósito de descartar información poco relevante según la necesidad del presente estudio.

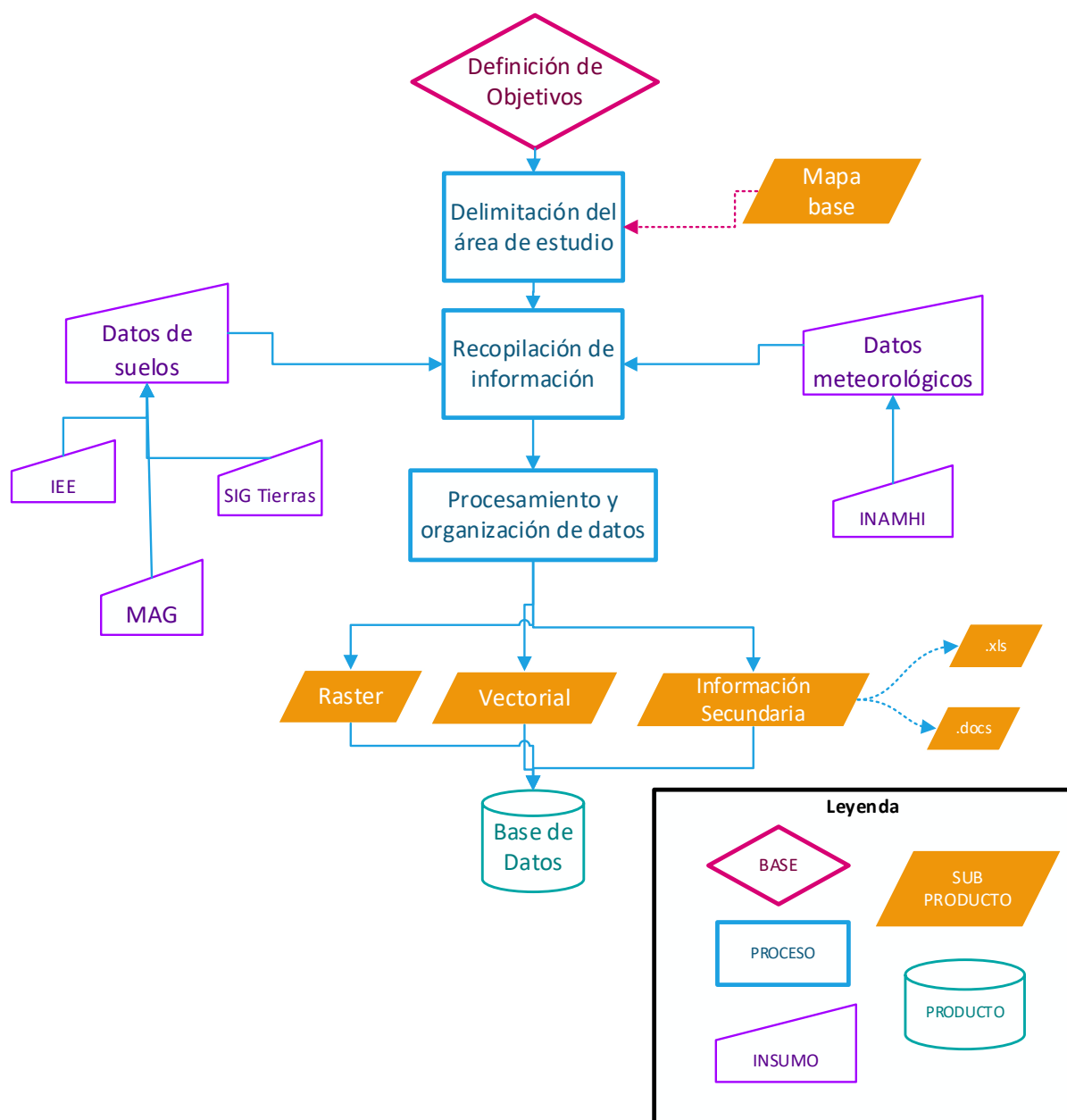


Figura 10. Esquema metodológico Fase I - Recopilación de información

4.5.1.1 Delimitación del área de estudio

La delimitación del área de estudio se realizó mediante información cartográfica del límite de la cuenca obtenida del “Fondo para la protección del agua” (FONAG), institución no gubernamental cuya área de influencia contempla la cuenca alta del río Guayllabamba, con el objetivo, además, de proporcionar una herramienta para los posteriores procesos de esta investigación.

4.5.1.2 Suelo

La cartografía sugerida por la USBR para la determinación de las áreas con aptitud de riego en lo que a suelo se refiere se resume en el Cuadro 2, la información completa y adaptada a las condiciones propias del área de estudio se determinarán en la Fase II.

Esta información fue recopilada y organizada a través del software ArcGIS v. 10.4, tanto para su posterior procesamiento como para su publicación.

Cuadro 3. Información de suelos necesaria para la clasificación de tierras según su aptitud de riego (USBR, 1973)

Información de suelos necesaria	Unidad de Medida
Pendiente (%)	cm
Susceptibilidad a la erosión	NA
Nivel Freático	cm
Inundación	Tiempo – meses
Velocidad de infiltración	mm · h ⁻¹
Textura superficial	0 – 20 cm
Textura a profundidad	20 – 50 cm
Profundidad efectiva	cm
Capacidad de retención de agua a 120 cm CRAD	mm
Pedregosidad	%
Salinidad Ces a 25 °C	dS · m ⁻¹
pH	NA

4.5.1.3 Clima

Los datos meteorológicos fueron obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI-, mediante la información generada por las estaciones meteorológicas del área de influencia del estudio. Las variables climáticas de evaluación son: temperatura y precipitación.

4.5.2 Fase II: Determinación de áreas con aptitud de riego

Se emplea la metodología desarrollada por la Bureau of Reclamation de Estados Unidos de América para la evaluación de tierras con aptitud de riego. Según Casanellas y López-Acevedo, (2005), el empleo de este sistema se ha generalizado y es de uso habitual en todos los países implicados en transformaciones en regadío. La tierra apta para el riego es aquella que puede soportar una agricultura permanente de riego de manera sostenible/sustentable, la Figura 9 describe dicha metodología.

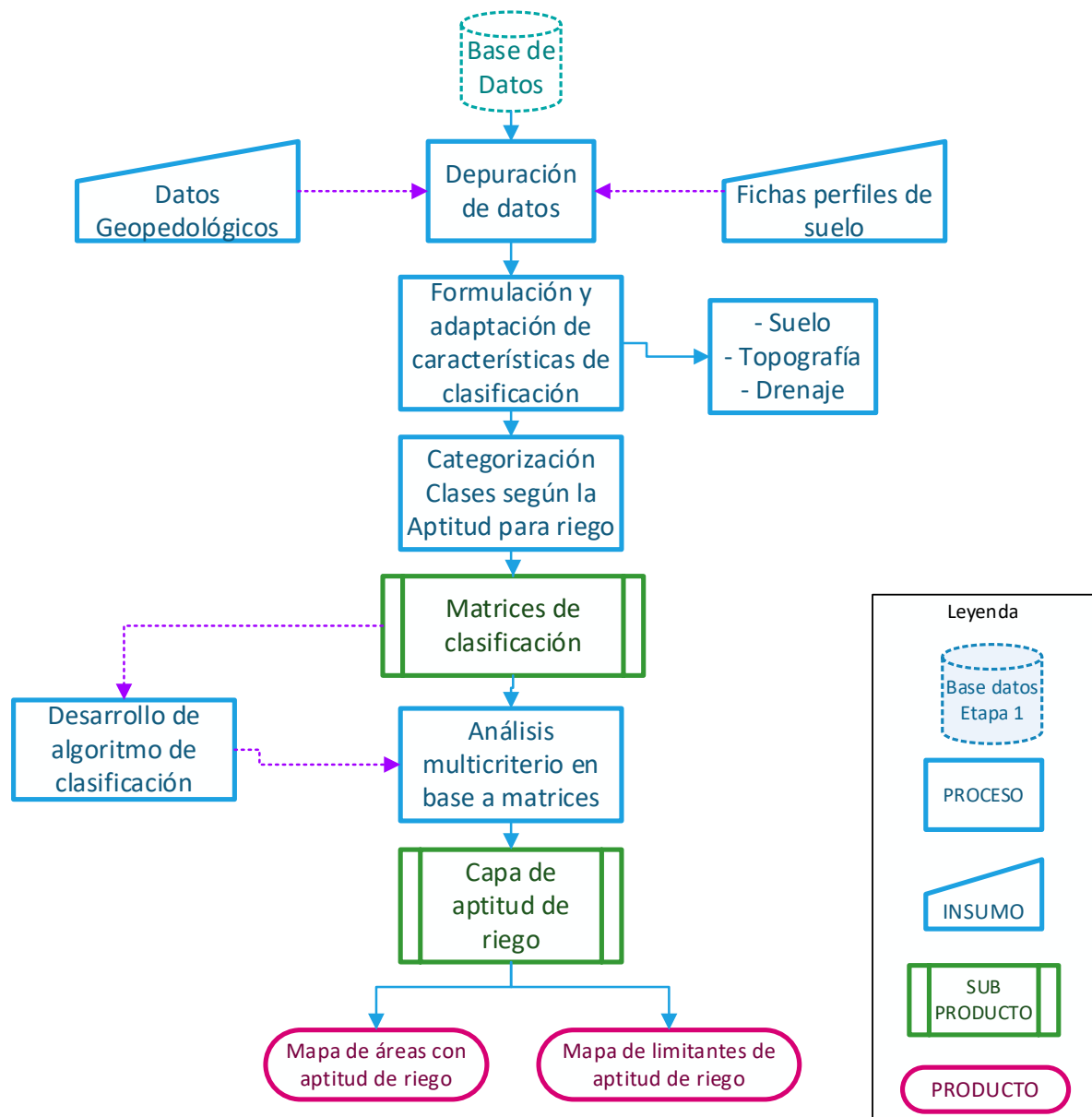


Figura 11. Esquema metodológico Fase II - determinación de áreas con aptitud de riego

4.5.2.1 Depuración de datos

Mediante la información recopilada en la Fase I, se realizó la depuración de datos, que consistió en la verificación de la información de los datos geopedológicos, valiéndose de las fichas técnicas de los perfiles de suelo obtenidos de los servidores del IEE Y SIG tierras (MAG, IEE & SENPLADES, 2017).

4.5.2.2 Formulación y Adaptación de características de clasificación

Para la determinación de áreas con aptitud para riego se utilizó el sistema de clasificación propuesto por el *Interior Bureau of Reclasification*, del *United State Department of the Agriculture* (USDA) (U.S.B.R) (1973), esta metodología considera clases de homogeneidad física y de relación, sobre su capacidad productiva y disposición para el riego. La clasificación se define mediante clases y subclases, examinando las características de los factores que se muestran a continuación:

Cuadro 4. Principales características de los factores que deben ser examinados (USBR, 1973).

Factores considerados	Características
SUELO	Textura superficial
	Textura a profundidad
	Profundidad efectiva
	Capacidad de retención de agua
	Pedregosidad
	Salinidad
	pH
TOPOGRAFÍA	Pendiente
	Erosión
DRENAJE	Nivel freático
	Inundabilidad
	Velocidad de infiltración
	Drenaje natural

Estas características representan los elementos clave de la clasificación de tierras y los rangos cuyos valores definen a las especificaciones de la clasificación; se identificaron cinco clases de tierras simbolizado con números romanos (I, II, III, IV, V) donde “I”, representa jerárquicamente las tierras con mayor aptitud y “V” las tierras que no son aptas para riego como se muestra en el Cuadro 4 (Casanelas y López-Acevedo, 2005).

Para completar la información el método utiliza subclases de riego según presenten limitaciones de los factores de suelo (s), topografía (t) y drenaje (d), que son considerados como los factores determinantes en la clasificación.

Cuadro 5. Símbolos utilizados en la evaluación de la tierra según su aptitud para riego (USBR, 1973).

Factores considerados	Símbolos Utilizados
CLASE DE SUELO	I, II, III, IV, V
Subclase de suelos según Limitantes	
De suelo	s
De topografía	t
De drenaje	d
De suelo y topografía	st
De suelo y drenaje	sd
De topografía y drenaje	td
De suelo, topografía y drenaje	std

Basado en la metodología y recomendaciones de la USBR (Cuadro 5), junto con los criterios técnicos nacionales, se formuló las características de los factores de clasificación que mejor se adaptan a la realidad de la zona de estudio, los cuales están detallados en el siguiente cuadro:

Cuadro 6. Especificaciones generales de clasificación para aptitud de riego (USBR, 1973).

Características	CLASE I	CLASE II	CLASE III	CLASE IV	CLASE V	CLASE VI
	Apta	Apta	Apta	Limitadamente Apta	No Apta	No Transformable
SUELOS						
Textura superficial 0 -30 cm	Franco arenosa a franco arcillosa	Arenosa franca a arcillosa muy permeable	Arenosa franca a arcillosa permeable	Arenosa franca a arcillosa	Arenosa franca a arcillosa	Comprende tierras que no tienen los requisitos mínimos de las anteriores
Profundidad efectiva	100	75 - 100	50 - 75	25 - 50		Suelos superficiales o muy pedregosos. Subsuelos impermeables.
Conductividad hidráulica en campo cm h⁻¹	0,5 - 12,5	0,125 - 12,5	0,125 - 25	Cualquiera	-	-
Caliza %	<35	35 – 50	50 – 65	>65		
Elementos gruesos V % permitidos					-	-
grava %	15	35	55	70	-	-
cantos %	5	10	15	35	-	-
Aflojamientos rocosos (separación entre ellos en m)	60	30	15	9	-	-
Sodicidad ESP %	<5	5 – 15	15 – 25	25 – 35	-	-
Salinidad dSm-1 a 25°C	<4	4 – 8	8 – 12	12 – 16	-	-
Gravedad del problema	Ligera	Moderada	Moderada	Moderada	-	-

4.5.2.3 Características de clasificación para la aptitud de riego

Bajo criterios técnicos, recomendaciones de la USDA, y basados en la metodología USBR de clasificación, se determinaron las características para categorizar la tierra según su aptitud de riego (Cuadro 6 y 7).

Cuadro 7. Especificaciones generales adaptadas de la metodología USBR para la aptitud de riego (Topografía y Drenaje)

Código	Características de la tierra	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
		Apta	Moderadamente Apta	Limitadamente Apta	No Apta	No transformable
	TOPOGRAFÍA					
[pendiente]	Pendiente (%)	Plana o muy suave (0 a 5)	Suave (5 – 12)	Media (12 – 25)	Media a Fuerte (25 – 70)	Muy fuerte (70 a 100)
[suber_simb]	Susceptibilidad a la erosión	Sin o nula	Moderada	Moderada	Alta	Muy alta
	DRENAJE					
[pnf_simb]	Nivel Freático (cm)	Profundo (<100)	Medianamente profundo (51 a 100)	Poco profundo (21 a 50)	Superficial (11 a 20)	Muy superficial (0 a 10)
[inu_simb]	Inundación (Tiempo – meses)	Sin o muy corta (0 a 1)	Corta (1 a 3)	Mediana (3 a 6)	Mediana (3 a 6)	Larga (6 a 9) + Permanente (>9)
[veinf_etiq]	Velocidad de infiltración (mm · h ⁻¹)	Moderada (20 a 60)	Moderadamente rápida (60 a 125) + Moderadamente lenta (5 a 20)	Rápida (125 a 250)	Lenta (1 a 5)	Muy lenta (<1) + Muy rápida (>250)
[dna_etiq]	Drenaje	Bueno	Bueno	Moderado	Excesivo	Mal drenado

Fuente: Modificado de (USBR, 1973)

Cuadro 8. Especificaciones generales adaptadas de la metodología USBR para la aptitud de riego (Suelo)

Código	Características de la tierra	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
		Apta	Moderadamente Apta	Limitadamente Apta	No Apta	No transformable
SUELO						
[tsu_simb]	Textura superficial (0 – 20 cm)	Franco arenosa a franco – arcillosa	Areno francoso a franco arcillo – arenoso	Areno francoso a franco arcillo – limoso	Areno francoso a arcillosa	Comprende tierras que no tienen los requisitos mínimos de las anteriores
[tpr_simb]	Textura a profundidad (20 – 50 cm)	Franco arenosa a franco - arcillosa	Areno francoso a arcilloso	Franco arenoso a arcilloso	Areno francoso a arcillo – arenoso	Comprende tierras que no tienen los requisitos mínimos de las anteriores
[pef_simb]	Profundidad efectiva (cm)	Profundo (>100)	Hasta Moderadamente profundo (51 – 100)	Hasta Poco profundo (21 – 50)	Hasta Superficial (11 – 20)	Hasta Muy superficial (0 – 10) + Sin suelo (Roca, afloramiento rocoso)
[CRAD_etiq]	Capacidad de retención de agua a 120 cm CRAD mm	Alta (>150,0)	Moderada (112,5 – 150)	Baja (Hasta 75,0 – 112,5)	Muy Baja (Hasta 62,5 – 75,0)	Otros Cualquiera
[ped_etiq]	Pedregosidad (%)	Sin	Hasta Muy pocas (< 10)	Hasta Pocas (10 a 25)	Hasta Frecuente (26 a 50)	Abundantes (51 a 75) + Pedregoso o Rcoso (> 75%)
[sal_etiq]	Salinidad CEs (dS · m ⁻¹) a 25 °C	No salino (< 2,0)	Ligeramente salino (2,0 a 4,0)	Salino (4,0 a 8,0)	Muy salino (8,0 a 16,0)	Extremadamente salino (> 16,0) + Sin suelo (afloramiento rocoso)
[phs_etiq]	pH	Neutro + Prácticamente Neutro + Ligeramente Acido	Ligeramente Alcalino + Medianamente alcalino	Acido + Alcalino + Medianamente Alcalino	Muy Acido	Sin Suelo

Fuente: Modificado de (USBR, 1973)

Casanellas, (2005) destacó, que las especificaciones presentadas en la USBR, son orientativas y deben ser ajustadas teniendo en cuenta las condiciones locales de la zona de estudio, esto gracias a que dichas características fueron desarrolladas para condiciones de los Estados Unidos de América, y en su aplicación pudiera generar conflictos de adaptación a las condiciones de la zona de estudio.

4.5.2.4 Categorización de clases según la aptitud para riego

Para la categorización de clases, se elaboraron trece matrices de doble entrada (Anexo 1 - 13), cuya finalidad fue evaluar las características de los factores al tiempo de contraponerlas, de tal manera que la característica más restrictiva para la aptitud de riego sea la que acepte o rechace un área homogénea dentro de una categoría, asignado así el valor de clasificación ("I", "II", "III", "IV", "V") y la limitante ("s", "t", o "d") para su identificación y análisis posterior; mediante criterios técnicos (De la Rosa, 2008).

Para simplificar la lectura de los mapas elaborados, se asigna una codificación a cada unidad cartográfica, por ejemplo:

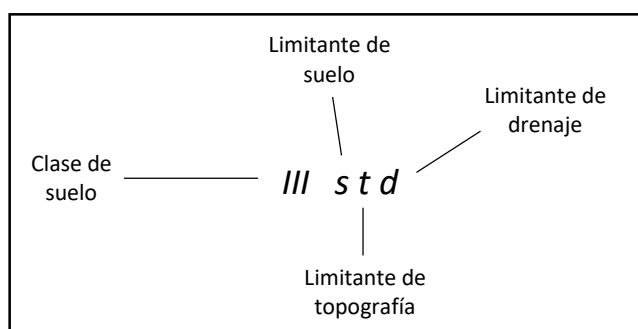


Figura 12. Código cartográfico de lectura

4.5.2.5 Análisis Multicriterio

El análisis multicriterio se realizó mediante matrices de doble entrada generadas previamente, bajo el software gis ArcGIS v. 10.4. Para simplificar el cálculo y facilitar posteriores aplicaciones se desarrolló un algoritmo para ser usado mediante la calculadora de campos del ArcGIS.

Se generaron dos tipos de información dentro de un archivo "shape", la primera corresponde a la categorización de las cinco clases descritas; el segundo tipo de información corresponde a la determinación de las limitantes de cada zona homogénea.

Como resultado de este proceso se obtuvo el mapa de áreas con aptitud de riego y el mapa de limitantes de aptitud de riego, que serán usados durante la publicación final en la Fase III.

4.5.3 Fase III: Publicación de productos a travez geoportal.

Un Geoportal constituye el punto de entrada a los servicios de una IDE, se utilizó la suite OpenGeo, por ser la plataforma geoespacial open source totalmente integrada para servir mapas y datos a través de aplicaciones web, dispositivos móviles y clientes de escritorio. Construida sobre tecnología de gran solvencia, es una solución 100 % open source (Fonts y Pericay, 2012).

La primera acción, fue plantear la idea general de la cartografía, a partir de generada en la Fase II, con las que contará el proyecto una vez publicado, mediante un esquema en el software Microsoft Visio ("Idea del Proyecto"). Dicha idea puede estar sujeta a modificaciones finales, si esta resulta de difícil

lectura o se considera algún elemento faltante o complementario, una vez este cargada en el Geoportal. La Figura 13 muestra la metodología de publicación de la información geográfica generada en la Fase II.

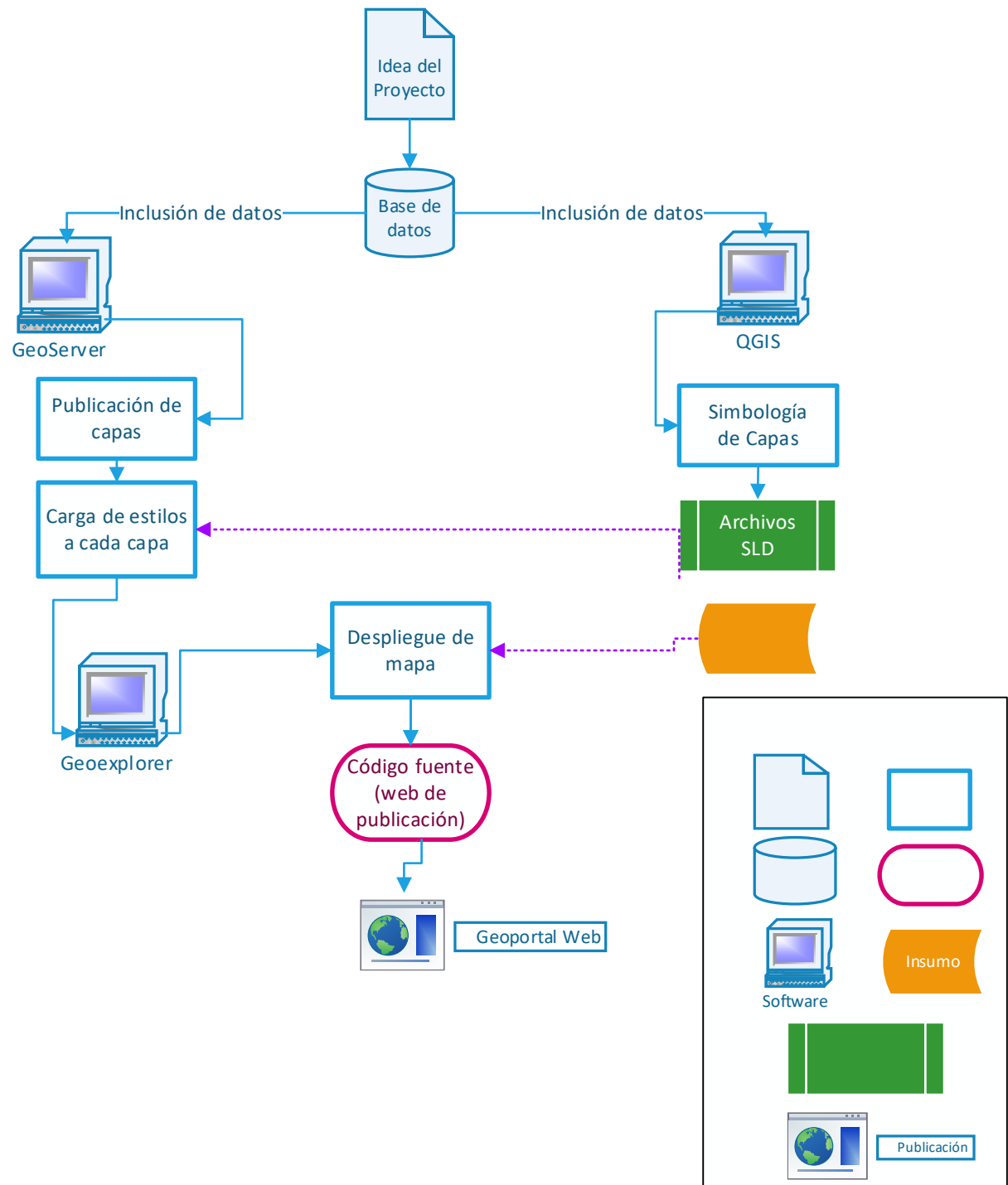


Figura 13. Esquema metodológico Fase III - para la publicación del producto mediante un Geoportal

Esta Fase se dividió en dos partes de acuerdo al software utilizado, cada una es complementaria a la otra, como se describe a continuación:

4.5.3.1 QGIS

El software QGIS v2.8. “Las Palmas”, se utilizó para cargar las capas que formarán parte del proyecto en el visor geográfico, mediante este software se definió y aplicó los estilos de visualización de cada una de las capas, a su vez estos estilos se almacenaron en formato “.sld”, aceptado por GeoServer para su posterior aplicación dentro de OpenGeo Suite.

4.5.3.2 OpenGeo Suite

La OpenGeo Suite cuenta con un conjunto de software que permiten la publicación de información geográfica mediante visores web, describe los pasos a seguir para su publicación. Dicho esto, con las capas generadas en el Fase II, se generó una base de datos en GeoServer, a cada uno de los cuales se cargó los estilos concebidos a la par en QGIS. Una vez que la base de datos se generó y el servidor geográfico estuvo completamente configurado se procedió al despliegue del mapa base en GeoExplorer (Visor) junto con las capas seleccionadas. En este punto se tomó la decisión final sobre el contenido que tendrá el producto, aceptando o rechazando la “Idea del proyecto”, propuesta al inicio de la etapa (TYC, 2018).

Por último, se generó a través de GeoExplorer el código fuente del visor creado, este se agregó a las líneas de código escritas en HTML y JAVA, en un bloc de notas, esto permite agregar todo el código a un servidor para difundirlo en una página web, blog o red social, según el requerimiento posterior a la investigación.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Clasificación según la aptitud de riego de la cuenca alta de río Guayllabamba

Como resultado del análisis de las especificaciones originales, se determinaron trece características de la tierra que determinan la clasificación de aptitud de riego para la cuenca alta del río Guayllabamba, y se desarrolló la misma cantidad de matrices de doble entrada (Anexo 1), que enfrenta todas las características para su categorización y que permiten asignar valores para el cálculo de clasificación.

Mediante un bloc de notas se desarrolló un código bajo lenguaje “Visual Basic Script” (VBScript), para el cálculo de la clasificación. El código se dividió en dos grupos debido a que su extensión no permite correrlo en un solo campo. La Figura 14 muestra la estructura base del algoritmo.

```
Dim x
    If (Variable)
        X= (Resultado)
    End if
```

Figura 14. Estructura básica del algoritmo VBScript

5.2. Clases de aptitud de riego en cuenca alta del río Guayllabamba

Se determinaron cuatro de las cinco clases de aptitud de riego en el área de estudio, como se muestra en el cuadro 8, donde de un total de 574 417,85 ha el 5 % pertenece a la “clase II”, moderadamente apta; el 11,9 % a la “clase III”, limitadamente apta; el 21,8 % a la “clase IV”, no apta; el 51,5 % a la “clase V”, no transformable y el 9,8 % pertenece a zonas de tipo erial, cuerpos de agua, ríos o nevados.

En la Figura 14 se muestra el mapa de aptitud de riego de la zona de estudio y se representa su clasificación por medio de una gama de colores donde el verde oscuro simboliza, moderadamente apta; el verde claro, limitadamente apta; el color amarillo, No apta y el color rojo, no transformable. Las zonas no aplicables están representadas por el tramado blanco y negro.

Cuadro 9. Área según la aptitud de riego en la cuenca alta del río Guayllabamba

Clase	Área (ha)	Área %
Moderadamente Apta	28 626,36	5,0
Limitadamente apta	68 175,72	11,9
No apta	125 021,41	21,8
No Transformable	295 875,73	51,5
No aplicable	56 715,64	9,8
Total	574 414,85	100,0

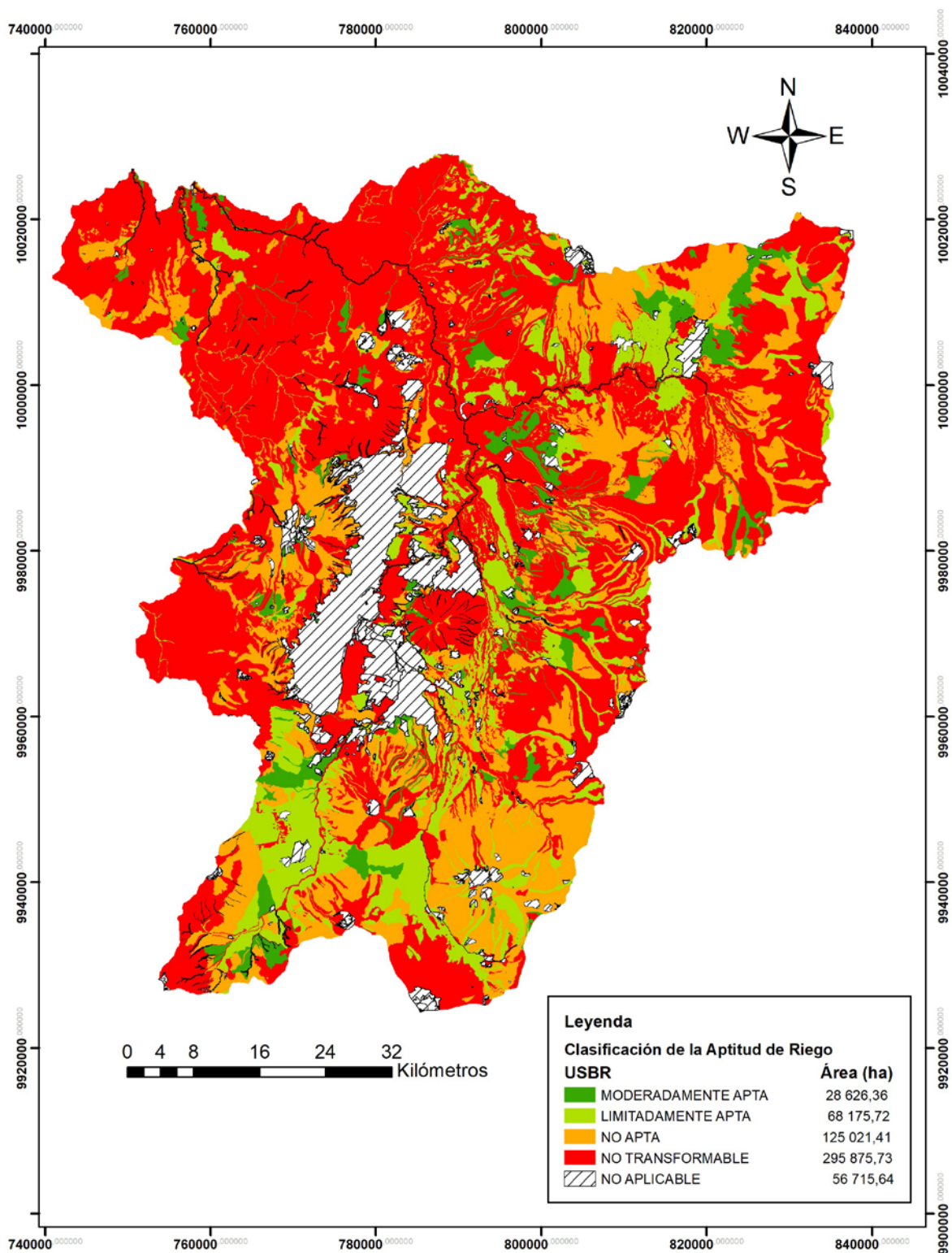


Figura 15. Mapa de clasificación de la cuenca del río Guayllabamba según su aptitud de riego

Las tierras con mejor aptitud al riego encontradas en la zona de estudio pertenecen a la clase II, cuya potencialidad agrícola es alta y susceptible de ser regada artificialmente. Como confirma Choque Baitizta,

(2013), las limitantes, de la clase “moderadamente apta”, son de baja severidad y se refieren principalmente a la topografía.

La clase III la comprenden tierras con limitaciones más severas que la clase II, sin embargo, bajo condiciones específicas siguen siendo regables, esta clase presenta problemas medios de drenaje debido a altas precipitaciones. La clase IV, según Zegarra y Chirinos (2016), son suelos limitadamente cultivables, poco aptos para riego, debido a limitaciones en topografía (principalmente pendiente como se muestra en el Cuadro 10), junto con texturas franco – arenosas, pero tienen predisposición a enmiendas. La clase V, representa la peor clase que no puede ser transformada.

Cuadro 10. Área según la pendiente presente en la zona de estudio

Pendiente	Clase	Área (ha)	Área (%)
PLANA (0 - 2%)	No transformable	232,1	0,04
	No aplicable	136,5	0,02
MUY SUAVE (> 2 - 5 %)	Moderadamente apta	3165,4	0,55
	Limitadamente apta	10245,9	1,79
	No apta	1912,8	0,33
	No transformable	3260,0	0,57
	No aplicable	202,2	0,04
SUAVE (> 5 - 12 %)	Moderadamente apta	25460,9	4,44
	Limitadamente apta	45065,8	7,86
	No apta	6915,3	1,21
	No transformable	16802,2	2,93
	No aplicable	258,9	0,05
MEDIA (> 12 - 25 %)	Limitadamente apta	17804,9	3,10
	No apta	25885,3	4,51
	No transformable	7396,2	1,29
	No aplicable	547,7	0,10
MEDIA A FUERTE (> 25 - 40 %)	No apta	47079,2	8,21
	No transformable	20473,9	3,57
	No aplicable	615,4	0,11
FUERTE (> 40 - 70 %)	No apta	39682,6	6,92
	No transformable	53123,8	9,26
	No aplicable	4151,5	0,72
MUY FUERTE (> 70 - 100 %)	No transformable	175924,4	30,68
	No aplicable	5455,1	0,95
ESCARPADA (> 100 - 150 %)	No transformable	16349,5	2,85
	No aplicable	0,4	0,00
MUY ESCARPADA (> 150 - 200 %)	No transformable	1014,4	0,18
	No aplicable	1204,7	0,21
NO APLICA	No aplica	43479,8	7,58
TOTAL		573478,5	100,00

Como se observa en la Figura 14 las coloraciones más claras (verde – amarillo), que representan la mejor aptitud de riego, se ubican en tres zonas prominentemente, dos de estas zonas, el Este de la cuenca y el Noreste, cuentan con sistemas de riego, el sistema de riego “Tumbaco”, Sistema de riego “El Pisque” y el sistema de riego “Cayambe – Pedro Moncayo”; por otra parte, la zona de sur de la cuenca no cuenta con ningún sistema de riego, cuestiones a tomar en cuenta para el desarrollo de proyectos de irrigación en esta zona.

5.2.1 Subclases de la cuenca alta del río Guayllabamba

En el Cuadro 11 se muestra el área de la zona de estudio según su limitante, así pues, de un total de 221 807,7 ha, el 0,3% corresponde a limitante de suelo, el 0,9 % a topografía y el 15,6 % a drenaje. Las áreas que poseen más de una limitante se distribuyen de la siguiente manera: Suelo y topografía, 1,9 %; suelo y drenaje, 22,4 %; topografía y drenaje, 40,4 %, que representa la mayor extensión de la cuenca y suelo topografía y drenaje, que constituye el 18,5 %.

En la Figura 15 se muestra el mapa de las subclases de la aptitud de riego de cuenca alta del río Guayllabamba, dicha clasificación se representa mediante una escala de colores donde el amarillo representa la clase más apta para riego (clase II), pasando por las subclases con limitantes (s, t, d o sus combinaciones), hasta llegar al color purpura más intenso, representando a la clase V.

Según el IGAC, (2014), las propiedades físicas de los suelos, la topografía y el drenaje, están directamente relacionadas con la capacidad de implementación de un sistema de riego. Las mayores limitantes encontradas en la cuenca fueron de topografía y drenaje, tanto de manera individual como conjunta.

Cuadro 11. Área de limitantes para la aptitud de riego en la cuenca alta del río Guayllabamba

Limitante	Área (ha)	Área (%)
Suelo	687,1	0,3
Topografía	2 106,9	0,9
Drenaje	34 649,65	15,6
Suelo y topografía	4 161,11	1,9
Suelo y drenaje	49 657,8	22,4
Topografía y drenaje	89 527,6	40,4
Suelo, topografía y drenaje	41 017,6	18,5
Total	221 807,7	100

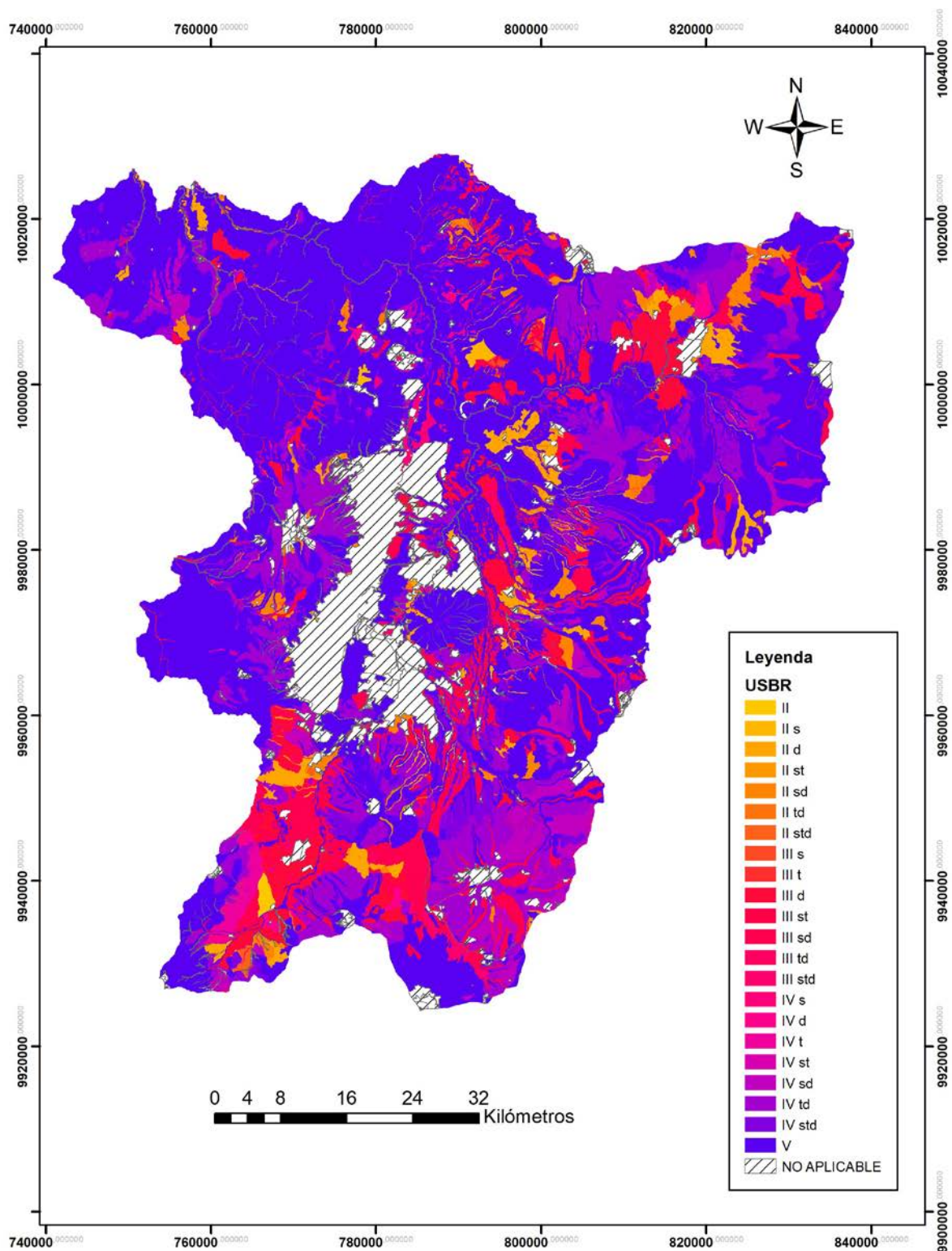


Figura 16. Mapa de clasificación y limitantes de cuenca alta del río Guayllabamba

En el plan nacional de riego 2011 – 2016, Román *et al.* (2011), advierten los problemas de drenaje en la sierra norte de Ecuador, también asegura que los riesgos de inundación de esta región son muy bajos debido a la topografía, si bien no existen riegos de inundación, las grandes pendientes provocan riesgos de erosión en la región limitando la posibilidad de aplicación de sistemas riego.

El INEC (2016) estimó la superficie potencial de riego del país en 3.14 millones de ha, considerando la aptitud de los suelos para riego y los recursos hídricos disponibles, sin considerar una clasificación de descendente de aptitud de riego. Se estima, también que 835 400 ha, cuentan con riego y 362 288 ha o el 42,45 % se situarían en la región sierra.

5.2.2 Ordenes de suelo y aptitud para riego

La taxonomía de suelos desarrollada por el Soil Survey Staff de los Estados Unidos, utiliza caracteres diferenciadores, las propiedades del suelo que son medibles cuantitativamente, permitiendo clasificar los suelos de manera muy rigurosa y precisa. Es por ello la aptitud del suelo esta directamente relacionada con los ordenes de suelos descritos en la Soil Taxonomy (Pereira *et al.*, 2011). La figura 16 muestra los ordenes de suelos encontrados en la zona de estudio, con el objetivo de contrastarlas con las clases de aptitud para riego encontradas.

Se encontraron 5 ordenes de suelo, en las 517 699,2 hectáreas de la zona estudio, el 56,94 % pertenecen a suelos “Andisoles” y conforma la mayor extensión de la zona de estudio; 0,13 % son suelos “Alfisoles” que por otra parte representa la menor extensión de este orden en la cuenca; 7,76 % corresponde al orden “Entisoles”, los suelos “Inceptisoles” representan el 7,54 % y el 27,64 % pertenece al orden “Mollisoles”, como se muestra en el Cuadro 12

Cuadro 12. Área de aptitud para riego según orden de suelo (USDA)

	Clase de aptitud para riego	Área (ha)	Área (%)	Área Total (%)
Andisoles	Limitadamente Apta	34 951,5	6,75	56,94
	Moderadamente Apta	9 212,8	1,78	
	No Apta	79 115,2	15,28	
	No Transformable	171 485,2	33,12	
Alfisoles	No Transformable	660,33	0,13	0,13
Entisoles	Limitadamente Apta	1 081,08	0,21	7,76
	Moderadamente Apta	385,10	0,07	
	No Apta	1 451,66	0,28	
	No Transformable	37 244,13	7,19	
Inceptisoles	Limitadamente Apta	2 536,70	0,49	7,54
	Moderadamente Apta	2 031,88	0,39	
	No Apta	6 780,08	1,31	
	No Transformable	2 7694,46	5,35	
Mollisols	Limitadamente Apta	34 547,34	6,67	27,64
	Moderadamente Apta	16 996,55	3,28	
	No Apta	34 128,24	6,59	
	No Transformable	57 396,96	11,09	

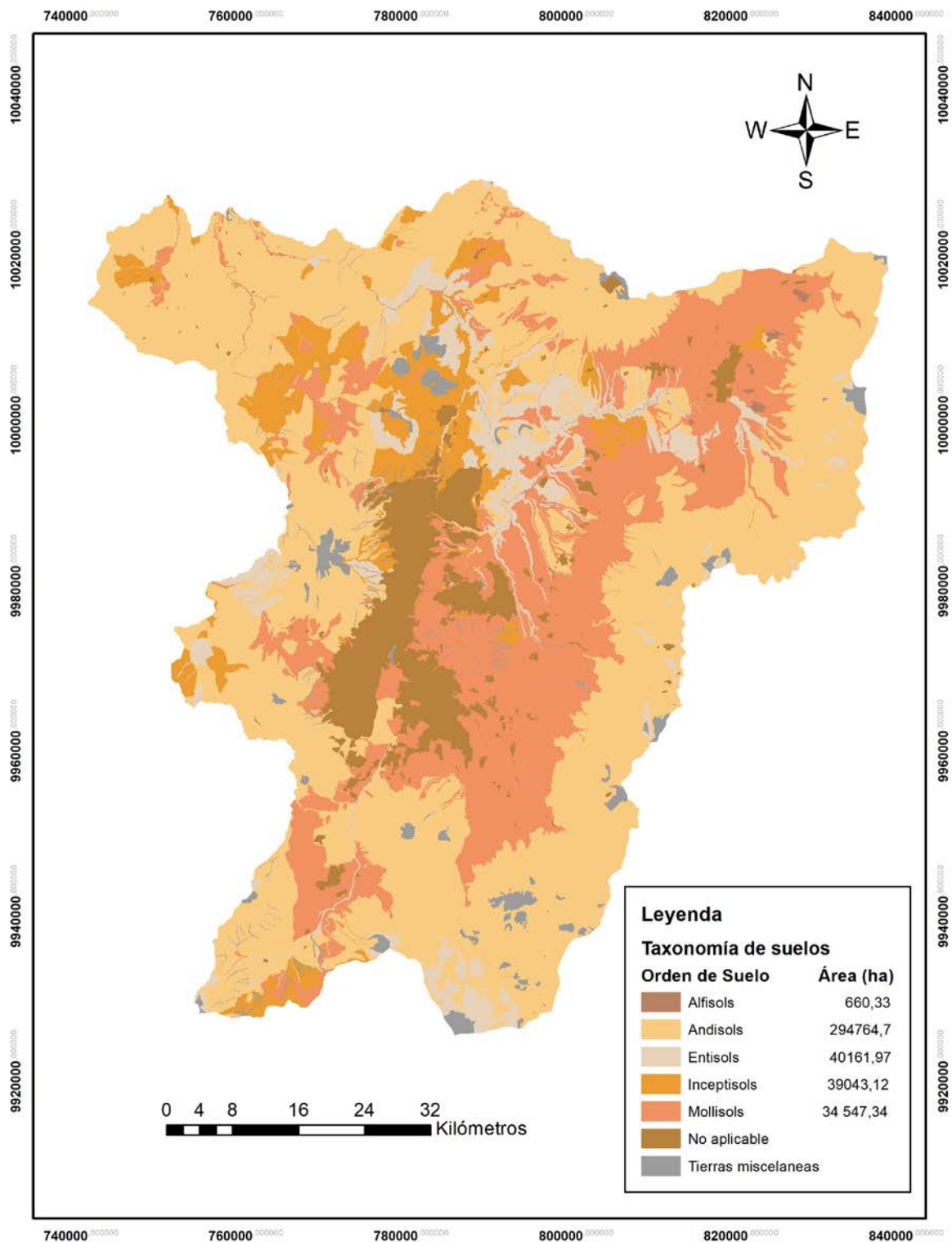


Figura 17. Mapa de ordenes de suelo según la clasificación de la USDA

La USDA (2006), reportó, que los Andisoles son suelos con alta fijación de fosfatos, donde la fracción de humus forma fácilmente complejos con metales como el Aluminio (Al), el carbono (C) atrapado en este complejo es inactivo y deja de ser parte del C activo de la fracción orgánica. Los grupos Hidroxilo combinados con el Al acomplejado entran en reacciones de intercambio de ligados con HPO_4^{-2} y H_2PO_4 así se logra esta fuerte fijación; son suelos derivados de materiales volcánicos (Porta Jaume, López-Acebedo Marta, 2013); normalmente son ácidos, características que corroboran, que los datos de aptitud de suelo sean en su mayoría menos aptos frente a otros tipos de suelo. Por otro lado, los Mollisoles son suelos que presentan adecuadas propiedades físico – químicas en la zona radicular, característica que se ve reflejada en el mayor porcentaje de área de la cuenca, con las mejores aptitudes para riego. Los ordenes Inceptisoles y Entisoles, son suelos con el menor grado de evolución y presentan la mayor variabilidad en sus propiedades, esto conlleva a que sus características de aptitud para riego sean las menos homogéneas.

Sumado a la mayor limitante encontrada en la zona de estudio, la topografía, la aptitud para riego en estos suelos baja notablemente como confirmó Jaramillo (2002), los suelos con menor grado de evolución, no poseen las características propicias para la agricultura, requieren enmiendas para el aprovechamiento del recurso hídrico.

5.2.3 Cobertura - Uso de la tierra y aptitud de riego

Se compararon las características de uso de la tierra (Figura 17) con las áreas clasificadas según su aptitud de riego, en el Cuadro 13 se muestran las áreas y su porcentaje de representación en cada clase de uso de la tierra (nivel 1), la clase no transformable representa, en todos los casos los mayores porcentajes, 35,6 % para bosque, 55,6 % para tierras agropecuarias y 41,3 % para áreas de vegetación arbustiva y herbácea, sin embargo, se denota una mayor afinidad, en áreas con mayor aptitud a riego, a tierras cuyo uso es agropecuario o de cobertura arbustiva (6,6 %) y herbácea (12,9).

Cuadro 13. Área de cobertura y uso de la tierra vs. clases de aptitud de riego

Clase de Suelo	Bosque		Tierra Agropecuaria		Vegetación Arbustiva y Herbácea	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Moderadamente Apta	36 624,2	3,3	174 712,1	4,9	70 400,9	4,0
Limitadamente Apta	74 573,3	6,7	377 984,4	10,7	156 584,1	8,9
No Apta	130 725,9	11,8	457 370,5	12,9	324 019,5	18,4
No Transformable	395 589,7	35,6	1 971 865,0	55,6	725 893,3	41,3
No Aplica	472 834,8	42,6	566 756,0	16,0	481 588,1	27,4
Subtotal	1110347,9	100	3548688,1	100	1758485,9	100
TOTAL	6 417 521,9 ha					

Según Demin (2014), las tierras destinadas para uso agropecuario, poseen características físicas, químicas biológicas y sociales que permiten su explotación, tanto el acceso al recurso como la posibilidad de desarrollar actividades para su mejora (infraestructura, riego, comercialización, transporte, etc.) en pos de la generación de regalías, convierten a las tierras agropecuarias en sectores de gran importancia para el desarrollo de los pueblos.

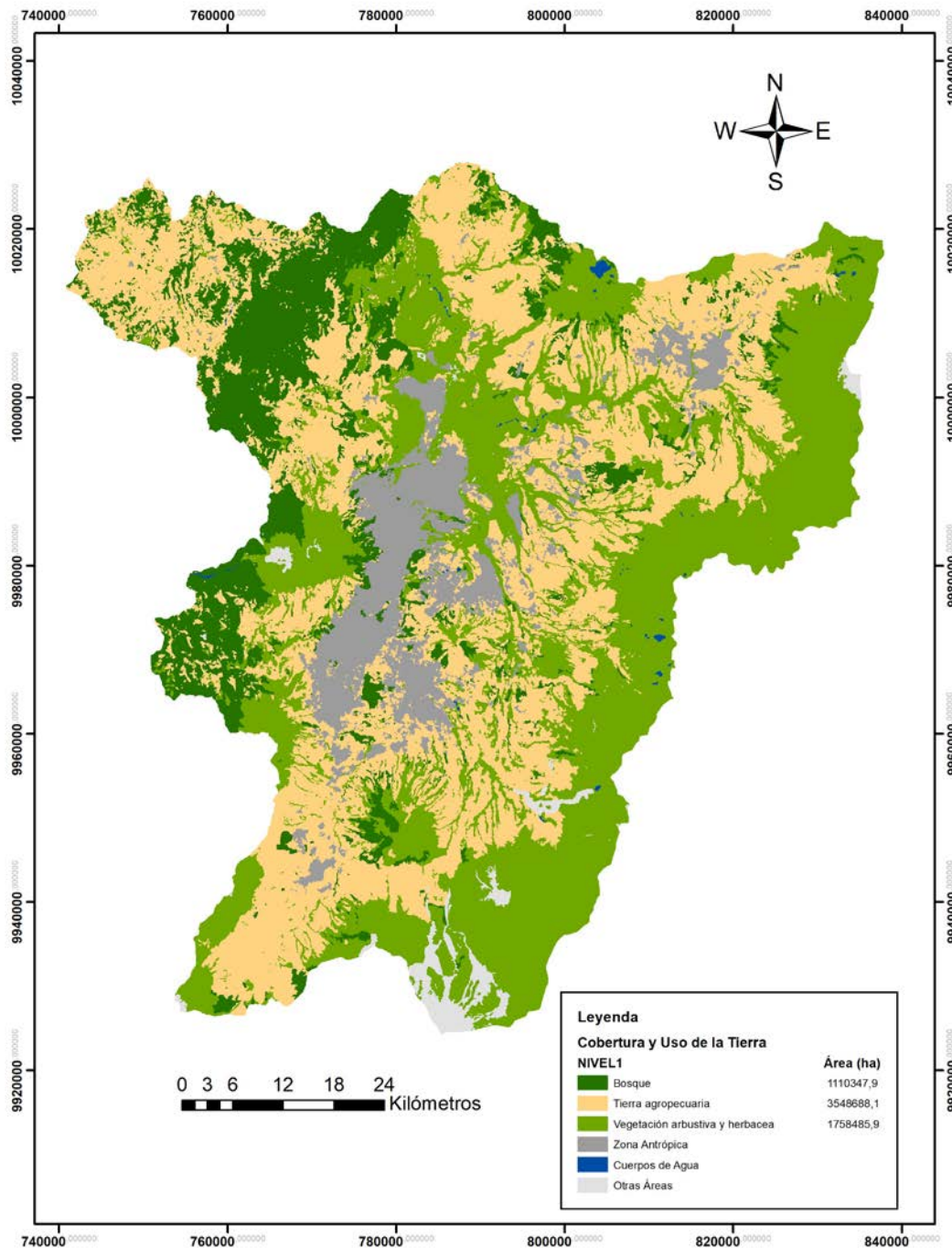


Figura 18. Mapa de Cobertura y uso de la tierra de la Cuenca Alta del río Guayllabamba

5.3. Web GIS

5.3.1 Idea del Proyecto

Este proyecto busca masificar la información geográfica generada a partir de las investigaciones realizadas en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador, con el objetivo de proporcionar información geográfica inmediata sobre temas de importancia para la planificación agrícola dentro y fuera de la institución. De manera específica se presenta en este proyecto la clasificación de la aptitud de la tierra para riego en la cuenca alta del río Guayllabamba, para ello se incluirá en el visor geográfico la siguiente información:

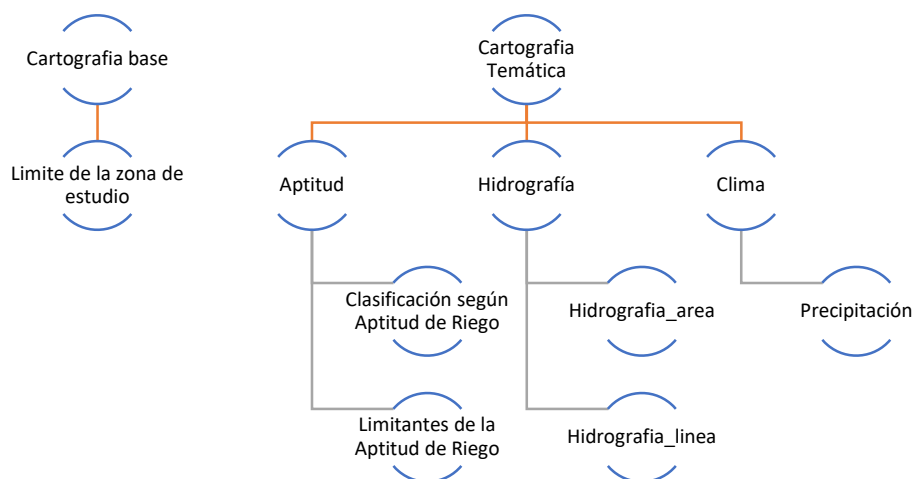


Figura 19. Idea del proyecto: Capas propuestas para su inclusión en el visor geográfico

5.3.2 Visor Geográfico

Mediante la suite OpenGeo, se realizó la publicación de las capas seleccionadas en la idea del proyecto y con los estilos de visualización, previamente determinados en QGIS v. 2.8 “Las palmas”, a travez de GeoServer. Para la visualización de IG, se escribió un código en *.html*, en un servidor local, al cual se agregó el código generado a travez del visualizador GeoExplorer como se muestra en la Ilustración 1.

```
<html>
  <head>
    <title>Mapa de Aptitud de riego en la cuenca alta del río Guayllabamba</title>
  </head>
  <body>
    <h1>Cuenca Alta del Rio Guayllabamba</h1>
    <p>
      Mapa de Aptitud de riego.
    </p>
    <iframe style="border: none;" height="600" width="800"
      src="http://localhost:8080/geoexplorer/viewer/#maps/1"></iframe>
  </body>
```

Ilustración 1. Código de visualización del Proyecto de Aptitud de riego en la cuenca alta del río Guayllabamba en *.html*

La Ilustración 2, muestra el despliegue del Visor geografico en a trvéz de GeoExplorer en el navegador FireFox.

44

6. CONCLUSIONES

- La evaluación de tierras en la cuenca alta del río Guayllabamba estableció cuatro clases según su aptitud de riego de las cuales el 5 % pertenece a la clase “Moderadamente Apta”, el 11,9 % a la clase “Limitadamente Apta”, el 21,8 % a la clase “No Apta” y el 51,5 % corresponde a la clase “No Transformable”; el área No Aplicable representa el 9,8 % del total del territorio.
- En función de las características de soporte de sus recursos se identificaron áreas con factores limitantes de suelo, topografía y drenaje, siendo estos dos últimos, la mayor restricción para la implementación de riego; así se asignan las siguientes subclases: Moderadamente Apta (II t, II d, II st, II sd, II td, II std), Limitadamente Apta (III s, III t, III d, III st, III sd, III td, III std), No Apta (IV s, IV t, IV d, IV st, IV sd, IV td, IV std).
- Se publicaron los resultados de esta investigación en un servidor local un visor geográfico, a través de GeoExplorer, como parte de la plataforma de código abierto “OpenGeo Suite”.
- La plataforma OpenGeo suite, ha permitido desarrollar un proyecto de publicación cartográfica en la web, la accesibilidad de este tipo de plataformas se exhibe como una de las mejores alternativas actuales para el desarrollo de este tipo de proyectos.

7. RECOMENDACIONES

Conforme a los resultados obtenidos y actividades desarrolladas en la presente investigación, se puede recomendar:

- Se recomienda aplicar el método de evaluación de tierras para aptitud de riego, a escala nacional y contrastar los datos obtenidos con la información que maneja actualmente el Instituto Nacional de Estadística y Censos, y manejar la información como herramienta de planificación agropecuaria.
- Complementar la información obtenida en esta investigación con evaluación de campo para validar y actualizar la información vertida en este documento.
- Incorporar a la metodología planteada, información económica de las tierras, para finalizar la evaluación de la aptitud de riego.
- Se recomienda el uso de software libre como la Suite OpenGeo, para el almacenamiento y publicación de todas las investigaciones realizadas posteriormente, ya que esta se presenta como una alternativa accesible para los usuarios que no poseen capacidad de contratar o comprar un servicio privativo o de pago, además su compatibilidad con software como QGIS, simplifica los procedimientos de uso.

8. Resumen

La superficie con potencial de riego en el país se estima en 3 136 000 ha, considerando la aptitud de los suelos para este fin y los recursos hídricos disponibles. Sin embargo, la superficie que cuenta con irrigación en el Ecuador es de 989 637,67 ha, dicha superficie representa el 31,56 % de la superficie con potencial de riego. El aumento de la demanda sobre estos recursos para la obtención de alimentos unidos al escenario de incertidumbre de los posibles impactos del cambio climático, presentan grandes retos, pero también posibilidades del riego como una herramienta de desarrollo y adaptación para enfrentar el desafío tecnológico, institucional y jurídico para las sociedades rurales. Por ello esta investigación fue Evaluar las tierras según su aptitud al riego de la Cuenca Alta del Río Guayllabamba (Pichincha – Ecuador).

La investigación se realizó en la cuenca alta del Río Guallabamba, localizada en la Sierra Norte de Ecuador, en la provincia de Pichincha, ubicada en la parte alta de la cuenca del río Esmeraldas, vertiente del Pacífico ecuatoriano, presente en cinco cantones: Mejía, Rumiñahui, Cayambe, Pedro Moncayo y el Distrito Metropolitano de Quito. Este estudio se organizó en tres fases: la Fase I, consistió en recolectar la información necesaria para realizar la evaluación de tierras basado en datos de suelo (A) y datos meteorológicos (B), que fue tabulada y organizada para su procesamiento; En la Fase II se aplicó un análisis multicriterio utilizando la metodología modificada para la determinación de aptitud de la tierra para riego, se categorizó las tierras mediante trece matrices de doble entrada para evaluar las características de los factores al tiempo de contraponerlas asignando un valor de clasificación (“I”, “II”, “III”, “IV”, “V”) y un valor de limitante (“s”, “t”, o “d”); en la Fase III, se utilizó los software OpenGeo suite y QGIS para cargar los productos resultado de la evaluación de tierras y se desarrolló un visor geográfico publicado en un servidor local.

Se determinaron cuatro clases de aptitud de riego en el área de estudio, donde de un total de 574 417,85 ha el 5 % pertenece a la “clase II”, moderadamente apta; el 11,9 % a la “clase III”, limitadamente apta; el 21,8 % a la “clase IV”, no apta; el 51,5 % a la “clase V”, no transformable y el 9,8 % pertenece a zonas de tipo erial, cuerpos de agua, ríos o nevados. En función de las características de soporte de sus recursos se identificaron áreas con factores limitantes de suelo, topografía y drenaje, siendo estos dos últimos, la mayor restricción para la implementación de riego; así se asignan las siguientes subclases: Moderadamente Apta (II t, II d, II st, II sd, II td, II std), Limitadamente Apta (III s, III t, III d, III st, III sd, III td, III std), No Apta (IV s, IV t, IV d, IV st, IV sd, IV td, IV std). Se publicó la información geográfica de la evaluación de tierras en visor geográfico, a través de GeoExplorer, como parte de la plataforma de código abierto “OpenGeo Suite”, que se exhibe como una de las mejores alternativas actuales para el desarrollo de este tipo de proyectos.

9. Summary

The area with irrigation potential in the country is estimated at 3 136 000 ha, considering the suitability of the soils for this purpose and the available water resources. However, the surface that has irrigation in Ecuador is 989 637.67 ha, this surface represents 31.56% of the surface with irrigation potential. The increase in demand for these resources to obtain food together with the uncertainty scenario of the possible impacts of climate change, present great challenges, but also opportunities for irrigation as a tool for development and adaptation to face the technological, institutional and legal for rural societies. For this reason, this investigation was to evaluate the lands according to their aptitude to irrigate the Upper Basin of the Guayllabamba River (Pichincha - Ecuador).

The investigation was carried out in the upper basin of the Guallabamba River, located in the Sierra Norte of Ecuador, in the province of Pichincha, located in the upper part of the Esmeraldas river basin, a slope of the Ecuadorian Pacific, present in five cantons: Mejía, Rumiñahui, Cayambe, Pedro Moncayo and the Metropolitan District of Quito. This study was organized in three phases: Phase I, consisted in collecting the necessary information to perform the land evaluation based on soil data (A) and meteorological data (B), which was tabulated and organized for processing; In Phase II, a multicriteria analysis was applied using the modified methodology for the determination of land aptitude for irrigation. The land was categorized by thirteen double-entry matrices to evaluate the characteristics of the factors while contrasting them by assigning a classification value ("I", "II", "III", "IV", "V") and a limiting value ("s", "t", or "d"); In Phase III, the OpenGeo suite and QGIS software were used to load the products resulting from the land evaluation and a geographical viewer published on a local server was developed.

Four classes of irrigation aptitude were determined in the study area, where of a total of 574 417.85 ha, 5 % belong to the "class II", moderately apt; 11.9 % to "class III", limited aptitude; 21.8 % to "class IV", not suitable; 51.5 % to "class V", non-transformable and 9.8 % belong to wasteland, water bodies, rivers or snowy areas. Based on the support characteristics of their resources, areas with limiting factors of soil, topography and drainage were identified, the latter two being the greatest restriction for the implementation of irrigation; Thus the following subclasses are assigned: Moderately apt (II t, II d, II st, II sd, II td, II std), Limitedly fit (III s, III t, III d, III st, III sd, III td, III std), Not suitable (IV s, IV t, IV d, IV st, IV sd, IV td, IV std). The geographic information of the land evaluation in geographic view was published, through GeoExplorer, as part of the open source platform "OpenGeo Suite", which is exhibited as one of the best current alternatives for the development of this type of projects.

10. Referencias Bibliográficas

- Aguilar Rivera, N., L.A. Olvera Vargas, y G. Galindo Mendoza. 2013. Evaluación de aptitud de tierras al cultivo de caña de azúcar en la Huasteca potosina, México, por técnicas geomáticas. *Rev. Geogr. Norte Gd.* 156(55): 141–156. doi: 10.4067/S0718-34022013000200010.
- Bernabé-Poveda, M.A.M.A., y C.M.C.M. López-Vázquez. 2012. Fundamentos de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) (UPM press, Ed.). 1ra edició. UPM Press, Madrid.
- CAMAREN. 2017. El desarrollo de la agricultura bajo riego. Camaren: 1–2. www.camaren.org.
- Casanellas, J.P., y M. López-Acevedo. 2005. Agenda de campo de suelos: Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente (SA Editorial Aedos, Ed.). Grupo Mundi-Prensa, Barcelona.
- Centeno Catillo, H.V., y carlos J. Baca García. 2017. Clasificación de Tierras Según su Aptitud para Riego en la Cuenca Chirumbia, Distrito de Quellouno, Provincia la Convención - Cuzco.
- Chakraborty, D., D. Chakraborty, D. Sarkar, S. Agarwal, D. Dutta, y J.R. Sharma. 2015. Web Based GIS Application using Open Source Software for Sharing Geospatial Data. *Int. J. Adv. Remote Sens. GIS* 4(1): 1224–1228. <http://technical.cloud-journals.com/index.php/IJARSG/article/view/452>.
- Choque Baitizta, F. 2013. Clasificación de suelos según la aptitud de riego en la comunidad de Cellullo (Municipio de Palca - La Paz). <http://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/4162/T-1835.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Demin, P. 2014. Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego Métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones (Equipo de comunicación EEA Catamarca, Ed.). 1a. ed. Proyecto Regional “Aportes al Desarrollo Territorial de la Puna y Valles Áridos de Antofagasta de la Sierra, Belén y Santa María, Catamarca”, San Fernando del Valle de Catamarca.
- FAO. 2003. EVALUACION DE TIERRAS CON METODOLOGIAS DE FAO Documento de Trabajo. Santiago de Chile.
- FAO. 2007. Land evaluation : Towards a revised framework. p. 124. *En* FAO (ed.), Land And Water Discussion Paper. Comunicati. Electronic publishing policy and support branch, Roma.
- Fonts, O., y M. Pericay. 2012. Adaptación de OpenGeo Suite para la gestión integral de Información Geográfica en el Ayuntamiento de Castellbisbal. p. 11. *En* VI Jornadas de SIG Libre. SIGTE, Girona.
- Franco, R. 2017. Geoportales y Visores Geográficos en Colombia.
- Gacek, C., y B. Arief. 2004. The Many Meanings of Open Source. *IEEE Softw.* 21(1): 34–40+4. doi:

10.1109/MS.2004.1259206.

Hernández, N.A. 2009. El Premapa para el Análisis Geográfico. Quivera 11(1405–8626): 142–155.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40113786009>.

Hidalgo García, M., L. Loyola, C. López, F. Zunino, B. Valle Vila, J. San Sebastián Sauto, y R. Hierro Rodríguez. 2015. HERRAMIENTA MULTICRITERIO BASADA EN FUNCIONALIDADES SIG PARA LA IDENTIFICACIÓN POTENCIAL DE ÁREAS DE RIEGO EN ARGENTINA. p. 562–572. En XXXIII Congreso Nacional de Riegos. Editorial Universitat Politècnica de València.

Idee, G.T. 2004. La Infraestructura de Datos Espaciales de España. Power: 1–45.
http://jidee06.uji.es/down/s11_rodriguez.pdf.

Ides, D. 2014. 1. Infraestructuras de datos espaciales. p. 20–22.

IGAC. 2014. Manejo de Suelos Colombianos (Imprenta Nacional de Colombia, Ed.). Imprenta Nacional de Colombia, Bogotá.

IGM. 2008. Catálogo de Datos y Servicios Servicios. : 1–3.

INEC, y C. Pilataxi. 2016. Módulo Ambiental de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2016. Quito.

Iniesto, M., y A. Núñez. 2013. Introducción a las Infraestructuras de Datos Espaciales (M Iniesto y A Núñez, Eds.). Instituto. Madrid.

Jaramillo, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Primera Ed. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

De la Rosa, D. 2008. Evaluación Agro- ecológica de Suelos para un desarrollo rural sostenible. Mundi-Pren. Publidisa, Madrid.

Leyva Bolívar, M. 2015. Desarrollo e implantación de un Geoportal y de servicios de Infraestructura de Datos Espaciales en el Ayuntamiento de Barcelona. Barcelona.

López, A.J. 2006. Manual De Edafología. Departameto de Crostalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la UNiversidad de Sevilla, Sevilla.

Pereira, C., C. Maycotte, B. Restrepo, F. Mauro, A. Montes, y M.J. Esther. 2011. Edafología I (P Edición, Ed.). Espacio Gráfico Comunicaciones, Caldas.

Porta Jaume, López-Acebedo Marta, P.R. 2013. Edafologia, uso y proteccion de los suelos.

PostGIS.net. 2018. PostGIS 2.4.5 Manual. <http://postgis.net/stuff/postgis-2.4.pdf>.

Román, F., H. Rivera, y H. Rivera. 2011. 2011 - 2026 Plan Nacional De Riego Y Drenaje. Subsecr. Riego

- y Dren. (Tungutahua): 19–266.
- Román, F., L.F. Villegas, C. Tamayo, y F. Silva. 2017. El desarrollo de la agricultura bajo riego. Foro los Recur. hídricos: 1–32. www.camaren.org.
- Sancho, M.T.M., y M.-Á. Manso-Callejo. 2012. Los Geoportales. Perspectiva Desde La Usabilidad. Fundam. las Infraestructuras Datos Espac. (April 2016): 596.
- Santos Pereira, L., J.A. de Juan Velero, y M.R. Picornell Buendía. 2010. El riego y sus tecnologías (Centro de Engenharia dos Biosistemas, Ed.). Primera Ed. Instituto Superior de Agronomia, Universidad Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Silva, C.J. Da, y O.D. Cardozo. 2015. Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina). *GeoFocus. Rev. Int. Cienc. y Tecnol. la Inf. Geográfica* (16): 23–40. <http://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/445>.
- Silva, O.A., L. Mantovani, y C. Arteaga. 1999. Evaluación de tierras en sistemas agrícolas de subsistencia en áreas de montaña . Caso Macapo , estado Cojedes. (January 1999).
- Sitanggang, I.S., y R. Trisminingsih. 2017. Integration of Spatial Online Analytical Processing for Agricultural Commodities with OpenLayers. : 167–170.
- Sui, D. 2014. Opportunities and impediments for open GIS. *Trans. GIS* 18(1): 1–24. doi: 10.1111/tgis.12075.
- Tragsatec. 2014. Informe FAO Argentina. Buenos Aires.
- USDA. 2006. Claves para la Taxonomía de Suelos.
- Zegarra, E., y O. Chirinos. 2016. Diagnóstico sobre la situación y potencial del sector riego en Diagnóstico sobre la situación y potencial del sector riego en Nicaragua. Managua.

11. Anexos

Matrices de doble entrada para la categorización de la aptitud de riego

Anexo 1. Categorización de pendiente

Pendiente [pendiente]= x

Clase	Indicador	Simbología
1	0 - 5	I
2	5 -12	II
3	12-25	III
4	25-70	IV
5	>70	V

Anexo 2. Matriz de tabulación de Susceptibilidad a la erosión vs. Pendiente

susceptibilidad a la erosión [suber_simb] = y

clase	sin	Baja	moderada	alta	muy alta
I	I	II	II t	III t	V
II	II	II	II t	III t	V
III	III	III	III t	IV t	V
IV	IV	IV	IV t	IV t	V
V	V	V	V	V	V

Anexo 3. Matriz de tabulación de Nivel Freático vs. Susceptibilidad a la erosión

Nivel Freático [pnf_simb] = z

Clase	profundo o sin evidencia	M. profundo	P. profundo	superficial	muy superficial
I	I	II d	III d	IV d	V
II	II	II d	III d	IV d	V
II t	II t	II t,d	III t,d	IV t,d	V
III	III	III d	IV d	IV d	V
III t	III t	III t	IV t,d	IV t,d	V
IV	IV	IV d	IV d	IV d	V
IV t	IV t	IV t	IV t,d	IV t,d	V
V	V	V	V	V	V

Anexo 4. Matriz de tabulación de Inundación vs. Nivel Freático

Inundación

[inu_simb] = i

Clase	sin	corta	media	larga
I	I	II d	III d	V
II	II	II d	III d	V
II t	II t	II t,d	III t,d	V
II d	II d	II d	III d	V
II t,d	II t,d	II t,d	III t,d	V
III	III	III	IV d	V
III t	III t	III t,d	IV t,d	V
III d	III d	III d	IV d	V
III t,d	III t,d	III t,d	IV t,d	V
IV	IV	IV	IV d	V
IV t	IV t	IV t	IV t,d	V
IV d	IV d	IV d	IV d	V
IV t,d	IV t,d	IV t,d	IV t,d	V
V	V	V	V	V

Anexo 5. Matriz de tabulación de Velocidad de Infiltración vs. Inundación

Velocidad de infiltración

[veinf_etiq] = v

Clase	moderada	Mode rapida + Mode lenta	Rapida	Lenta	muy lenta ó muy rapida
I	I	II d	III d	III d	V
II	II	II d	III d	III d	V
II t	II t	II t,d	III t,d	III t,d	V
II d	II d	II d	III d	III d	V
II t,d	II t,d	II t,d	III t,d	III t,d	V
III	III	III d	IV d	IV d	V
III t	III t	III t,d	IV t,d	IV t,d	V
III d	III d	III d	IV d	IV d	V
III t,d	III t,d	III t,d	IV t,d	IV t,d	V
IV	IV	IV d	IV d	IV d	V
IV t	IV t	IV t,d	IV t,d	IV t,d	V
IV d	IV d	IV d	IV d	IV d	V
IV t,d	IV t,d	IV t,d	IV t,d	IV t,d	V
V	V	V	V	V	V

Anexo 6. Matriz de tabulación de Drenaje vs. Velocidad de Infiltración

Drenaje

[dna_etiq] = d

Clase	bueno	moderado	excesivo	mal drenado
I	I	II d	III d	V
II	II	II d	III d	V
II t	II t	II t,d	III t,d	V
II d	II d	II d	III d	V
II t,d	II t,d	II t,d	III t,d	V
III	III	III d	III d	V
III t	III t	III t,d	III t,d	V
III d	III d	III d	III d	V
III t,d	III t,d	III t,d	III t,d	V
IV	IV	IV d	IV d	V
IV t	IV t	IV t,d	IV t,d	V
IV d	IV d	IV d	IV d	V
IV t,d	IV t,d	IV t,d	IV t,d	V
V	V	V	V	V

Anexo 7. Matriz de tabulación de Textura superficial vs. Drenaje

textura superficial

[tsu_simb] = ts

Clase	F-FY	AF-FYA	AF-FYL	AF-Y	Cualquiera
I	I	II	II	II s	V
II	II	II	II	III s	V
II t	II t	II t	II t	III s,t	V
II d	II d	II d	II d	III s,d	V
II t,d	II t,d	II t,d	II t,d	III s,t,d	V
III	III	III	III	IV s	V
III t	III t	III t	III t	IV s,t	V
III d	III d	III d	III d	IV s,d	V
III t,d	III t,d	III t,d	III t,d	IV s,t,d	V
IV	IV	IV	IV	IV s	V
IV t	IV t	IV t	IV t	IV st	V
IV d	IV d	IV d	IV d	IV sd	V
IV td	IV td	IV td	IV td	IV std	V
V	V	V	V	V	V

Anexo 8. Matriz de tabulación de Textura a profundidad vs. Textura superficial

textura a profundidad [tpr_simb] = tp

Clase	FA-FY	AF-Y	FA-Y	AF-YA	Cualquiera
I	I	II	II	II s	V
II	II	II	II	II s	V
II s	II s	II s	II s	III s	V
II t	II t	II t	II t	III s,t	V
II d	II d	II d	II d	III s,d	V
II t,d	II t,d	II t,d	II t,d	III s,t,d	V
III	III	III	III	IV s	V
III s	III s	III s	III s	IV s	V
III t	III t	III t	III t	IV s,t	V
III d	III d	III d	III d	IV s,d	V
III s,t	III s,t	III s,t	III s,t	IV s,t	V
III s,d	III s,d	III s,d	III s,d	IV s,d	V
III t,d	III t,d	III t,d	III t,d	IV s,t,d	V
III s,t,d	III s,t,d	III s,t,d	III s,t,d	IV s,t,d	V
IV	IV	IV	IV	IV s	V
IV s	IV s	IV s	IV s	IV s	V
IV t	IV t	IV t	IV t	IV s,t	V
IV d	IV d	IV d	IV d	IV s,d	V
IV s,t	IV s,t	IV s,t	IV s,t	IV s,t	V
IV s,d	IV s,d	IV s,d	IV s,d	IV s,d	V
IV t,d	IV t,d	IV t,d	IV t,d	IV s,t,d	V
IV s,t,d	IV s,t,d	IV s,t,d	IV s,t,d	IV s,t,d	V
V	V	V	V	V	V

Anexo 9. Matriz de tabulación de Profundidad efectiva vs. Textura a profundidad

Profundidad efectiva [pef_simb] = pef

clase	profundo	M. profundo	P. profundo	superficial	muy superficial
I	I	II	II s	III s	V
II	II	II	III s	IV s	V
II s	II s	II s	III s	IV s	V
II t	II t	II t	III s,t	IV s,t	V
II d	II d	II d	III s,d	IV s,d	V
II t,d	II t,d	II t,d	III s,t,d	IV s,t,d	V
III	III	III	III s	V	V
III s	III s	III s	III s	V	V
III t	III t	III t	III s,t	V	V
III d	III d	III d	III s,d	V	V
III s,t	III s,t	III s,t	IV s,t	V	V
III s,d	III s,d	III s,d	IV s,d	V	V
III t,d	III t,d	III t,d	IV s,t,d	V	V
III s,t,d	III s,t,d	III s,t,d	IV s,t,d	V	V
IV	IV	IV	V	V	V
IV s	IV s	IV s	V	V	V
IV t	IV t	IV t	V	V	V
IV d	IV d	IV d	V	V	V
IV s,t	IV s,t	IV s,t	V	V	V
IV s,d	IV s,d	IV s,d	V	V	V
IV t,d	IV t,d	IV t,d	V	V	V
IV s,t,d	IV s,t,d	IV s,t,d	V	V	V
V	V	V	V	V	V

Anexo 10. Matriz de tabulación de CRAD vs. Profundidad efectiva

CRAD

CRAD_etiq = crad

clase	Alta > 150	Moderada 112,6 - 150	Baja 75,1 - 112,5	Muy Baja 62,5 - 75	cualquiera
I	I	I	II s	II s	V
II	II	II	II s	II s	V
II s	II s	II s	II s	III s	V
II t	II t	II t	II s,t	III s,t	V
II d	II d	II d	II s,d	III s,d	V
II t,d	II t,d	II t,d	II s,t,d	III s,t,d	V
III	III	III	III s	IV s	V
III s	III s	III s	III s	IV s	V
III t	III t	III t	III s,t	IV s,t	V
III d	III d	III d	III s,d	IV s,d	V
III s,t	III s,t	III s,t	III s,t	IV s,t	V
III s,d	III s,d	III s,d	III s,d	IV s,d	V
III t,d	III t,d	III t,d	III s,t,d	IV s,t,d	V
III s,t,d	III s,t,d	III s,t,d	III s,t,d	IV s,t,d	V
IV	IV	IV	IV s	IV s	V
IV s	IV s	IV s	IV s	IV s	V
IV t	IV t	IV t	IV s,t	IV s,t	V
IV d	IV d	IV d	IV s,d	IV s,d	V
IV s,t	IV s,t	IV s,t	IV s,t	IV s,t	V
IV s,d	IV s,d	IV s,d	IV s,d	IV s,d	V
IV t,d	IV t,d	IV t,d	IV s,t,d	IV s,t,d	V
IV s,t,d	IV s,t,d	IV s,t,d	IV s,t,d	IV s,t,d	V
V	V	V	V	V	V

Anexo 11. Matriz de tabulación de Pedregosidad vs. CRAD

Pedregosidad

[ped_etiq] = ped

clase	sin	muy pocas	pocas	frecuente	abundante + pedregoso
I	I	I	II s	IV s	V
	II	II	II s	IV s	V
II s	II s	II s	II s	IV s,t	V
II t	II t	II t	II s,t	IV s,t	V
II d	II d	II d	II s,d	IV s,d	V
II s,t	II s,t	II s,t	II s,t	IV s,t	V
II t,d	II t,d	II t,d	II s,t,d	IV s,t,d	V
II s,t,d	II s,t,d	II s,t,d	II s,t,d	IV s,t,d	V
III	III	III	III s	IV s	V
III s	III s	III s	III s	IV s	V
III t	III t	III t	III s,t	IV s,t	V
III d	III d	III d	III s,d	IV s,d	V
III s,t	III s,t	III s,t	III s,t	IV s,t	V
III s,d	III s,d	III s,d	III s,d	IV s,d	V
III t,d	III t,d	III t,d	III s,t,d	IV s,t,d	V
III s,t,d	III s,t,d	III s,t,d	III s,t,d	IV s,t,d	V
IV	IV	IV	IV s	V	V
IV s	IV s	IV s	IV s	V	V
IV t	IV t	IV t	IV s,t	V	V
IV d	IV d	IV d	IV s,d	V	V
IV s,t	IV s,t	IV s,t	IV s,t	V	V
IV s,d	IV s,d	IV s,d	IV s,d	V	V
IV t,d	IV t,d	IV t,d	IV s,t,d	V	V
IV s,t,d	IV s,t,d	IV s,t,d	IV s,t,d	V	V
V	V	V	V	V	V

Anexo 12. Matriz de tabulación de Salinidad vs. Pedregosidad

Salinidad

[sal_etiq] = sal

clase	No salino	ligeramente salino	salino	muy salino	extr salino + sin suelo
I	I	I	II s	IV s	V
II	II	II	II s	IV s	V
II s	II s	II s	II s	IV s	V
II t	II t	II t	II s,t	IV s,t	V
II d	II d	II d	II s,d	IV s,d	V
II s,t	II s,t	II s,t	II s,t	IV s,t	V
II s,d	II s,d	II s,d	II s,d	IV s,d	V
II t,d	II t,d	II t,d	II s,t,d	IV s,t,d	V
II s,t,d	II s,t,d	II s,t,d	II s,t,d	IV s,t,d	V
III	III	III	III s	IV s	V
III s	III s	III s	III s	IV s	V
III t	III t	III t	III s,t	IV s,t	V
III d	III d	III d	III s,d	IV s,d	V
III s,t	III s,t	III s,t	III s,t	IV s,t	V
III s,d	III s,d	III s,d	III s,d	IV s,d	V
III t,d	III t,d	III t,d	III s,t,d	IV s,t,d	V
III s,t,d	III s,t,d	III s,t,d	III s,t,d	IV s,t,d	V
IV	IV	IV	IV s	V	V
IV s	IV s	IV s	IV s	V	V
IV t	IV t	IV t	IV s,t	V	V
IV d	IV d	IV d	IV s,d	V	V
IV s,t	IV s,t	IV s,t	IV s,t	V	V
IV s,d	IV s,d	IV s,d	IV s,d	V	V
IV t,d	IV t,d	IV t,d	IV s,t,d	V	V
IV s,t,d	IV s,t,d	IV s,t,d	IV s,t,d	V	V
V	V	V	V	V	V

Anexo 13. Matriz de tabulación de Ph vs. Salinidad

pH

[phs_etq] = phs

clase	N-PN-Lac 6,1 - 7,5	Lal-Mal-MeAc 5,6 - 8,5	Ac-Al 5,1 - 9	Mac 4,5 - 9	Cualquiera
I	I	I	II s	IV s	V
II	II	II	II s	IV s	V
II s	II s	II s	II s	IV s	V
II t	II t	II t	II s,t	IV s,t	V
II d	II d	II d	II s,d	IV s,d	V
II s,t	II s,t	II s,t	II s,t	IV s,t	V
II s,d	II s,d	II s,d	II s,d	IV s,d	V
II t,d	II t,d	II t,d	II s,t,d	IV s,t,d	V
II s,t,d	II s,t,d	II s,t,d	II s,t,d	IV s,t,d	V
III	III	III	III s	IV s	V
III s	III s	III s	III s	IV s	V
III t	III t	III t	III s,t	IV s,t	V
III d	III d	III d	III s,d	IV s,d	V
III s,t	III s,t	III s,t	III s,t	IV s,t	V
III s,d	III s,d	III s,d	III s,d	IV s,d	V
III t,d	III t,d	III t,d	III s,t,d	IV s,t,d	V
III s,t,d	III s,t,d	III s,t,d	III s,t,d	IV s,t,d	V
IV	IV	IV	IV s	V	V
IV s	IV s	IV s	IV s	V	V
IV t	IV t	IV t	IV s,t	V	V
IV d	IV d	IV d	IV s,d	V	V
IV s,t	IV s,t	IV s,t	IV s,t	V	V
IV s,d	IV s,d	IV s,d	IV s,d	V	V
IV t,d	IV t,d	IV t,d	IV s,t,d	V	V
IV s,t,d	IV s,t,d	IV s,t,d	IV s,t,d	V	V
V	V	V	V	V	V