

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN RECURSOS HÍDRICOS



**“MODELAMIENTO GEOESPACIAL PARA LA
CARACTERIZACIÓN AGROECOLÓGICA – ECONÓMICA PARA
EL DESARROLLO DE LOS CULTIVOS DE AGROEXPORTACIÓN,
UNIDAD HIDROGRÁFICA PIURA, PERÚ”**

Presentada por:

NIELL WILSON RIVAS MEZA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN RECURSOS HÍDRICOS**







Lima – Perú

2023

Document Information

Analyzed document	TESIS_NWRM sustentado.pdf (D145873457)
Submitted	10/8/2022 2:10:00 AM
Submitted by	NÉSTOR MONTALVO ARQUIÑIGO
Submitter email	nmontalvo@lamolina.edu.pe
Similarity	4%
Analysis address	nmontalvo.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	TESIS OPTIMO - 1.docx Document TESIS OPTIMO - 1.docx (D29780833)		6
SA	TESIS FORESTALES_CABANILLAS JULCA.pdf Document TESIS FORESTALES_CABANILLAS JULCA.pdf (D116153791)		2
SA	TESIS _FORESTAL_CAYOTOPA IRIGOIN_2021.docx Document TESIS _FORESTAL_CAYOTOPA IRIGOIN_2021.docx (D126342927)		5
W	URL: https://fliphtml5.com/evnkc/scnh/basic/51-100 Fetched: 7/6/2022 4:09:27 AM		2
SA	Tesis Rosado URKUND.doc Document Tesis Rosado URKUND.doc (D116866444)		1
SA	TESIS_CORREA_PINILLA.pdf Document TESIS_CORREA_PINILLA.pdf (D104147876)		1

Entire Document

1
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA ESCUELA DE POSGRADO MAESTRÍA EN RECURSOS HÍDRICOS
"MODELAMIENTO GEOESPACIAL PARA LA CARACTERIZACIÓN AGROECOLÓGICA – ECONÓMICA PARA EL
DESARROLLO DE LOS CULTIVOS DE AGROEXPORTACIÓN, UNIDAD HIDROGRÁFICA PIURA - PERU" Presentado por:
NIELL WILSON RIVAS MEZA TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO MAGISTER SCIENTIAE EN RECURSOS
HÍDRICOS
Lima – Perú 2022

2
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA ESCUELA DE POSGRADO MAESTRÍA EN RECURSOS HÍDRICOS
"MODELAMIENTO GEOESPACIAL PARA LA CARACTERIZACIÓN AGROECOLÓGICA – ECONÓMICA PARA EL
DESARROLLO DE LOS CULTIVOS DE AGROEXPORTACIÓN, UNIDAD HIDROGRÁFICA PIURA - PERU" TESIS PARA OPTAR
EL GRADO DE MAESTRO MAGISTER SCIENTIAE Presentado por: Niell Wilson Rivas Meza
Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado: Ph.D. Eduardo Chávarri Velarde Dr. Néstor Montalvo Arquiñigo
PRESIDENTE PATROCINADOR Dr. Abel Mejía Marcacuzco Ph.D. Absalón Vásquez Villanueva MIEMBRO MIEMBRO
3 A MIS PADRES Y HERMANA CON TODO EL AFECTO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN RECURSOS HÍDRICOS**

**“MODELAMIENTO GEOESPACIAL PARA LA
CARACTERIZACIÓN AGROECOLÓGICA – ECONÓMICA PARA
EL DESARROLLO DE LOS CULTIVOS DE AGROEXPORTACIÓN,
UNIDAD HIDROGRÁFICA PIURA, PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

Niell Wilson Rivas Meza

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph.D. Eduardo Chávarri Velarde
PRESIDENTE

Dr. Néstor Montalvo Arquíñigo
ASESOR

Dr. Abel Mejía Marcacuzco
MIEMBRO

Ph.D. Absalón Vásquez Villanueva
MIEMBRO

A MIS PADRES Y HERMANA CON
TODO EL AFECTO

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mis más sinceros agradecimientos a mi alma mater, Universidad Nacional Agraria La Molina, a la Facultad de Ingeniería Agrícola y la maestría de recursos hídricos, que me formó académicamente con sus dedicados docentes, de los cuales guardo grandes enseñanzas. Y ahora devuelvo lo aprendido, enseñando a nuevas generaciones de ingenieros agrícolas molineros.

A mi asesor, Doctor Néstor Montalvo, por su valiosa amistad, por sus constantes apoyos y estímulo durante el desarrollo del presente trabajo.

A mi padre Wilson Rivas y a mi madre Miriam Meza, por apoyarme en todo momento, por sus consejos, valores y paciencia que me ha permitido ser quien soy. Sobre todo, por su amor.

A mi hermana Jacqueline Rivas, por su paciencia y constancia, por estar conmigo y confiar en mí.

A mi mejor amigo y que ha cumplido el rol de hermano mayor, David Guzmán, por su confianza, pero sobre todo por la paciencia a mi persona, por su apoyo y amor fraternal.

A mi amiga Irma Huayhua, por tener paciencia durante toda la elaboración de la presente tesis. Y si el destino lo quiere, me apoyará en la tesis doctoral.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1.	ANTECEDENTES	3
2.2.	CUENCAS HIDROGRÁFICAS	4
2.3.	ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA	4
2.4.	ZONAS AGROECOLÓGICAS	5
2.5.	FACTORES DETERMINANTES EN ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA... 5	
2.5.1.	Factores edafológicos.....	6
2.5.2.	Factores climáticos.....	6
2.5.3.	Fisiografía	6
2.6.	ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA ECONÓMICA	7
2.7.	SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	7
2.7.1.	Elementos de un SIG	8
2.7.2.	Funciones de los SIG	9
2.8.	MODELOS GEOESPACIALES.....	12
2.9.	BASE DE DATOS (BD).....	13
2.9.1.	Ventajas y desventajas de las bases de datos	14
2.10.	SISTEMA GESTOR DE BASE DE DATOS (SGBD).....	15
2.10.1.	Arquitectura de los SGBD	15
2.10.2.	Diseño de una base de datos	17
2.10.3.	Modelo Entidad – Relación E/R	18
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1.	MATERIALES Y EQUIPOS	20
3.2.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	20
3.3.	METODOLOGÍA	24
3.3.1.	Fase pre-campo	24
3.3.2.	Trabajo de campo.....	25
3.3.3.	Trabajo de gabinete.....	25
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1.	INFORMACIÓN TEMÁTICA GENERADA PARA EL MODELO AGROECOLÓGICO ECONÓMICO	47
4.1.1.	Variable temática de pendientes	47

4.1.2. Variable temática de suelos	48
4.1.3. Variable temática de temperatura media.....	49
4.1.4. Variable temática de precipitación.....	51
4.1.5. Variable temática de red vial	52
4.1.6. Variable temática de centro poblado.....	53
4.1.7. Variable temática de uso actual	54
4.1.8. Variable temática de pobreza.....	55
4.1.9. Variable temática de IDH	56
4.2. ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA ECONÓMICA DE LOS CULTIVOS ..	57
4.2.1. Zonas aptas para el cultivo ají paprika.....	57
4.2.2. Zonas aptas para el cultivo limón	58
4.2.3. Zonas aptas para el cultivo mango.....	59
4.2.4. Zonas aptas para el cultivo maracuyá	60
4.2.5. Zonas aptas para el cultivo uva.....	61
V. CONCLUSIONES	63
VI. RECOMENDACIONES	64
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
VIII. ANEXOS	70

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Datos meteorológicos obtenidos.....	22
Cuadro 2: Parámetros para el modelo de Zonificación Agroecológica Económica.....	27
Cuadro 3: Niveles, rangos y descripción de pendientes	28
Cuadro 4: Indicadores de textura del suelo	29
Cuadro 5: Indicadores de profundidad efectiva del suelo	30
Cuadro 6: Indicadores de pedregosidad del suelo	30
Cuadro 7: Indicaciones de drenaje del suelo	31
Cuadro 8: Indicaciones de pH del suelo	31
Cuadro 9: Indicaciones de salinidad del suelo	32
Cuadro 10: Niveles de isotermas (temperatura media)	32
Cuadro 11: Niveles de isoyetas (precipitación).....	33
Cuadro 12: Requerimientos agroecológicos de los cultivos.....	34
Cuadro 13: Niveles de la capa de red vial	35
Cuadro 14: Radios de influencia de los centros poblados	35
Cuadro 15: Niveles de la capa de área de los centros urbanos	36
Cuadro 16: Nivel de uso actual	36
Cuadro 17: Nivel de rangos de pobreza.....	36
Cuadro 18: Nivel de rangos de IDH	37
Cuadro 19: Operadores lógicos SQL.....	39
Cuadro 20: Parametrización de los requerimientos agroecológicos del ají paprika.....	39
Cuadro 21: Parametrización de los requerimientos agroecológicos del limón	40
Cuadro 22: Parametrización de los requerimientos agroecológicos del mango.....	40
Cuadro 23: Parametrización de los requerimientos agroecológicos del maracuyá	40
Cuadro 24: Parametrización de los requerimientos agroecológicos de la uva	41
Cuadro 25: Condiciones aptas para las zonas agroecológicas económicas para los cultivos	42
Cuadro 26: Calificación de la variable temática pendientes según su nivel.....	47
Cuadro 27: Número de hectáreas de la variable temática suelos	49
Cuadro 28: Calificación de la variable temática temperatura media según su nivel.....	50
Cuadro 29: Calificación de la variable temática precipitación según su nivel.....	51
Cuadro 30: Calificación de la variable temática red vial según su nivel.....	52

Cuadro 31: Calificación de la variable temática centro poblado según su nivel.....	53
Cuadro 32: Calificación de la variable temática centro poblado según su nivel.....	54
Cuadro 33: Calificación de la variable temática pobreza según su nivel	55
Cuadro 34: Calificación de la variable temática IDH según su nivel.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Elementos de un SIG.....	9
Figura 2: Modelos raster y vectorial de un SIG.....	10
Figura 3: Sobreposición de capas	11
Figura 4: Niveles de abstracción de la arquitectura ANSI	16
Figura 5: Unidad Hidrográfica Piura	21
Figura 6: Mapa de elevaciones de la Unidad Hidrográfica Piura.....	23
Figura 7: Esquema metodológico desarrollado	24
Figura 8: Modelo geoespacial para la determinación de la zonificación agroecológica económica.....	38
Figura 9: Modelo geoespacial para la determinación de las zonas agroecológicas económicas aptas para el cultivo del ají paprika	43
Figura 10: Modelo geoespacial para la determinación de las zonas agroecológicas económicas aptas para el cultivo del Limón.....	44
Figura 11: Modelo geoespacial para la determinación de las zonas agroecológicas económicas aptas para el cultivo del mango	44
Figura 12: Modelo geoespacial para la determinación de las zonas agroecológicas económicas aptas para el cultivo del maracuyá.....	45
Figura 13: Modelo geoespacial para la determinación de las zonas agroecológicas económicas aptas para el cultivo de la uva.....	46
Figura 14: Mapa de pendientes.....	48
Figura 15: Mapa de suelos.....	49
Figura 16: Mapa de temperatura media.....	50
Figura 17: Mapa de precipitación.....	52
Figura 18: Mapa de red vial.....	53
Figura 19: Mapa de centros urbanos	54
Figura 20: Mapa de uso actual.....	55
Figura 21: Mapa de pobreza	56
Figura 22: Mapa de IDH.....	57
Figura 23: Mapa de zonificación agroecológica económicas para el cultivo paprika.....	58
Figura 24: Mapa de zonificación agroecológica económicas para el cultivo limón	59
Figura 25: Mapa de zonificación agroecológica económicas para el cultivo mango	60

Figura 26: Mapa de zonificación agroecológica económicas para el cultivo maracuyá 61

Figura 27: Mapa de zonificación agroecológica económicas para el cultivo uva 62

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Nivel de IDH por distritos de la unidad hidrográfica Piura.....	71
Anexo 2: Nivel de % pobreza por distritos de la unidad hidrográfica Piura.....	72

RESUMEN

El objetivo principal de este estudio fue generar un modelo geoespacial para determinar las mejores zonas agroecológicas y económicamente aptas para los principales cultivos de agroexportación en la unidad hidrográfica Piura. Utilizando como base un Sistema de Información Geográfica (SIG), y donde se consideran los requerimientos biofísicos de los cultivos, con el propósito de obtener zonas óptimas agroecológicas y además socioeconómicas para cada cultivo. Para la elaboración de la zonificación agroecológica económica, se siguió una metodología de zonificación agroecológica de la FAO, donde se sobreponen diferentes capas de información espacial, con la finalidad de definir zonas con cierto nivel de aptitud. Los datos empleados fueron recopilados en diferentes fuentes gubernamentales como SENAMHI, Ministerio de agricultura, Gobierno regional de Piura, etc. La combinación y el análisis de estos datos permitieron establecer las zonas más óptimas por cada cultivo bastante cercanas a la realidad. Como parte del proceso se elaboró un Modelo Cartográfico con la herramienta Model Builder de ArcGis, donde simplifica, automatiza y optimiza el trabajo de elaboración de la zonificación agroecológica y económica de cada cultivo en este estudio. Al final, se estableció las zonas óptimas para la producción de los cultivos de ají paprika, limón, mango, maracuyá y uva. Adicional al análisis anterior, se estableció que hay 21284.9 ha para el ají paprika, 9501.9 ha para el limón, 4868.3 ha para el mango, 16577.1 ha para la maracuyá y 7450.9 ha para la uva.

Palabras clave: zonificación agroecológica económica, sistemas de información geográfica, modelamiento geoespacial, unidad hidrográfica.

ABSTRACT

The general objective of this study was to generate a geospatial model to determine the best agroecological and economically suitable zones for the main agro-export crops in the Piura hydrographic unit. Using a Geographic Information System (GIS) as a base, and where the biophysical requirements of the crops are considered, with the purpose of obtaining optimal agroecological and socioeconomic zones for each crop. For the elaboration of the economic agroecological zoning, an FAO agroecological zoning methodology was followed, where different layers of spatial information are superimposed, in order to define zones with a certain level of aptitude. The data used were collected from different government sources such as SENAMHI, the Ministry of Agriculture, the regional government of Piura, etc. The combination and analysis of these data made it possible to establish the most optimal areas for each crop, quite close to reality. As part of the process, a Cartographic Model was developed with the ArcGis Model Builder tool, where it simplifies, automates and optimizes the work of preparing the agroecological and economic zoning of each crop in this study. In the end, the optimal areas for the production of paprika pepper, lemon, mango, passion fruit and grape crops were established. In addition to the previous analysis, it was established that there are 21,284.9 ha for paprika chili, 9,501.9 ha for lemon, 4,868.3 ha for mango, 16,577.1 ha for passion fruit and 7,450.9 ha for grapes.

Keywords: economic agroecological zoning, geographic information systems, geospatial modeling, hydrographic unit.

I. INTRODUCCIÓN

La Zonificación Agroecológica define zonas sobre la base de combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas (FAO 1997). Los parámetros particulares usados en la definición se centran en los requerimientos climáticos y edáficos de los cultivos y en los sistemas de manejo bajo los que estos se desarrollan. La agricultura en general es una actividad estrechamente relacionada con el clima, con las condiciones físico-geográficas, condiciones de suelo y la disponibilidad del agua. De manera más específica, conocer la cantidad de lluvia, la humedad, las temperaturas máximas y mínimas del ambiente, las propiedades físicas y químicas del suelo (pH, CE, profundidad, textura, etc.), la calidad del agua superficial y subterránea (pH, CE, etc.), y otras variables, nos permiten identificar las potencialidades y limitaciones de cada zona. Los componentes del clima, suelo y agua se caracterizan por poseer una variación espacio-temporal, condicionada por distintos factores fisiográficos, la altitud, la latitud, el relieve y la posición geográfica.

En el Perú, como en la mayoría de los países de América Latina, el sector agropecuario juega un papel preponderante en la producción de alimentos, que constituye la principal canasta agroindustrial y de exportación; Generador de empleos, ingresos y divisas; y otros factores sociales y económicos. Sin duda, los avances tecnológicos se han desarrollado para hacer frente a las consecuencias del uso indebido de los recursos, lo que permitió mejorar los sistemas y utilizar diversos métodos de planificación de la producción con la debida optimización y preservación de la riqueza. Una de estas tecnologías modernas es el denominada Zonificación Agroecológica.

La actividad agropecuaria en la unidad hidrográfica Piura, es un recurso valioso que proporciona una diversidad de cultivos de agroexportación como el ají paprika, mangos, limón, maracuyá, uva, etc.

Para el planteamiento de estrategias como el aumento de la productividad de los principales cultivos agrícolas de exportación requiere, en primer lugar, una zonificación agroecológica y económica. Mediante el establecimiento de zonas agroecológicas se identifican regiones con un alto potencial de desarrollo agrícola que, debido a la concentración de los recursos técnicos y financieros disponibles, pueden responder a un fuerte proceso de desarrollo en un período muy corto de tiempo.

Con el nivel de datos disponibles, la zonificación establecida permitirá el manejo racional del patrimonio natural, y con los Sistema de Información Geográfica (SIG) facilitarán el estudio comparativo basado en factores de los datos climáticos, económicos y sociales pertinentes en la unidad hidrográfica.

En base a lo expuesto, el objetivo general del presente trabajo de investigación fue:

- Generar un modelo geoespacial para determinar las mejores zonas agroecológicas y económicamente aptas para los principales cultivos de agroexportación en la unidad hidrográfica Piura.

Para tal fin los objetivos específicos fueron:

- Construir la base de data geoespacial, integrando y analizando la información primaria y secundaria, análoga y digital.
- Identificar las variables que influyen en el desarrollo y crecimiento de los principales cultivos de agroexportación, tomando en cuenta los requerimientos agroecológicos de la unidad hidrográfica Piura.
- Desarrollar un modelo en Molder Builder de ArcGis para la generación automática de las zonas aptas para cada uno de los cultivos investigados, tomando en cuenta las variables climatológicas y edafológicas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

El Perú, por su privilegiada localización geográfica con todos los climas, con la cultura de la actividad agropecuaria, es uno de los países con mayores potenciales para cumplir la función de actividad económica innegable, es empleadora de una fuerte proporción de la fuerza laboral que provee de ingresos a la población y es una de las principales actividades productoras de divisas para el país.

En la unidad hidrográfica Piura no se conoce con exactitud las potencialidades y limitaciones de los suelos. Aquí existen terrenos con disponibilidad agrícola que no se explotan debido a la falta de ordenamiento de sus recursos suelo. Existe una evidencia a la simple observación de la realidad, como el mal uso de tierras agrícolas y los que no son agrícolas; esto se agrava más por la falta de información de suelos y su capacidad de uso para su explotación.

Por otro lado, un estudio realizado por el Gobierno Regional de Tacna en 2012 - Zonificación Económica Ecológica (ZEE) muestra que actualmente muchas áreas utilizadas para el desarrollo agrícola, especialmente agroexportador, no se benefician de las condiciones naturales favorables para estos cultivos, mientras que hay regiones que no son aprovechadas a pesar de su alto potencial. La selección y evaluación del potencial agroecológico de los cultivos en la unidad hidrográfica Piura es importante porque sigue el camino que afecta la estructura y disposición de los campos de cultivos agrícolas de exportación en el área de estudio.

2.2. CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Se conoce como cuenca hidrográfica al área drenada por un río. La cuenca es una unidad natural hidrológica y geofísica, con límites definidos que facilitan la planificación y el aprovechamiento de sus recursos. Los límites de la cuenca dependen de su topografía y están determinados por la línea divisoria de aguas. En la cuenca es posible efectuar un balance del ciclo hidrológico, cuantificando con mayor precisión el agua disponible. Asimismo, las cuencas hidrográficas facilitan la percepción del efecto negativo de las acciones del hombre sobre su entorno, evidenciándolas en la contaminación y en la calidad del agua evacuada por la cuenca, quedando claro, por cierto, que el agua es el recurso integrador y el producto resultante de la cuenca (IPROGA 1996).

Vásquez (2000) define una cuenca hidrográfica como un territorio y área geográfica (suelo, agua, clima, precipitación, aguas subterráneas, etc.) delimitada por la captación de agua de una fuente hídrica. Posee ciertos recursos naturales que brindan oportunidades para la vida humana y animal. Su hilo conductor es ciclo hidrológico y la cultura de las personas que viven en ella y la relacionan con la naturaleza. Este hilo está constantemente generándose, regenerándose o degenerándose por la intervención del hombre y su sociedad, que forma un todo inseparable con la naturaleza, y por tanto está relacionado con determinadas dinámicas que contribuyen a su mantenimiento o destrucción.

2.3. ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA

Según la FAO (1997), la zonificación agroecológica establece o determina las zonas formadas como resultado de la presencia de diferentes composiciones de suelo, fisiografías y condiciones climáticas. Dependiendo de dónde se desarrollen estas áreas, se establecen parámetros que están moldeados por los requisitos climáticos, edáficos y los sistemas de manejo actuales.

Sevillano (2010), establece que la productividad agrícola mediante un amplio conocimiento de los recursos naturales disponibles y el uso de técnicas modernas, como las zonas agroecológicas, logra una productividad adecuada para satisfacer las necesidades básicas sin sobreexplotar a la naturaleza.

Cifuentes (2006) indica que con los modelos de zonificación se llegan a obtener áreas de protección y amortiguamiento para uso público o cualquier uso espacial que exija remisión. Además, determina que los planes de manejo de las zonas suelen ser inmanejables cuando se presenta el uso de muchas zonas.

2.4. ZONAS AGROECOLÓGICAS

Se considera a la partición de la superficie de tierra en partes más pequeñas, que comparten características similares en relación a la aptitud de la tierra, producción potencial e impacto ambiental. Una zona agroecológica es una unidad cartográfica de los recursos de la tierra definida por el clima, la fisiología y el suelo y/o la cubierta terrestre con una clase particular de restricciones y oportunidades de uso de la tierra (FAO 1997).

Las zonas agroecológicas son los espacios homogéneos donde se interactúan variables agrofísicas que se involucran en la sostenibilidad y el desarrollo de procesos de preservación y producción agropecuaria de un sector (Siachoque 2002)

2.5. FACTORES DETERMINANTES EN ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA

El crecimiento y desarrollo óptimo de los cultivos depende de muchos componentes, pero si los cultivos no recibieran las cantidades suficientes de estos elementos se verían afectados y entonces su crecimiento puede ser limitado, entre ellos están principalmente los siguientes factores:

2.5.1. Factores edafológicos

Tal como lo define el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA 1998), el suelo es un cuerpo natural que consiste en una fase sólida (minerales y materia orgánica), una fase líquida y una fase gaseosa que ocupa la superficie de la tierra, formada en horizontes o capas de material distinto de la roca madre como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de materia y energía capaces de sustentar las raíces de las plantas en un entorno natural. El límite superior del suelo es la atmósfera, aguas superficiales poco profundas (es decir, capaces de sustentar el crecimiento de raíces), plantas vivas o material orgánico que aún no ha comenzado a descomponerse.

Son factores edáficos del suelo: la textura del material (arena, grava, arcilla, limo) su estructura, porosidad, cantidad de materia orgánica, y nivel freático.

2.5.2. Factores climáticos

Por clima entendemos un fenómeno natural que ocurre a nivel atmosférico y se caracteriza por la interacción de muchos elementos como temperatura, humedad, presión, precipitación, viento, etc. El clima es un fenómeno geográfico que existe en todo el planeta, pero varía según las condiciones de cada lugar y que varía de un lugar a otro. Debido al gran impacto de las actividades humanas no solo en la naturaleza sino también en la atmósfera, el clima ha cambiado profundamente durante los últimos siglos, dando lugar a lo que ahora se conoce como cambio climático, provocando cambios en todo el planeta (Fernández 1995)

2.5.3. Fisiografía

La fisiografía es el estudio de la relación entre el clima, la geología, la morfología, el origen y la edad de los materiales rocosos, la hidrología y los aspectos bióticos indirectos que afectan la formación de suelos y/o su compatibilidad (IIAP 1998)

2.6. ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA ECONÓMICA

La Zonificación Agroecológica Económica ofrece un uso sostenible de la tierra como resultado de su evaluación y teniendo en cuenta los principales elementos ecológicos y socioeconómicos según su idoneidad. El proceso identifica áreas homogéneas en base a aspectos físicos, biológicos, sociales, económicos y culturales con mayor producción agropecuaria, forestal, turística y cultural para proyectos de desarrollo. Obteniendo áreas de conservación de la biodiversidad y áreas con problemas ambientales para manejarlas de manera especial (Guerrero 2012)

La comparación sistemática entre las condiciones edafológicas, climáticas, requerimientos agroecológicos de los cultivos, y aspectos socioeconómicos de un sector determinado, forman la zonificación agroecológica económica. (Santiago 2013).

2.7. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Un SIG es un sistema computarizado que permite la entrada, almacenamiento, representación, análisis de datos, así como la salida eficiente de información espacial (mapas) y atributos (tabulares) (Burrough 1986; Valenzuela 1989).

Se concibe como un modelo informatizado del mundo real, descrito en un sistema de referencia ligada a la Tierra, establecido para satisfacer unas necesidades de información específicas respondiendo a un conjunto de preguntas concreta (Rodríguez 1993).

El principal beneficio de un sistema de información geográfica es la capacidad de crear modelos o representaciones del mundo real a partir de bases de datos digitales y utilizarlos para simular el impacto que un proceso natural o acción antrópica tiene sobre el medio ambiente en un momento dado (IGAC 1995).

Sin duda, la tecnología SIG permite almacenar y procesar información utilizando la geografía, ayudando a tomar mejores decisiones para resolver necesidades técnicas generales

y al mismo tiempo espaciales o territoriales (Zamora 2009).

2.7.1. Elementos de un SIG

Un SIG consta de cinco componentes o elementos, y cada uno de estos componentes cumple una función por lo que existe interacción entre ellos. Estos componentes se describen a continuación:

- a. **Hardware:** Es el equipo de cómputo sobre el que corre el SIG. Actualmente, el software de estos sistemas está adaptado a diferentes tipos de hardware, desde arquitectura cliente-servidor hasta equipos de escritorio independientes. Para cuestiones espaciales, el hardware es útil para operaciones de procesamiento que resuelven relaciones entre geometrías basadas en algoritmos.
- b. **Software:** Proporciona las herramientas y funciones necesarias para almacenar, analizar y visualizar información geográfica, para lo cual se requieren los elementos básicos de un software, a saber:
 - Herramientas para la entrada y manipulación de información geográfica.
 - Un sistema de administración de base de datos (DBMS Data Base Management System).
 - Herramientas que soportan consultas, análisis y visualización de elementos geográficos.
 - Una interfaz gráfica de usuario (GUI Graphical User Interface) de manera que facilite el acceso a las herramientas anteriormente mencionadas.
- c. **Dato:** se refiere al elemento principal para obtener la información correcta. Es decir, cuando queda claro que el objeto del modelo real constituye sus propiedades, por ejemplo, se determinan sus atributos, que se relacionan con los elementos descriptivos y el tipo geométrico como elemento espacial. En cuestiones espaciales, es necesario conocer la naturaleza de la geometría entre objetos reales que están conectados topológicamente.
- d. **Usuario:** son las personas que se encargan de administrar el sistema, así como de desarrollar un proyecto basado en el mundo real, entre los que se involucran analistas, desarrolladores, administradores, programadores, y usuarios. Por ejemplo, en cuestiones espaciales, estas personas se refieren a quienes proporcionan información de origen, gestionan la información, implementan algoritmos útiles para resolver

consultas espaciales y los usuarios finales que se benefician del programa o proyecto desarrollado.

- e. Procedimiento: son los planes de un buen diseño y las normas por parte de la empresa, las cuales son modelos y prácticas de operación de cada organización (ESRI 2002).

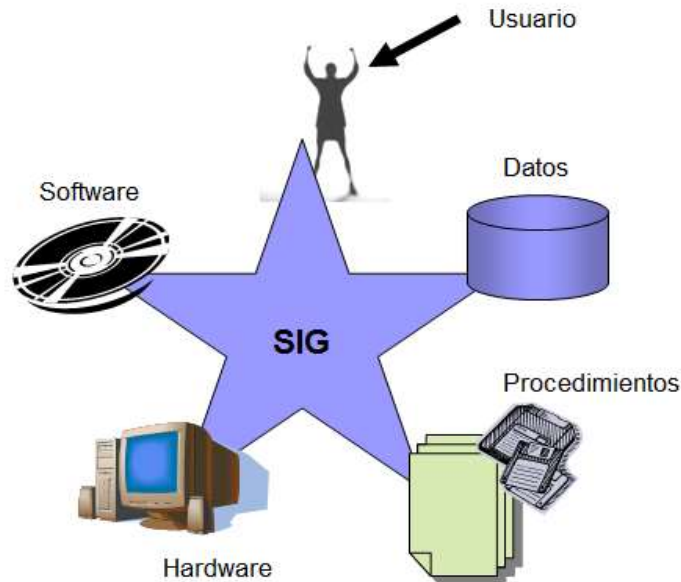


Figura 1: Elementos de un SIG

Fuente: ESRI (2012)

2.7.2. Funciones de los SIG

Rodgers (1993), menciona algunas de las operaciones de un SIG conforme la entrada y salida de datos:

a. Ingreso de datos

El ingreso de datos se refiere a la transformación de datos espaciales de mapas, sensores remotos y otras fuentes en formato digital. Un SIG requiere dos tipos de entrada de datos: referencias geográficas y atributos. Las referencias geográficas son las coordenadas (latitud y longitud) que establecen la ubicación de la información que ingresas. Los datos de atributo asignan un código numérico a cada conjunto de coordenadas y cada variable para representar valores actuales (precipitación) o datos categóricos (uso de suelo, tipo de vegetación, etc.).

b. Almacenamiento de datos

El almacenamiento de datos se refiere a cómo se estructuran y organizan los datos espaciales dentro de un SIG en función de la ubicación, las relaciones y el diseño de los atributos. La estructura de las bases de datos espaciales se puede representar de dos formas: modelos vectoriales y modelos ráster (Bernhardsen 1999)

El modelo ráster funciona a través de una retícula que permite asociar datos a una imagen. Es decir, se pueden asignar paquetes de información a los píxeles de una imagen digitalizada (Bernhardsen 1999).

El modelo vectorial almacena tres objetos cartográficos básicos: puntos, líneas y polígonos, los mismos que se almacena como una colección de coordenadas x,y.

La ubicación de una característica puntual (casas, núcleos de población), pueden describirse con un solo punto x,y. Las características lineales (vías, curvas de nivel, ríos), pueden almacenarse como un conjunto de puntos de coordenadas x,y. Las características poligonales (límites administrativos, parcelas), pueden almacenarse como un circuito cerrado de coordenadas (Fallas 2010).

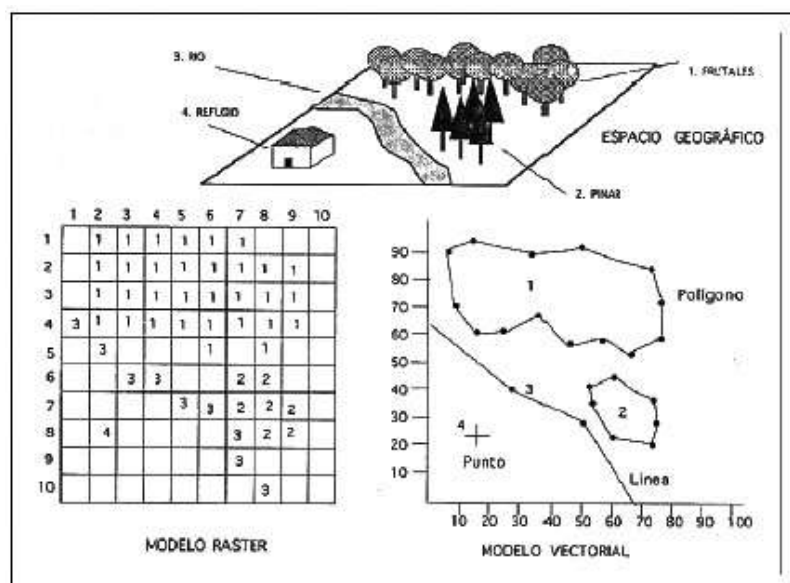


Figura 2: Modelos ráster y vectorial de un SIG

Fuente: UMSS (2007)

c. Manipulación y procedimiento de datos

La manipulación y procesamiento de datos se realiza para obtener información útil a partir de datos ingresados previamente al sistema. La manipulación de datos incluye dos tipos de operaciones: (1) Una operación que elimina errores y actualiza el registro de datos actuales (editar). (2) Uso de operaciones analíticas para proporcionar respuestas a preguntas específicas generadas por los usuarios; Los procesos de manipulación van desde la simple superposición de dos o más mapas hasta la extracción compleja de información dispar de varias fuentes.

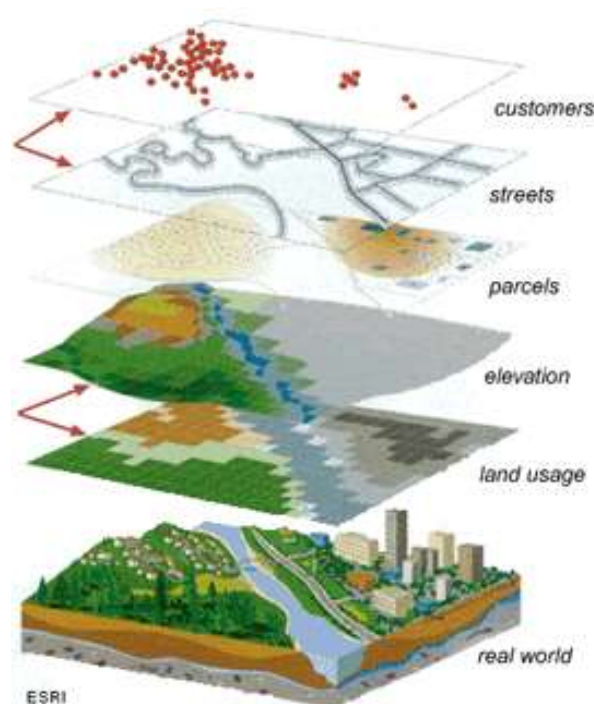


Figura 3: Sobreposición de capas

Fuente: ESRI (2012)

d. Aplicaciones de los SIG

Los SIG se pueden utilizar en una variedad de aplicaciones agrícolas, ganaderas y agroindustriales, como el manejo de cultivos, la zonificación económico-ecológica, el pronóstico de pérdida de suelo y el manejo de sistemas de riego (Escobar 1997).

Las técnicas de SIG pueden realizar el manejo de cuencas. Su enfoque fundamental debe ser reducir la vulnerabilidad relacionada principalmente con eventos

hidroclimáticos (inundaciones, deslizamientos, avalanchas, sequías, etc.) (Jiménez 2013).

2.8. MODELOS GEOESPACIALES

Un modelo geoespacial se basa en el uso de las capacidades analíticas de los sistemas de información geográfica en una secuencia lógica para que se puedan resolver problemas espaciales complejos. Estos modelos son representaciones detalladas de la manipulación de datos utilizando las capacidades del software GIS para generar nueva información que se almacena de forma permanente como nuevas entidades en la computadora o virtualmente para análisis específicos (IGAC 1995).

Barredo (1996) afirma que la versatilidad de las computadoras ha permitido definir modelos según esquemas simples e iterativos, reduciendo tiempos y costos de inversión. En este sentido, con los SIG, en la medida que son capaces de gestionar gran cantidad y variedad de datos, se mejoran sustancialmente los modelos tales como:

Modelos descriptivos al uso; esto es, aquellos cuya finalidad no es otra que la de describir la situación, hecho o proceso sometido a estudio. La tecnología IG facilita la integración de la información representado los fenómenos de un modo más cercano a la realidad, lo que nos lleva, en última instancia, a una mayor comprensión del tema objeto de estudio.

Los Modelos predictivos se basan en la aplicación de funciones de geo-estadística inferencial para simular aspectos físicos, una vez conocido el comportamiento de las variables que participan en el hecho, fenómeno o situación.

Modelos prescriptivos; esto es, aquellos ligados a los modelos de localización de centros y ubicación de recursos y a los modelos de a locate-locate en los que participan criterios y objetivos en conflicto. A éstos últimos, se les conoce como modelos de impacto y acogida. Estos modelos aplican una evaluación multicriterio basada fundamentalmente en la integración (superposición) cartográfica en relación con criterios de ponderación.

2.9. BASE DE DATOS (BD)

Date (2001) define la base de datos como un sistema computarizado cuya finalidad general es almacenar información y permitir a los usuarios recuperar y actualizar esa información con base en peticiones. La información en cuestión puede ser cualquier cosa que sea de importancia para el individuo u organización; en otras palabras, todo lo que sea necesario para auxiliarle en el proceso general de su administración.

Sin embargo; según Elmasri y Navathe (2007) considera que una base de datos tiene las siguientes propiedades implícitas:

Una base de datos representa algún aspecto del mundo real, lo que en ocasiones se denomina minimundo o universo de discurso (UoD, Universe o 1 discollrse). Los cambios introducidos en el minimundo se reflejan en la base de datos.

Una base de datos es una colección de datos lógicamente coherente con algún tipo de significado inherente. No es correcto denominar base de datos a un surtido aleatorio de datos. Una base de datos se diseña, construye y rellena con datos para un propósito específico. Dispone de un grupo pretendido de usuarios y algunas aplicaciones preconcebidas en las que esos usuarios están interesados.

En otras palabras, una base de datos tiene algún origen del que se derivan los datos, algún grado de interacción con eventos del mundo real y un público que está activamente interesado en su contenido. De aquí la importancia de la creación de una base de datos geográfica en formato abierto para poder ser accesible a personas que pueden continuar con la transformación y mejoramiento de la misma. Se define una base de datos (BDG) o también denominado Geodatabase como una colección de datos organizados de tal manera que sirvan efectivamente para una o varias aplicaciones SIG. Esta base de datos comprende la asociación entre sus dos principales componentes: datos espaciales y datos atributos (ESRI 2012).

2.9.1. Ventajas y desventajas de las bases de datos

El manejo de base de datos ha evolucionado la forma de administrar información otorgando al usuario una serie de ventajas. Como lo argumenta Rodríguez (2007), las BD permiten: Independencia de los datos respecto a los tratamientos y viceversa: un cambio en los tratamientos no implica un nuevo diseño lógico y/o físico de la base de datos. Por otro lado, cambios en la incorporación, desaparición de datos, cambios en la estructura física o caminos de acceso no deben obligar a alterar los programas. Así se evita la reprogramación de las aplicaciones.

Coherencia de los resultados: debido a que la información de la base de datos se almacena en forma unificada y coordinada, en todos los tratamientos se utilizan los mismos datos, por lo que los resultados de estos son coherentes y comparables. Así, se reducen las divergencias en los resultados.

Mejor disponibilidad de los datos para el conjunto de los usuarios: en una base de datos ningún usuario es propietario de los datos, pues estos se comparten entre las aplicaciones, existiendo una mayor disponibilidad y transparencia.

Mayor eficiencia en la captura, validación e ingreso de datos al sistema: al no existir redundancias, los datos se capturan y validan una sola vez aumentando el rendimiento del proceso previo al almacenamiento.

Reducción del espacio de almacenamiento: por un lado, la disminución de redundancias y las técnicas de compactación hacen que disminuya el espacio en disco. Mejor y más normalizada documentación: la mayoría de los SGBD proporcionan herramientas para reflejar el contenido semántico de los datos, es decir, incluyen una descripción de los datos dentro del sistema (metadata).

Mayor valor informativo: esto se refiere al concepto de sinergia, en donde el valor informativo del conjunto de datos es superior a la suma del valor informativo de los elementos individuales.

Como toda tecnología, presenta también desventajas que cada usuario le corresponde evaluar a fin de optimizar su trabajo. Sánchez (2004) rescata la necesidad de contar con personal calificado en el manejo de BD, lo que significa a su vez una implementación dificultosa si no se cuenta con un grupo de profesionales capacitados y/o equipamiento adecuado. Respecto a los BDG, el principal inconveniente se presenta en el mantenimiento de los datos espaciales y otros componentes geográficos (Morales 2001).

2.10. SISTEMA GESTOR DE BASE DE DATOS (SGBD)

Sánchez (2004) define al sistema gestor de bases de datos o SGBD (Data Base Management System) como el software que permite a los usuarios procesar, describir, administrar y recuperar los datos almacenados en una base de datos. Coincidiendo con Date (2001)

2.10.1. Arquitectura de los SGBD

La arquitectura planteada por ANSI-SPARC (American National Standard Institute – Standard Planning and Requirements Committee) ocupa un lugar importante en el desarrollo de tecnologías de bases de datos porque separa el nivel externo de los usuarios, el nivel conceptual del sistema y el nivel de almacenamiento interno para diseñar una base de datos. El cual es explicado por Elmasri y Navathe (2007):

a. El nivel interno o físico

Mediante un esquema interno, que describe la estructura de almacenamiento físico de la base de datos. El esquema interno utiliza un modelo de datos físico y describe todos los detalles del almacenamiento de datos y las rutas de acceso a la base de datos.

b. El nivel conceptual

Tiene un esquema conceptual, que describe la estructura de toda la base de datos para una comunidad de usuarios. El esquema conceptual oculta los detalles de las estructuras de almacenamiento físico y se concentra en describir las entidades, los tipos de datos, las relaciones, las operaciones de los usuarios y las restricciones.

Normalmente, el esquema conceptual se describe con un modelo de datos representativo cuando se implementa un sistema de bases de datos. Este esquema conceptual de implementación se basa a menudo en un diseño de esquema conceptual en un modelo de datos de alto nivel.

c. El nivel de vista o externo

Incluye una cierta cantidad de esquemas externos o vistas de usuario. Un esquema externo describe la parte de la base de datos en la que un grupo de usuarios en particular está interesado y le oculta el resto de la base de datos. Como en el caso anterior, cada esquema externo se implementa normalmente mediante un modelo de datos representativo, posiblemente basado en un diseño de esquema externo de un modelo de datos de alto nivel.

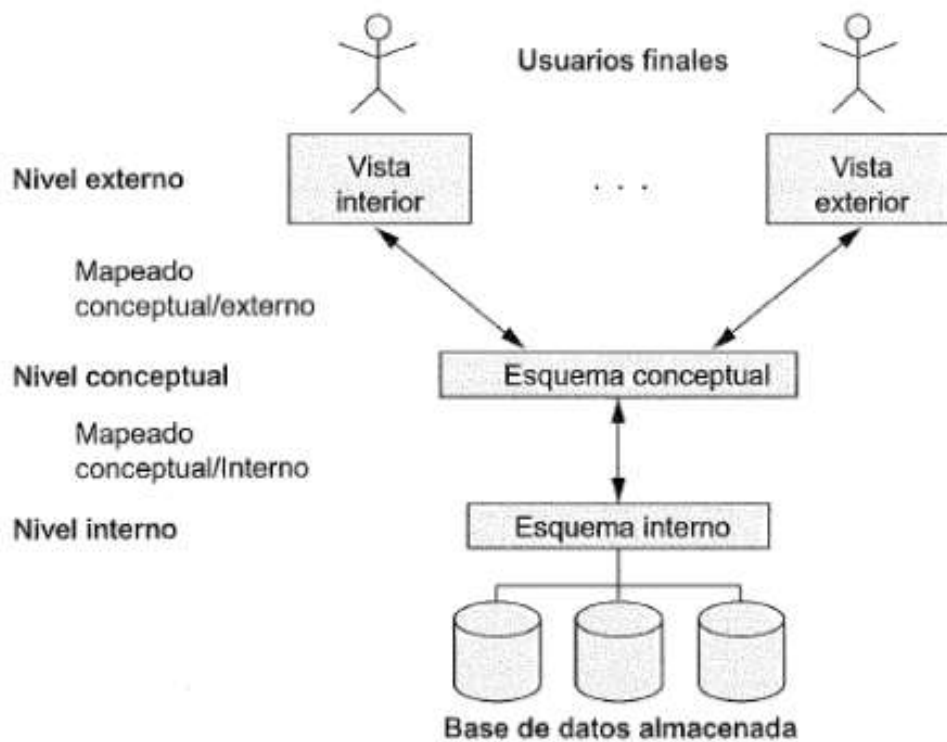


Figura 4: Niveles de abstracción de la arquitectura ANSI

Fuente: Elmasri y Navathe (2007)

2.10.2. Diseño de una base de datos

Un diseño de una base de datos consiste en definir la estructura de los datos que debe tener la base de datos de un sistema de información determinado. En el caso relacional, esta estructura será un conjunto de esquemas de relación con sus atributos, dominios de atributos, claves primarias, claves foráneas, etc. (Costa 2007).

Portugues (2011) menciona que el diseño de una base de datos es un proceso complejo que involucra decisiones en múltiples niveles. La complejidad se controla mejor cuando los problemas se dividen en subproblemas y cada uno se resuelve de forma independiente utilizando técnicas específicas. Por lo tanto, el diseño de bases de datos se divide en diseño conceptual, diseño lógico y diseño físico.

a. Etapa del diseño conceptual

En esta etapa se obtiene una estructura de la información de la futura BD independiente de la tecnología que hay que emplear. No se tiene en cuenta todavía qué tipo de base de datos se utilizará; en consecuencia, tampoco se tiene en cuenta con qué SGBD ni con qué lenguaje concreto se implementará la base de datos. Así pues, la etapa del diseño conceptual permite concentrar únicamente en la problemática de la estructuración de la información, sin tener que preocuparnos al mismo tiempo de resolver cuestiones tecnológicas. El resultado de la etapa del diseño conceptual se expresa mediante algún modelo de datos de alto nivel. Uno de los más empleados es el modelo entidad-interrelación (E/R) (Costa 2007).

b. Etapa de diseño lógico

En esta etapa se parte del resultado del diseño conceptual, que se transforma de forma que se adapte a la tecnología que se debe emplear. Más concretamente, es preciso que se ajuste al modelo del SGBD con el que se desea implementar la base de datos. Esta etapa parte del hecho de que ya se ha resuelto la problemática de la estructuración de la información en un ámbito conceptual, y permite concentrarnos en las cuestiones tecnológicas relacionadas con el modelo de base de datos (Costa 2007).

Portugues (2011) menciona al esquema lógico es una fuente de información para el diseño físico. Además, juega un papel importante durante la etapa de mantenimiento del sistema, ya que permite que los futuros cambios que se realicen sobre los programas de aplicación o sobre los datos se representen correctamente en la base de datos.

a. Etapa de diseño físico

En esta etapa se transforma la estructura obtenida en la etapa del diseño lógico, con el objetivo de conseguir una mayor eficiencia; además, se completa con aspectos de implementación física que dependerán del SGBD. En la etapa del diseño físico, se deben tener en cuenta las características de los procesos que consultan y actualizan la base de datos (Costa 2007).

2.10.3. Modelo Entidad – Relación E/R

Costa (2007) cita los modelos ER como uno de los enfoques de modelado de datos más utilizados en la actualidad debido a su simplicidad y legibilidad. Proporciona una notación esquemática muy completa, mejorando así la legibilidad. Es una herramienta útil que ayuda a los diseñadores a reflejar los requisitos reales que les interesan en un modelo conceptual, comunicar el modelo conceptual resultante al usuario final y verificar si cumplen con sus requisitos de esta manera.

El modelo E/R se basa en una percepción del mundo real, la cual está formada por objetos básicos llamados entidades y las relaciones entre estos objetos, así como las características básicas de estos objetos llamado atributos (Portugues 2011).

a. Tipos de relaciones

El Departamento de Informática de la Universidad de Fasta (2012) resume este ítem de la siguiente manera:

Uno a uno: En una relación de uno a uno, cada registro de la Tabla A sólo puede tener un registro coincidente en la Tabla B, y viceversa. Este tipo de relación no es normal, porque la mayoría de la información que se relaciona de esta forma podría

estar en una tabla.

Uno a varios: Es el tipo de relación más común. En este tipo de relación, un registro de la Tabla A puede tener muchos registros coincidentes en la Tabla B, pero un registro de la Tabla B sólo tiene un registro coincidente en la Tabla A.

Varios a varios: En una relación varios a varios, un registro de la Tabla A puede tener muchos registros coincidentes en la Tabla B, y viceversa. Este tipo de relación sólo es posible si se define una tercera tabla (denominada tabla de unión) cuya clave principal consta de dos campos: las claves externas de las Tablas A y B. Una relación de varios a varios no es sino dos relaciones de uno a varios con una tercera tabla.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES Y EQUIPOS

- Cartografía base: Mapa de ubicación del área de estudio, escala 1/10000
- Mapas temáticos obtenidos del geo servidor IGN, escala 1/10000
- Información descriptiva y cartográfica de los proyectos: Plan de gestión de la oferta de agua en las cuencas del ámbito del proyecto Chira – Piura (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento), Servicio de consultoría para ejecutar el estudio de capacidad de uso mayor de la tierra en el departamento de Piura. (Gobierno Regional Piura)
- Base de datos PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations)
- Equipo de computación CORE i5
- Microsoft Word y Excel 2016
- Arc GIS 10.3

3.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.2.1. Ubicación

La unidad hidrográfica del río Piura tiene un área de drenaje de 12 216 km² hasta la desembocadura al mar por el Estuario de Virrilá. Se ubica entre las coordenadas 04°42' y 05°45' de Latitud Sur y 79°29' y 81° de Longitud Oeste. El río nace a 3 600 m.s.n.m., en la divisoria de la cuenca del río Huancabamba, donde inicia su recorrido cruzando las provincias de Morropón y Piura. Su cauce de 280 km, tiene una dirección de Sur a Norte, con curvatura desde la Quebrada San Francisco hasta la Caída de Curumuy, luego en dirección Sur- Oeste hasta llegar a su desembocadura al Océano Pacífico a través del Estuario de Virrilá.

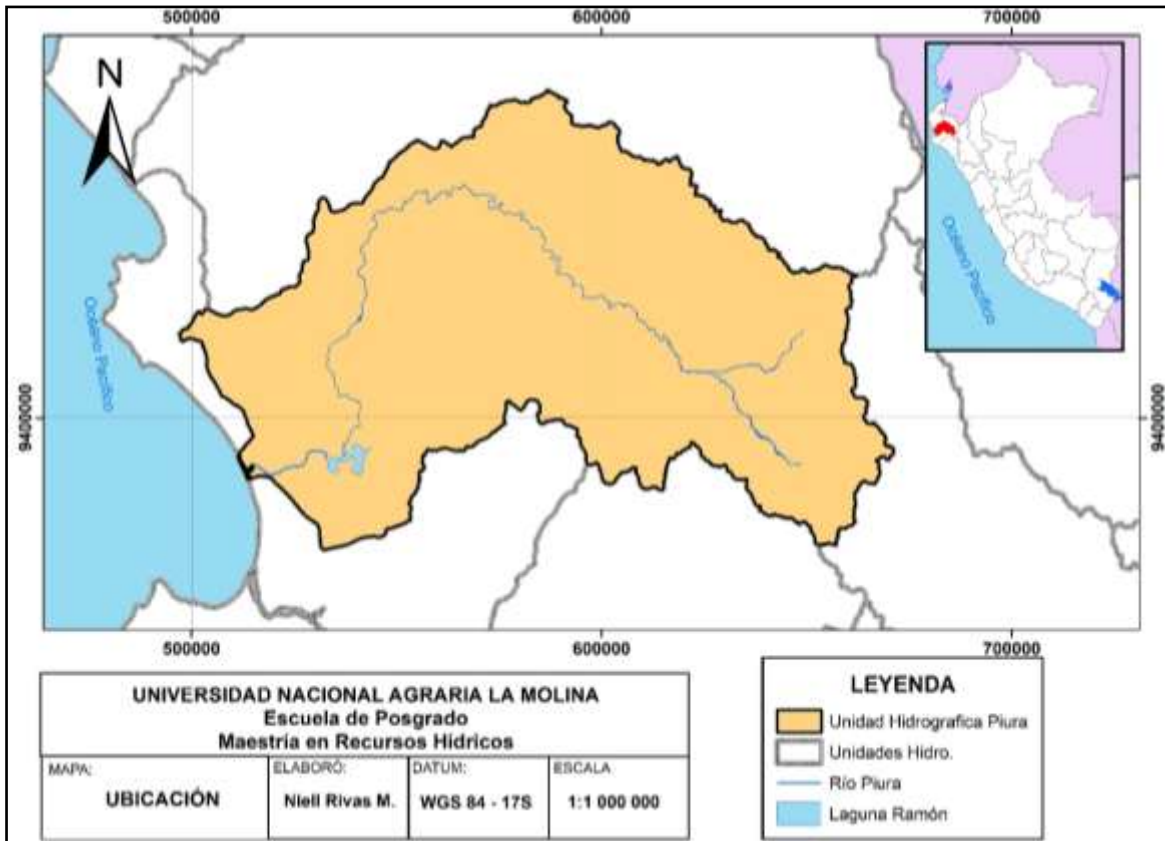


Figura 5: Unidad Hidrográfica Piura

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2. Principales características del área de estudios

a. Clima

Para desarrollar el estudio fueron requeridas extensas series temporales de lluvia, temperatura máxima y temperatura mínima con resolución mensual; por ello se empleó la información de la base de datos grillada de lluvia PISCOp V2.1 (Peruvian Interpolated data of SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations), desarrollada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) para el periodo 1981-2016 (con actualizaciones en curso), a una resolución espacial de 0.1° (puede ser descargada desde <https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/.Prec/.v2p1/.s> table/).

Cuadro 1: Datos meteorológicos obtenidos

Estación meteorológica	Coordenadas UTM (WGS 84-17S)			Precipitación total anual (mm)	Temperatura (°C)	
	Este	Norte	Altitud (msnm)		Máxima	Mínima
Barrios	645196.64	9417940.66	736	538.6	30.8	20.0
Bernal	529469.75	9380700.10	11	61.16	28.5	18.2
Canchaque	656136.39	9408626.99	1808	592.2	27.9	17.3
Chalaco	630780.51	9445658.48	2379	1048.09	21.9	7.7
Chignia	645329.75	9383028.49	540	564.05	29.9	19.9
Chulucanas	593623.44	9438710.56	89	447.56	31.7	19.3
Chusis	520425.99	9393630.79	8	82.88	28.6	18.1
Corral del medio	625073.49	9429192.45	670	698.25	29.9	17.5
Cruceta	582606.50	9464522.96	150	366.12	31.2	19.5
El tablazo	560508.47	9462901.70	124	317.51	30.9	19.5
Hacienda Bigote	635930.00	9412537.88	200	537.01	31.9	20.5
Hacienda Pabur	608467.00	9425708.40	100	540.65	31.9	19.5
Hacienda Yapatera	597603.50	9442347.03	139	509.07	32.1	20.0
Hualtaco	577103.62	9466404.95	178	388.49	31.2	19.3
Huapalas	593887.82	9438708.10	100	447.56	31.7	19.3
Huarmaca	665632.84	9386456.67	2606	670.04	21.7	13.7
Laguna Ramón	546158.36	9395186.55	50	152.11	29.4	18.0
Malacasi	624906.83	9414506.03	272	583.92	31.5	18.3
Malingas	584347.19	9455323.17	100	395.06	31.1	19.5
Miraflores	544154.10	9431889.52	34	198.27	31.1	19.3
Montenegro	534753.22	9411808.09	25	142.02	29.9	18.3
Morropon	614028.81	9429315.32	290	647.3	31.2	18.7
Paltashaco	627000.18	9436520.74	1491	868.46	28.9	16.5
Pasapampa	656461.17	9436187.98	2772	782.14	22.3	8.9
Pirgas	654447.42	9375571.44	1279	694.56	27.3	18.5
Piura	544117.19	9428215.13	39	198.27	31.1	19.3
San Isidro	582696.97	9473693.17	201	441.95	31.3	19.2
San Joaquin	573605.02	9435254.17	220	287.67	30.4	18.6
San Miguel	536724.61	9424625.95	24	183.46	30.8	18.8
San Pedro	608626.98	9440390.15	695	682.37	30.8	18.0
Santo Domingo	625255.97	9445718.80	2099	951.06	23.2	9.2
Tambo Grande	576994.16	9455397.41	60	390.3	31.1	19.6
Tejedores	586410.57	9477323.24	261	419.11	30.9	18.9
Virrey	614142.62	9390756.44	282	375.82	30.8	19.1

Fuente: PISCO – SENAMHI

b. Relieve

La unidad hidrográfica del río Piura es de forma irregular en sus nacientes y elongada en el sentido SE-NO hasta la altura de la quebrada San Francisco; cuya desembocadura se ensancha tanto por el delta de Chullachy como en la Laguna Ramón. El territorio de la cuenca va desde el nivel del mar, en la porción del Océano Pacífico, hasta 3648 m.s.n.m. en las alturas de los Andes del Norte, que dividen la cuenca del río Piura de la cuenca del río Huancabamba. Su relieve es irregular; en la desembocadura de la cuenca tiene una pendiente suave y uniforme de 0 a 50 m.s.n.m. y en el otro extremo, el nacimiento de las aguas entre mesetas y cimas agudas - Cachiris y Huamingas en Frías, Hualcas en Santo Domingo, Canchamanchay y cerro el Buitre en Canchaque - que alcanzan los 3,600 m.s.n.m. En la zona media tiene una amplia zona ondulada y semi desértica ubicada entre los 50-350 m.s.n.m.

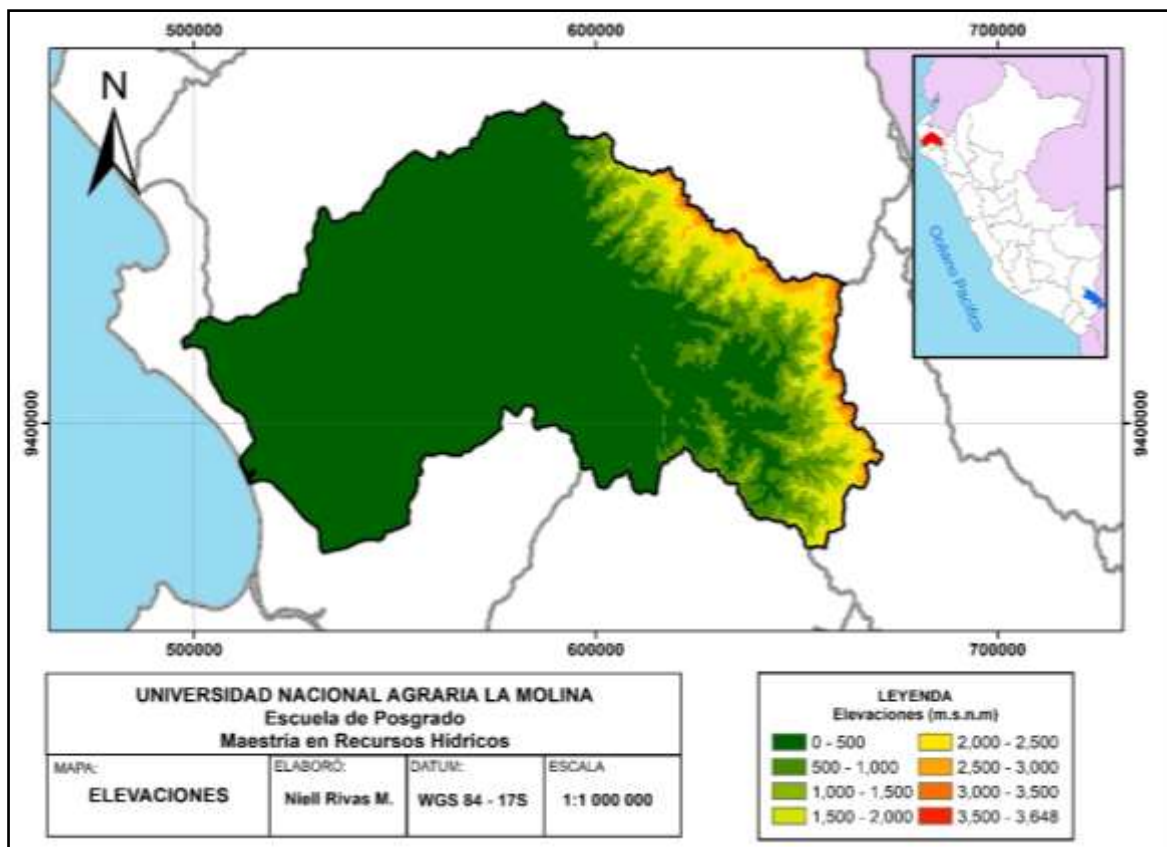


Figura 6: Mapa de elevaciones de la Unidad Hidrográfica Piura

Fuente: Elaboración propia

3.3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para dar cumplimiento a los objetivos propuestos, consistió en el desarrollo de tres etapas secuenciales: trabajo de pre-campo, trabajo de campo y trabajo de gabinete, como se muestra en la Figura 7.

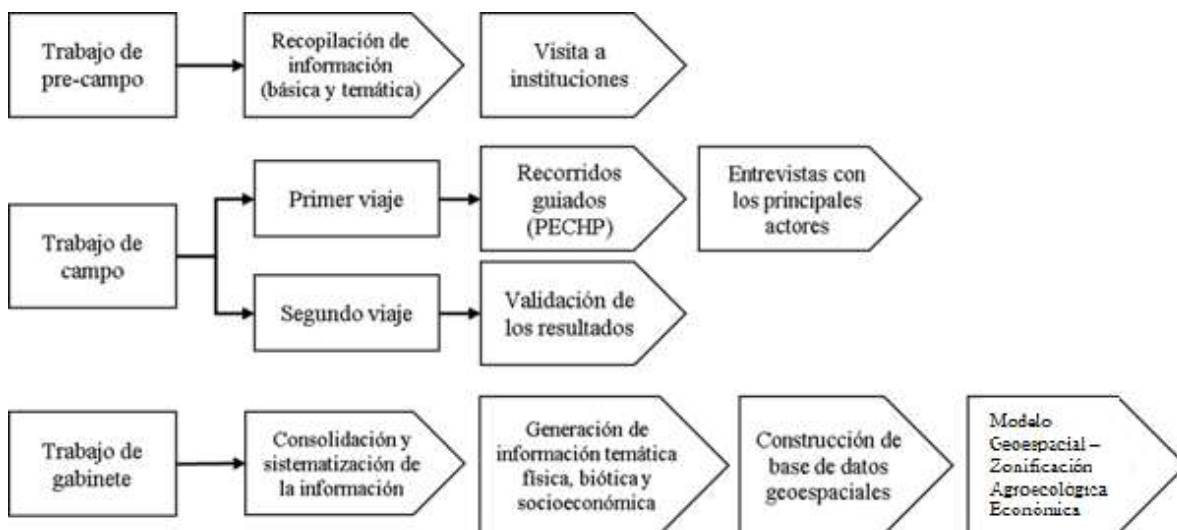


Figura 7: Esquema metodológico desarrollado

Fuente: Elaboración propia

3.3.1. Fase pre-campo

Consistió en la recopilación de información de estudios, tanto básica y temática, que involucren la zona de estudio, a fin de conocer sus características físicas, bióticas y socioeconómicas. Se obtuvo información descriptiva, cartográfica y analítica de la unidad hidrográfica a través de los geoservidores del Instituto Geográfico Nacional (IGN), Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Autoridad Nacional del Agua (ANA), Ministerio del Ambiente (MINAM), Gobierno Regional de Piura, entre otros.

Así mismo se recopilará información del estudio “PLAN DE GESTIÓN DE LA OFERTA DE AGUA EN LAS CUENCAS DEL ÁMBITO DEL PROYECTO CHIRA – PIURA” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento 2002).

3.3.2. Trabajo de campo

En coordinación con la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y el Proyecto Especial Chira – Piura se realizaron recorridos guiados de toda la unidad hidrográfica Piura, se hizo un reconocimiento de las características físicas y se realizó entrevistas con los principales actores de la unidad hidrográfica Piura para complementar y actualizar la información características sociales y económicas, características de uso del suelo, vías de comunicación de los centros poblados, entre otros.

3.3.3. Trabajo de gabinete

a. Consolidación y generación de la información temática

Una vez recolectada la información de carácter espacial y no espacial de distintas instituciones para el desarrollo del estudio, se procedió a consolidar, uniformizar y sistematizar en función de los requerimientos del proceso de modelamiento geoespacial de caracterización agroecológica-económica en la unidad hidrográfica. Así mismo, se uniformizó el sistema de referencia espacial para todo el proceso al Datum WGS 1984, proyección UTM en la Zona 17 tomando como escala de trabajo 1:100000.

El mapa base se generó en base a la información del Autoridad Nacional del Agua y del Proyecto Especial Chira-Piura.

Los mapas de suelos y capacidad de uso mayor se generaron en base a la información proporcionada por la Zonificación Ecológica – Económica del Gobierno Regional de Piura.

El mapa de pendientes se generó en base a la información de las curvas de nivel descargada del servidor web del Ministerio de Educación, este se abre con el software ArcGIS10 y con la ayuda de la herramienta 3D analysis se procede a realizar la pendiente, se hace el contorno del Feature para tener polilíneas de las curvas de nivel y se coloca como dato las cotas de esta. Después se procede a crear el TIN con 3D

Analysis > create TIN from features, luego es necesario el MED, se convierte el TIN a raster en 3D Analysis > convert TIN to Raster en este caso en el Attribute se coloca Slope (pendiente en inglés) en porcentaje, para obtener un raster al cual es necesario reclasificar con 3D Analysis > Reclassify el dato de entrada es el raster luego se coloca la cantidad de partes con la que se quiere reclasificar, en este caso se colocó 6 para que dividiera en 6 diferentes rangos de pendientes, por último, una vez obtenida los rangos de pendiente se convierte este raster a polígono en ArcToolbox > raster to polygon. Al tener el mapa de pendientes en polígono se la uniformiza con la misma escala y datum.

El mapa de precipitaciones y de temperatura media se generó en base a la información hidrológica de las 34 estaciones meteorológicas de la unidad hidrográfica Piura teniendo en cuenta que para crear las isolíneas de precipitación es necesario contar con una capa de puntos de las estaciones meteorológicas georreferenciadas y con su respectiva proyección definida. La interpolación de la precipitación se realizará con la extensión de Geostatistical Analyst, se elegirá un método de interpolación que en este caso será Kriging (es un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores z). Según metodología del ANA (2009) se ajustará el modelo al Semivariograma Empírico, se vio conveniente el método Gaussian. El cual consiste en transformar un sistema de ecuaciones en otro equivalente de forma que este escalonado. Con los datos de precipitación en Z, se obtiene como dato de salida un raster. Con la herramienta 3D Analysis > Surface Analysis > contour, se crea las isolíneas. Por último, para obtener los polígonos vectoriales es necesario Reclasificar el raster mediante la herramienta Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify, para posteriormete transformarlo como shape con Conversión Tools > From Raster > Raster to polygon. Este polígono de las precipitaciones se uniformizará para que tenga la misma escala y datum correspondiente.

Para generar los mapas de vías y centros poblados se procedió a generar un área de influencia, la cual se sustenta bajo las condiciones sociales y económicas que justifican la conectividad e interrelación de las actividades diarias en los ámbitos socioeconómicos, políticos y culturales en las que se desenvuelve el conglomerado

humano en una cierta región.

b. Construcción de la base de datos geospaciales

La comparación sistemática entre las condiciones edafológicas, climáticas, requerimientos agroecológicos de los cultivos, y aspectos socioeconómicos de un sector determinado, forman la zonificación agroecológica - económica.

Resumiendo, en el Cuadro 2 se verá los parámetros necesarios para el presente estudio:

Cuadro 2: Parámetros para el modelo de Zonificación Agroecológica Económica

ZONIFICACION AGROECOLÓGICA	
Disponibilidad edáfica	
Geomorfología	Pendiente
Suelos	Textura
	Profundidad efectiva
	Pedregosidad
	Drenaje
	pH
	Salinidad
Disponibilidad climática	
Temperatura	Isotermas
Precipitación	Isoyetas
ZONIFICACION AGROECOLÓGICA ECONÓMICA	
Infraestructura de apoyo	Infraestructura vial
Socio-económico	IDH
	% de pobreza
Tecnología	Centros poblados
	Uso Actual

Fuente: Adaptado de Santiago (2013)

Los parámetros para la obtención de la Disponibilidad edáfica (Geomorfología – Suelos) de la zonificación agroecológica adoptada utilizan variables inmersas en la pendiente y las características físicas y químicas del suelo, estas son:

a. Pendiente

La pendiente, como factor topográfico, es un elemento primario para la caracterización del espacio físico e insumo en la zonificación agroecológica, debido a que es un factor que condiciona el mayor o menor desarrollo de la actividad agrícola.

La clasificación del factor pendiente ha sido establecida en función a los rangos de la pendiente en la unidad hidrográfica. Toma importancia en cuanto a la relación que tiene con el grado de resistencia de los suelos, frente la erosión hídrica e incurre derechamente en las labores culturales tanto agronómicas y mecánicas en el cultivo.

En el Cuadro 3 se describe la reclasificación de los valores en porcentaje acorde a los siguientes niveles:

Cuadro 3: Niveles, rangos y descripción de pendientes

NIVEL	DESCRIPCION	RANGO
1	Pendiente débil	0 - 5
2	Pendiente suave	5 - 12
3	Pendiente moderada	12 - 25
4	Pendiente fuerte	25 - 50
5	Pendiente muy fuerte	50 - 70
6	Pendiente abrupta	> 70

Fuente: SIGTIERRA-SINAGAP (2012)

b. Suelos

Las unidades de suelos y sus características guardan semejanza en cuanto a sus características físico-químicas y morfológicas, presentando similares potencialidades y permitiendo dar igual manejo. La característica del suelo se considera como un atributo que puede medirse o estimarse.

La elaboración del mapa final de suelos, considera a los suelos de acuerdo al sistema de clasificación de Grupos Principales de Suelos de FAO/UNESCO. Cabe aclarar que específicamente la clasificación de los suelos no se incluyó dentro de los parámetros analizados en esta investigación, pero según lo expuesto cuando se

conoce la clasificación taxonómica de los suelos, de forma esencial se tiene información concreta de sus propiedades químicas y físicas, de los procesos de formación que allí ocurren, de su capacidad de uso y de las limitaciones de manejo. Las propiedades físicas y químicas que son medibles y con efectos importantes en los cultivos que se le dé a la tierra, se establecen de acuerdo a criterios adjuntados y detallándose a continuación:

- **Textura**

La textura está correspondida con la constitución mineral, la zona superficial y el espacio poroso, interviniendo así en los factores del crecimiento de las plantas, especialmente el movimiento y disponibilidad del agua en el suelo, aireación, absorción de nutrientes y resistencia de la penetración de las raíces, además interviene en las cualidades físicas que tienen que ver con la susceptibilidad del suelo a la degradación (FAO 2000).

El detalle de clasificación se agrupo en cinco clases texturales, contiene códigos para las características físicas, en el Cuadro 4 se explican:

Cuadro 4: Indicadores de textura del suelo

NIVEL	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN
1	Arenosa (fina, media, gruesa) Arenoso franco	Gruesa
2	Franco arenoso (fino a grueso) Franco limoso Franco Limoso	Moderadamente gruesa
3	Franco arcilloso (< 35% de arcilla) Franco arcilloso arenoso Franco arcilloso limoso	Media
4	Franco arcilloso (>35% de arcilla) Arcilloso Arcillo arenoso Arcillo limoso	Fina
5	Arcilloso	Muy fina

Fuente: SIGTIERRA-SINAGAP (2012)

- **Profundidad efectiva**

La profundidad del suelo es un componente condicional para el crecimiento de las raíces, perjudicando la infiltración y las alternativas de laboreo. En suelos superficiales, más limitados son los tipos de uso y además será el desarrollo de los cultivos; estos suelos tienen mínimo volumen aprovechable para la detención de agua y nutrientes; además pueden obstaculizar la plantación, igualmente son susceptibles a la erosión debido a la infiltración limitada del agua por el substrato rocoso (FAO 2000).

La caracterización en el mapa de suelos está agrupada en cuatro niveles, que se exponen en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Indicadores de profundidad efectiva del suelo

NIVEL	PROFUNDIDAD (cm)	DESCRIPCIÓN
1	0 - 20	Superficial
2	21 - 50	Poco profundo
3	51 - 100	Moderadamente profundo
4	> 100	Profundo

Fuente: SIGTIERRA-SINAGAP (2012)

- **Pedregosidad**

La pedregosidad es la existencia de piedras en el suelo o la existencia en la superficie de fragmentos grandes (de 7.5 a 25 cm de diámetro) que restringen el manejo de maquinaria agrícola (Barreira 1974).

A continuación, en el Cuadro 6, se muestran los códigos en función a la pedregosidad:

Cuadro 6: Indicadores de pedregosidad del suelo

NIVEL	RANGO (%)	DESCRIPCIÓN
1	< 10	Sin o muy pocas piedras
2	11 - 25	Con pocas piedras
3	26 - 50	Con frecuentes piedras
4	51 - 75	Con abundantes piedras
5	> 75	Pedregoso

Fuente: SIGTIERRA-SINAGAP (2012)

- **Drenaje**

Es la capacidad y habilidad de evacuar el agua por deslizamiento superficial o por infiltración profunda; las plantas y todos los seres vivos requieren del agua, pero la abundancia como la deficiencia, restringen su regular desarrollo (Barreira 1974).

Los códigos asignados se agrupan tal como se indica en el Cuadro 7:

Cuadro 7: Indicaciones de drenaje del suelo

NIVEL	DESCRIPCIÓN
1	Bueno
2	No tomar en cuenta

Fuente: SIGTIERRA-SINAGAP (2012)

- **pH**

El pH es fundamental para las plantas debido a que perjudica la disponibilidad de los nutrientes útiles para el desarrollo adecuado de las plantas. Cuando los suelos son demasiado ácidos o muy alcalinos no benefician la solución de compuestos, limitando la existencia de iones de nutrientes necesarios para las plantas (Barreira 1974).

Cuadro 8: Indicaciones de pH del suelo

NIVEL	RANGO (%)	DESCRIPCIÓN
1	< 4.5	Muy ácido
2	4.5 - 5.5	Ácido
3	5.6 - 6.5	Ligeramente ácido
4	6.6 - 7.5	Neutro
5	7.5 - 8.5	Moderadamente alcalino
6	> 8.5	Alcalino

Fuente: SIGTIERRA-SINAGAP (2012)

- **Salinidad**

Las sales afectan los cultivos a causa de los iones tóxicos, los cuales por un desbalance de los nutrientes inducen deficiencias y por un aumento de la presión osmótica de la solución del suelo causan una falta de agua. La estructura y la permeabilidad del suelo pueden ser dañadas por el alto contenido de sodio

intercambiable que queda en el suelo cuando las sales son lavadas, salvo que se tomen medidas preventivas o remedios, tales como la aplicación de yeso (FAO 2000). En el Cuadro 9 se detalla la agrupación de los siguientes niveles:

Cuadro 9: Indicaciones de salinidad del suelo

NIVEL	RANGO (mmhos/cm)	DESCRIPCIÓN
1	0 -2	Sin
2	2 - 4	Ligera
3	4- 8	Media
4	8 - 16	Alta
5	> 16	Muy alta

Fuente: SIGTIERRA-SINAGAP (2012)

Los parámetros principales para la generación de la Disponibilidad climática (Temperatura y Precipitación) de la zonificación agroecológica de los cultivos son:

c. Temperatura media

Los cultivos tienen un desarrollo cuando las diferenciaciones térmicas no afectan negativamente las funciones de las plantas: crecimiento, germinación, fotosíntesis, absorción de agua y nutrientes, y respiración. Con el propósito establecido en la metodología, se definió secuencial y ordenadamente parámetros (niveles) a los grados de temperatura, de la siguiente manera:

Cuadro 10: Niveles de isotermas (temperatura media)

NIVEL	TEMPERATURA MEDIA (°C)
1	15 - 16
2	16 - 17
3	17 - 18
4	18 - 19
5	19 - 20
6	20 - 21
7	21 - 22
8	22 - 23
9	23 - 24
10	24 - 25
11	> 25

Fuente: SIGTIERRA-SINAGAP (2012)

d. Precipitación

A partir del análisis de las precipitaciones medias mensuales y anuales de las estaciones meteorológicas, se obtiene una idea de la distribución de las etapas de la precipitación, es decir las isoyetas.

Con la capa de isoyetas se asignó secuencial y ordenadamente parámetros (niveles) a los atributos de precipitación, en rangos de 100 mm, como consta en el Cuadro 11.

Cuadro 11: Niveles de isoyetas (precipitación)

NIVEL	PRECIPITACION (en mm)
1	< 100
2	100 – 200
3	200 – 300
4	400 – 500
5	500 - 600
6	600 - 700
7	700 - 800
8	800 - 900
9	900 - 1000
10	1000 - 1100
11	> 1100

Fuente: Adaptado de SIGTIERRA-SINAGAP (2012)

e. Requerimientos agroecológicos de los cultivos

Los cultivos de agroexportación seleccionados para el estudio de zonificación agroecológica fueron escogidos a partir del catálogo exportador de la región Piura realizado por la Dirección Regional de Comercio Exterior y Turismo – región Piura. De acuerdo a su equipo técnico en la unidad hidrográfica se destina mayoritariamente a la producción de cultivos como limón, uva, ají paprika, maracuyá y mango. Por esta razón, se determinaron como los cultivos más importantes en el sector y a la vez se eligieron para el presente estudio.

Los requerimientos agroecológicos de los cultivos se establecieron según los datos generados y que constan en el libro Requerimientos Agroecológicos de Cultivos del SAGARPA (2013), y las fichas técnicas de los cultivos seleccionados del MINAGRI.

Los parámetros considerados como requerimientos agroecológicos óptimos, adaptados para la zonificación agroecológica dentro de la unidad hidrográfica Piura son:

Precipitación, temperatura media, pendiente, textura del suelo, profundidad del suelo, pH del suelo, pedregosidad del suelo, drenaje del suelo, salinidad del suelo, altitud sobre el nivel del mar (dato anotado solamente como referencia del desarrollo de cada cultivo).

Los parámetros agroecológicos se detallan en el Cuadro 12.

Cuadro 12: Requerimientos agroecológicos de los cultivos

CULTIVO	Ají paprika	Limón	Mango	Maracuyá	Uva
Nombre científico	Capsicum annum L.	Citrus Limon L.	Mangifera indica L.	Passiflora edulis	Vitis vinifera L.
Familia	Solanaceae	Rutaceae	Anacardiaceae	Passifloraceae	Vitaceae
Requerimientos edafológicos y climáticos					
Altitud (msnm)	0 a 2000	0 a 1800	0 a 1200	0 a 1300	0 a 3000
Isoyetas (mm)	600 a 1250	500 a 1600	400 a 2500	600 a 2500	400 a 1100
Isotermas (°C)	16 a 30	13 a 35	10 a 35	21 a 32	10 a 35
Pendientes (%)	< 12%	< 25%	< 12%	< 12%	< 12%
Textura	Franco arcilloso, Franco arenoso	Franco, Franco arcilloso, franco arenoso	Limo arenoso, Arcilloso arenoso, franco arenoso	Franco, franco arcilloso	Franco arenoso
Profundidad	Profundo	Profundo	Profundo	Profundo	Profundo
Drenaje	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
pH	6 a 7	5.5 a 7	5.5 a 7.5	5.5 a 7	5.5 a 7
Salinidad	Sin	Sin	Sin	Sin	Sin
Pedregosidad	Sin o muy pocas	Sin o muy pocas	Sin o muy pocas	Sin o muy pocas	Sin o muy pocas

Fuente: SAGARPA (2013)

Para la parte económica del modelo se tomó en cuenta lo siguiente:

f. Infraestructura vial

La infraestructura vial es un componente dinamizador de la economía moderna, ya que crea un efecto multiplicador en los principales sectores agroproductivos, industriales y sus ligados. La vialidad es fundamental en la zona rural porque condiciona la movilización de la producción y activa el comercio interno y externo. El área de influencia de la red vial sea nacional, departamental o regional es de 2000 metros.

Cuadro 13: Niveles de la capa de red vial

NIVEL	TRIBUTO
1	Dentro del buffer
2	Afuera del buffer

Fuente: Adaptado de Santiago (2013)

g. Centros poblados

El factor localización y cercanía a los centros poblados dentro de la unidad hidrológica Piura, es muy importante ya que representa la accesibilidad; reducción de costos (transporte), tiempo a los distintos servicios y actividades económicas concentradas dentro de un área urbana. Se trabajó con diferentes radios de influencias, escalado considerando la categoría del centro urbano.

Cuadro 14: Radios de influencia de los centros poblados

CATEGORIA	BUFFER
Anexo	1000
Unidad agropecuaria	2000
Caserío	3000
Pueblo	4000
Ciudad	5000
Otros	1000
Villa	4000

Fuente: Alarcón (2016)

En base a esto, el Cuadro 15 detalla la clasificación expuesta:

Cuadro 15: Niveles de la capa de área de los centros urbanos

NIVEL	TRIBUTO
1	Dentro del buffer
2	Afuera del buffer

Fuente: Adaptado de Santiago (2013)

h. Uso actual

Se determinó el uso actual del suelo de la cuenca hidrográfica, dando mayor prioridad a las zonas agrícolas.

Cuadro 16: Nivel de uso actual

NIVEL	DESCRIPCION
1	Zona agrícola
2	Bosque de montaña
3	Bosque seco
4	Desierto costero
5	Cuerpos de agua
6	Matorral
7	Manglar
8	Páramo
9	Río Piura
10	Zona urbana

Fuente: Adaptado de Santiago (2013)

i. Pobreza

El criterio de la valoración del nivel es que, población con mayores/menores niveles de pobreza, presentan mayores/menores niveles de participación en la actividad agropecuaria, como se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 17: Nivel de rangos de pobreza

% DE POBREZA	RANGOS	NIVEL
9.8 - 24.15	Bajo	1
24.15 - 38.5	Medio	2
38.5 - 52.85	Alto	3
52.85 - 67.2	Muy Alto	4

Fuente: Elaboración propia

j. Índice de desarrollo humano (IDH)

El IDH toma en cuenta tres elementos relacionados con factores social-económico de una población: nivel de salud, representado por la esperanza de vida al nacer; nivel de instrucción, representado por la tasa de alfabetización de adultos, el promedio de año de escolarización y finalmente, el ingreso, representado por el PIB por habitantes. El IDH es una medida no ponderada que clasifica a los países o regiones a través de una escala que va de 0 a 1 y permite establecer los niveles de desarrollo humano.

Cuadro 18: Nivel de rangos de IDH

IDH	RANGOS	NIVEL
0.448 - 0.555	Muy Alto	1
0.341 - 0.448	Alto	2
0.233 - 0.341	Medio	3
0.126 - 0.233	Bajo	4

Fuente: Elaboración propia

c. Modelo geoespacial de zonificación agroecológica económica

El modelo geoespacial conjunto de reglas conceptuales para formar representaciones del territorio en un entorno digital y discreto. Un Modelo geoespacial establece los términos en que las entidades abstraídas del mundo real se diseñan para ser conceptualizadas como objetos y éstos a través de las especificaciones que declara el modelo son transformados en datos geoespaciales.

En el modelamiento se realizan una serie de operaciones de análisis utilizando mapas temáticos que representen variables calificadas de acuerdo a los estudios y las experiencias en el tema, y teniendo en cuenta el grado de incidencia de cada una de las unidades sobre el resultado, Dichos mapas, mediante superposición, definen características espaciales en base a potencialidades y limitaciones. El modelo conceptual nos muestra la estructura de los campos considerados para evidenciar las zonas agroecológicas económicas óptimas existentes en la unidad hidrográfica Piura de los cultivos seleccionados.

La construcción del modelo, como se detalla en la Figura 8 se realizó teniendo en cuenta las variables más importantes e incidentes en el objetivo del modelo, luego se realizó la calificación en las unidades de cada variable, para lo cual se ha utilizado el sistema de información geográfica con el software ArcGIS y la herramienta Model Builder.

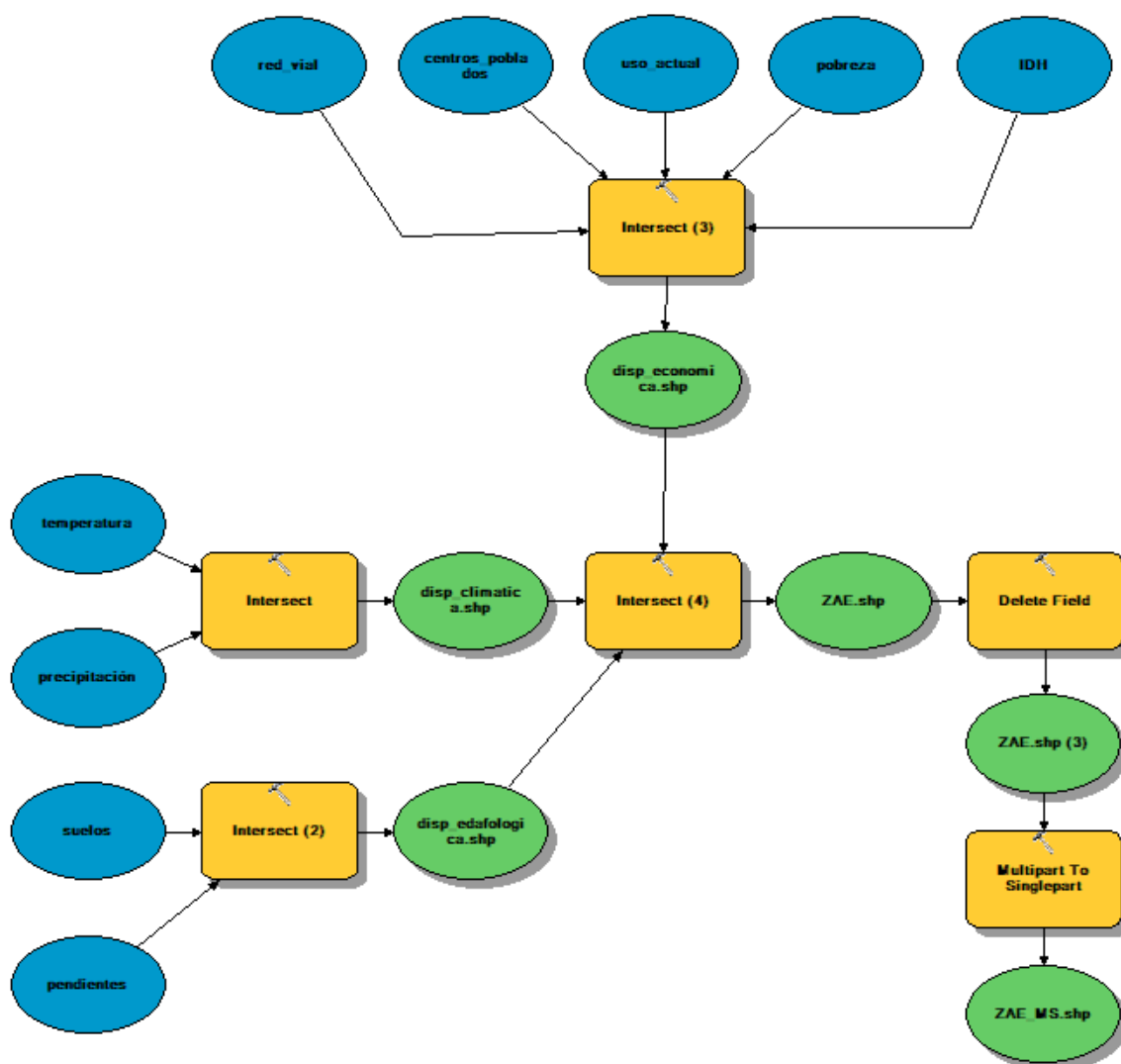


Figura 8: Modelo geoespacial para la determinación de la zonificación agroecológica económica

Fuente: Elaboración propia

k. Elaboración del lenguaje estructurado de consulta (SQL)

El lenguaje de consulta estructurado (SQL) es un lenguaje de base de datos normalizado, utilizado por los diferentes motores de base de datos normalizados,

utilizando por los diferentes motores de base de datos para realizar determinadas operaciones sobre los datos o sobre la estructura de los mismos. El lenguaje SQL está compuesto por comandos, cláusulas, operadores y funciones de agregado. Estos elementos se combinan en las instrucciones para crear, actualizar y manipular las bases de datos (LOBOCOM SISTEMAS, s.f.).

Cuadro 19: Operadores lógicos SQL

AND	Evalúa dos condiciones y devuelve un valor sólo si ambas son ciertas
OR	Evalúa dos condiciones y devuelve un valor de verdad si alguna de las dos es cierta
NOT	Devuelve el valor contrario de la expresión.

Fuente: LOBOCOM SISTEMAS (s.f.)

Este modelo propuesto de zonificación es una función matemática que, a partir del lenguaje de estructurado de consulta a los atributos del mapa agroecológico, dentro de un SIG, va generar zonas óptimas (mejores condiciones edafológicas y climáticas para el cultivo), con la obtención final representadas en mapas, con condiciones homogéneas limitantes o satisfactorias para el desarrollo del cultivo. Para la ejecución de este proceso, los siguientes cuadros presenta un resumen de los parámetros que se usaron según los requerimientos agroecológicos de los cultivos de ají paprika, limón, mango, maracuyá y uva.

Cuadro 20: Parametrización de los requerimientos agroecológicos del ají paprika

	Requerimiento	Nivel
Ají paprika		
Isoyetas (mm)	600 a 1250	6 al 11
Isotermas (°C)	16 a 30	2 al 11
Pendientes (%)	< 12%	1,2
Textura	Franco arcilloso, Franco arenoso	2,3
Profundidad	Profundo	3
Drenaje	Bueno	1
pH	6 a 7	3,4
Salinidad	Sin	1
Pedregosidad	Sin o muy pocas	1

Fuente: Adaptado de Santiago (2013)

Cuadro 21: Parametrización de los requerimientos agroecológicos del limón

Requerimiento		Nivel
Limón		
Isoyetas (mm)	500 a 1600	5 al 11
Isotermas (°C)	13 a 35	1 al 11
Pendientes (%)	12% a 25%	3
Textura	Franco, Franco arcilloso, franco arenoso	2,3
Profundidad	Profundo	3
Drenaje	Bueno	1
pH	5.5 a 7	2,3,4
Salinidad	Sin	1
Pedregosidad	Sin o muy pocas	1

Fuente: Adaptado de Santiago (2013)

Cuadro 22: Parametrización de los requerimientos agroecológicos del mango

Requerimiento		Nivel
Mango		
Isoyetas (mm)	400 a 2500	4 al 11
Isotermas (°C)	10 a 35	1 al 11
Pendientes (%)	< 12%	1,2
Textura	Limo arenoso, Arcilloso arenoso, franco arenoso	2,3,4
Profundidad	Profundo	3
Drenaje	Bueno	1
pH	5.5 a 7.5	2,3,4
Salinidad	Sin	1
Pedregosidad	Sin o muy pocas	1

Fuente: Adaptado de Santiago (2013)

Cuadro 23: Parametrización de los requerimientos agroecológicos del maracuyá

Requerimiento		Nivel
Maracuyá		
Isoyetas (mm)	600 a 2500	6 al 11
Isotermas (°C)	21 a 32	7 al 11
Pendientes (%)	< 12%	1,2
Textura	Franco, franco arcilloso	3
Profundidad	Profundo	3
Drenaje	Bueno	1
pH	5.5 a 7	2,3,4
Salinidad	Sin	1
Pedregosidad	Sin o muy pocas	1

Fuente: Adaptado de Santiago (2013)

Cuadro 24: Parametrización de los requerimientos agroecológicos de la uva

Requerimiento		Nivel
Uva		
Isoyetas (mm)	400 a 1100	4 al 11
Isotermas (°C)	10 a 35	1 al 11
Pendientes (%)	< 12%	1,2
Textura	Franco arenoso	2
Profundidad	Profundo	3
Drenaje	Bueno	1
pH	5.5 a 7	2,3,4
Salinidad	Sin	1
Pedregosidad	Sin o muy pocas	1

Fuente: Adaptado de Santiago (2013)

Según la parametrización de los requerimientos agroecológicos, y a partir de los atributos de la base de datos agroecológicos obtenida con las intersecciones, la selección para el caso del cultivo ají paprika:

- i. Realizar la consulta SQL para el rango de isoyetas que en consideraciones óptimas se encuentre entre 600 a 1250 mm, esto quiere decir que le corresponde las clases del 6 al 11.
- ii. En la misma selección escogemos los restantes parámetros, como las isotermas entre 16 a 30°C, equivalente a las clases del 2 al 11.
- iii. En seguida la pendiente del 0 al 12%, equivalente a las clases 1 y 2.
- iv. Luego la textura de tipo franco arcilloso y franco arenoso, equivalente a las clases 2 y 3
- v. En la misma selección escogemos la profundidad profunda, equivalente a la clase 3.
- vi. Después el drenaje para el ají paprika es bueno, equivale a la clase 1.
- vii. De la anterior selección escogemos el pH con un rango 6 a 7, equivalente a las clases 3 y 4
- viii. Posteriormente identificamos la salinidad establecida como sin sales, equivalente a la clase 1
- ix. Y finalmente se selecciona la pedregosidad, sin o muy pocas piedras, equivalente a la clase 1.

Este mismo proceso fue realizado para la obtención de la zonificación agroecológica para los demás cultivos. Para el establecimiento de las Zonas Agroecológicas Económicas Aptas por cultivo, se definirán como áreas con las mejores condiciones socioeconómicas cuando cumplan las condiciones parametrizadas de infraestructura vial, centros poblados y uso actual.

En el siguiente cuadro se resume las situaciones consideradas para la generación de la capa de zonas agroecológicas económicas óptimas para los cultivos en estudio, consideradas para la selección por medio el lenguaje estructurado de consulta (SQL).

Cuadro 25: Condiciones aptas para las zonas agroecológicas económicas para los cultivos

FACTOR	NIVEL	
Uso actual	Zona agrícola	1
Vías de comunicación	Dentro del buffer	1
Centros poblados	Dentro del buffer	1
Pobreza	Bajo – Medio	1-2
IDH	Muy alto - Alto	1-2

Fuente: Adaptado de Santiago (2013)

Conforme a lo indicado en las condiciones óptimas para las zonas agroecológicas económicas, y con los atributos de las zonas socioeconómicas para el cultivo del ají paprika, se seleccionó así:

- i. Se selecciona una consulta SQL para la categoría de vías de comunicación que en condiciones óptimas es el área de influencia a 2000 m, es decir la clase 1.
- ii. En esta selección escogemos las características de centros poblados con un área de influencia según lo explicado anteriormente, con clase 1.
- iii. Después se selecciona el uso actual de tipo zonas agrícolas, correspondiéndole la clase 1.
- iv. Se selecciona los distritos cuyo rango de IDH sea “Alto” o “Muy Alto”, es decir las clases 1 y 2.
- v. Finalmente, los distritos que tengas un rango de pobreza “Bajo” y “Medio”, con las clases 1 y 2.

Por lo tanto, la consulta SQL para el cultivo ají paprika sería de la siguiente manera:
"Nivel_pend" <= 2 AND "Nivel_prep" >= 6 AND "Nivel_Tmed" >= 2 AND ("Nivel_text" >= 2 AND "Nivel_text" <= 3) AND "Nivel_pedr" = 1 AND "Nivel_prof" = 3 AND ("Nivel_pH" >= 3 AND "Nivel_pH" <= 4) AND "Nivel_sali" = 1 AND "Nivel_dren" = 1 AND "Nivel_via" = 1 AND "Nivel_CP" = 1 AND "Nivel_UA" = 1 AND "Nivel_pobr" <= 2 AND "Nivel_IDH" <= 2

Siendo la Figura 9, el modelo espacial en Model Buidel para el cultivo ají paprika:

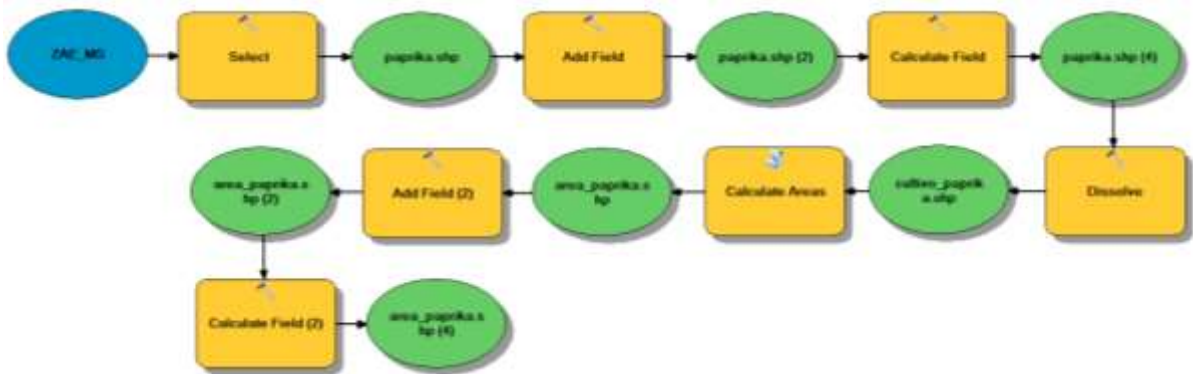


Figura 9: Modelo geoespacial para la determinación de las zonas agroecológicas económicas aptas para el cultivo del ají paprika

Fuente: Elaboración propia.

El mismo procedimiento se hace con cada cultivo, teniendo la siguiente consulta SQL para el cultivo limón:

"Nivel_pend" <= 2 AND ("Nivel_text" >= 2 AND "Nivel_text" <= 3) AND "Nivel_prof" = 3 AND "Nivel_dren" = 1 AND ("Nivel_pH" >= 3 AND "Nivel_pH" <= 4) AND "Nivel_sali" = 1 AND "Nivel_prep" >= 5 AND "Nivel_Tmed" <= 11 AND "Nivel_via" = 1 AND "Nivel_CP" = 1 AND "Nivel_UA" = 1 AND "Nivel_IDH" <= 2 AND "Nivel_pobr" <= 2

Siendo la Figura 10, el modelo espacial en Model Buidel para el cultivo limón:

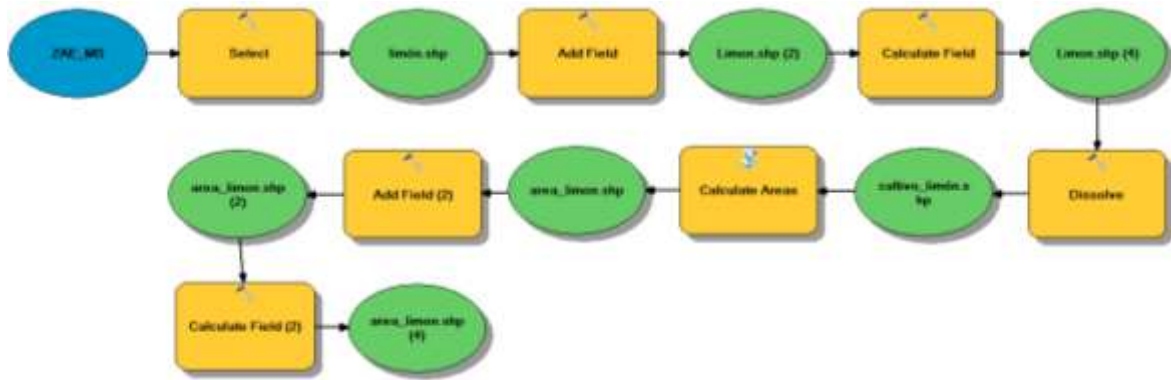


Figura 10: Modelo geoespacial para la determinación de las zonas agroecológicas económicas aptas para el cultivo del Limón

Fuente: Elaboración propia.

Consulta SQL para el cultivo mango:

"Nivel_pend" <= 2 AND "Nivel_Tmed" <= 11 AND "Nivel_prep" >=4 AND ("Nivel_text" >= 2 AND "Nivel_text" <= 4) AND "Nivel_prof" = 3 AND ("Nivel_pH" >= 3 AND "Nivel_pH" <= 4) AND "Nivel_dren" = 1 AND "Nivel_sali" = 1 AND "Nivel_pedr" = 1 AND "Nivel_via" = 1 AND "Nivel_CP" = 1 AND "Nivel_UA" = 1 AND "Nivel_pobr" <= 2 AND "Nivel_IDH" <= 2

Siendo la Figura 11, el modelo espacial en Model Buidel para el cultivo mango:

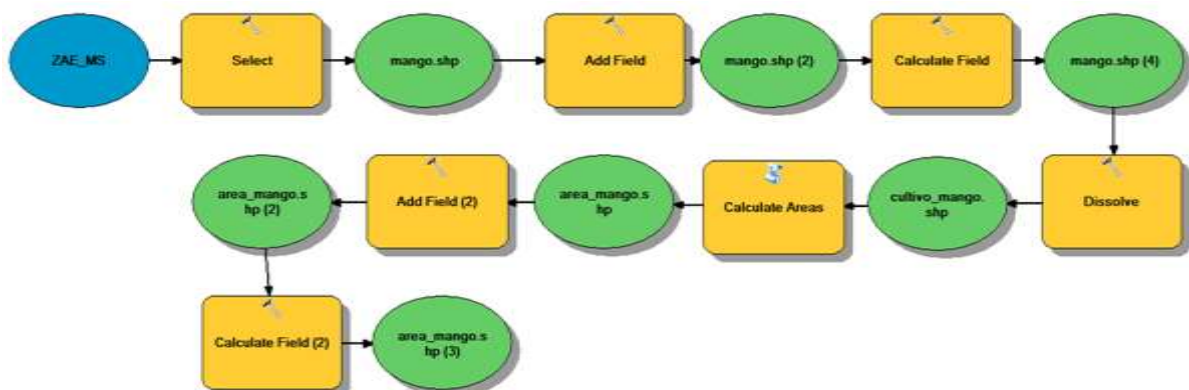


Figura 11: Modelo geoespacial para la determinación de las zonas agroecológicas económicas aptas para el cultivo del mango

Fuente: Elaboración propia.

Consulta SQL para el cultivo maracuyá:

"Nivel_prep" >= 6 AND "Nivel_Tmed" >= 6 AND "Nivel_pend" <= 2 AND "Nivel_text" = 3 AND "Nivel_prof" = 3 AND "Nivel_dren" = 1 AND "Nivel_sali" = 1 AND "Nivel_pedr" = 1 AND ("Nivel_pH" >= 3 AND "Nivel_pH" <= 4) AND "Nivel_via" = 1 AND "Nivel_CP" = 1 AND "Nivel_UA" = 1 AND "Nivel_pobr" <= 2 AND "Nivel_IDH" <= 2

Siendo la Figura 12, el modelo espacial en Model Buidel para el cultivo maracuya:

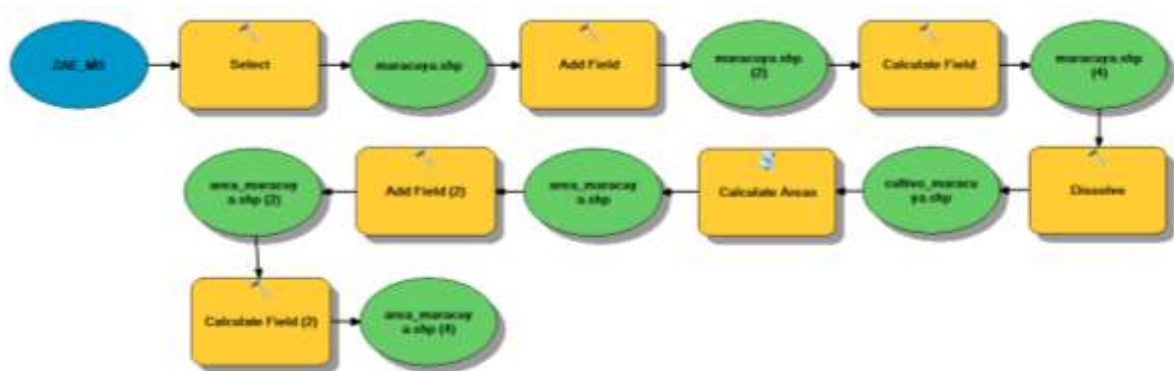


Figura 12: Modelo geoespacial para la determinación de las zonas agroecológicas económicas aptas para el cultivo del maracuyá

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la consulta SQL para el cultivo uva:

"Nivel_pend" <= 2 AND "Nivel_text" = 2 AND "Nivel_prep" >= 4 AND "Nivel_Tmed" <= 11 AND "Nivel_prof" = 3 AND "Nivel_dren" = 1 AND "Nivel_sali" = 1 AND ("Nivel_pH" >= 3 AND "Nivel_pH" <= 4) AND "Nivel_pedr" = 1 AND "Nivel_via" = 1 AND "Nivel_CP" = 1 AND "Nivel_UA" = 1 AND "Nivel_pobr" <= 2 AND "Nivel_IDH" <= 2

Siendo la Figura 13, el modelo espacial en Model Buidel para el cultivo uva:

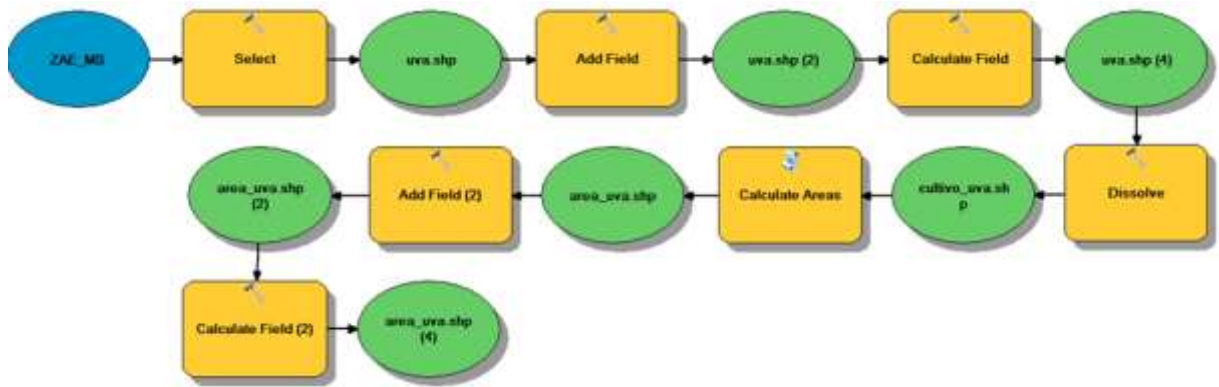


Figura 13: Modelo geoespacial para la determinación de las zonas agroecológicas económicas aptas para el cultivo de la uva

Fuente: Elaboración propia.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. INFORMACIÓN TEMÁTICA GENERADA PARA EL MODELO AGROECOLÓGICO ECONÓMICO

El modelamiento geoespacial para determinar las zonas más aptas para los cultivos de agroexportación a través del modelo lógico, se procesaron diez mapas temáticos, cuyas incidencias se explican:

4.1.1. Variable temática de pendientes

Para esta variable temática se clasifico en rangos que van desde cero hasta mayores de 70 por ciento. Resultando mayores a 70 por ciento, como pendiente abrupta; entre 50 – 70 por ciento, muy fuerte; 25 – 50 por ciento, fuerte; 12 – 25 por ciento, moderada; 5 – 12 por ciento, suave y, por último, de 0 – 5 por ciento, débil. Así mismo, se le asigno los niveles de acuerdo a su incidencia, desde pendiente débil igual a un nivel 1 hasta abrupta igual a 6.

Cuadro 26: Calificación de la variable temática pendientes según su nivel

DESCRIPCION DE LA PENDIENTE	RANGO	NIVEL	AREA (Ha)
Pendiente débil	0 - 5	1	724972
Pendiente suave	5 - 12	2	76159
Pendiente moderada	12 - 25	3	167802
Pendiente fuerte	25 - 50	4	119757
Pendiente muy fuerte	50 - 70	5	3853
Pendiente abrupta	> 70	6	178

Fuente: Elaboración propia

La unidad hidrográfica Piura tiene las clases de pendientes presentadas en la siguiente figura:

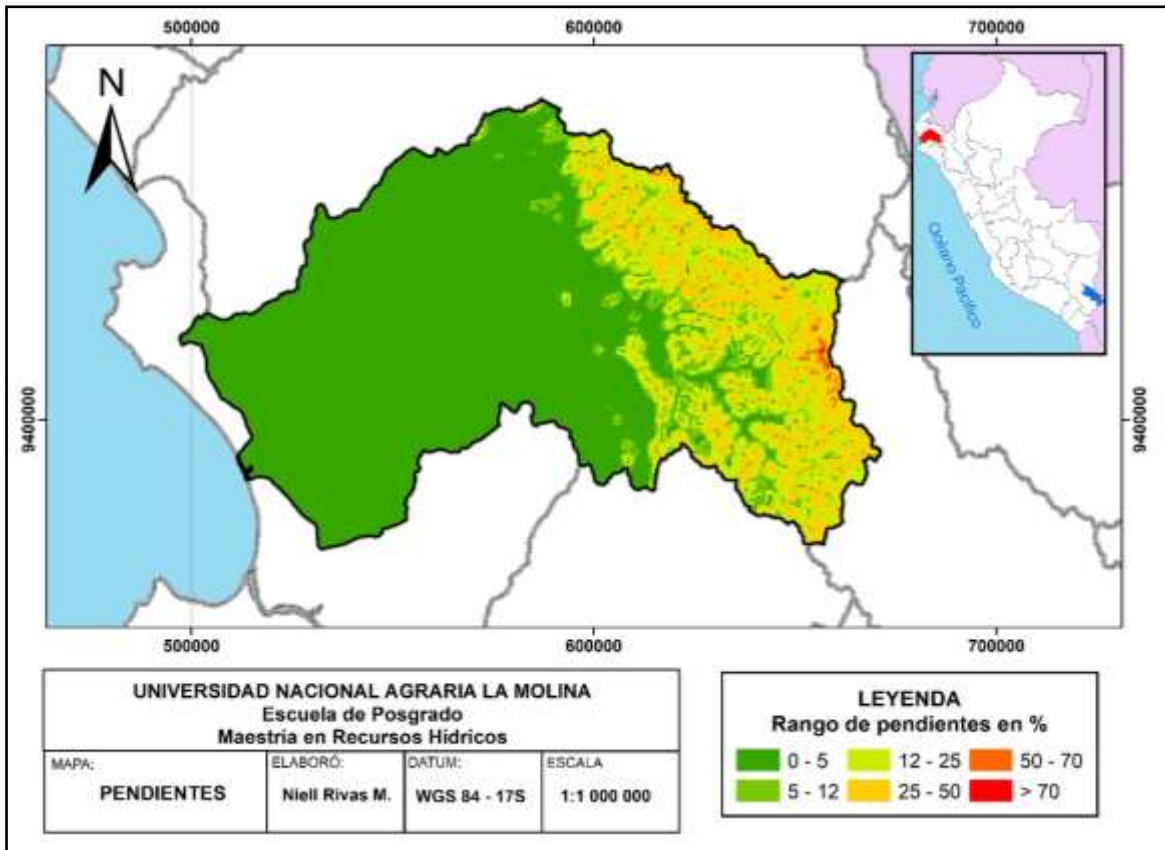


Figura 14: Mapa de pendientes

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Variable temática de suelos

En base a la información de las instituciones y la inspección in situ en la zona de estudio, se identificaron ocho grandes grupos de suelo, tal como se muestra en el Cuadro 27 y Figura 15.

Recalcar que específicamente la clasificación de los suelos no se incluyó dentro de los parámetros analizados en esta investigación, pero según lo expuesto cuando se conoce la clasificación taxonómica de los suelos, de forma esencial se tiene información concreta de sus propiedades químicas y físicas, de los procesos de formación que allí ocurren, de su capacidad de uso y de las limitaciones de manejo.

A continuación, se detallan las características en el siguiente cuadro.

Cuadro 27: Número de hectáreas de la variable temática suelos

UNIDAD	AREA (Ha)
Arenosol	494703
Cambisol	305094
Fluvisol	238296
Leptosol	3948
Luvisol	15347
Regosol	33091
Solonchacs	7588
Yermosol	3791

Fuente: Elaboración propia

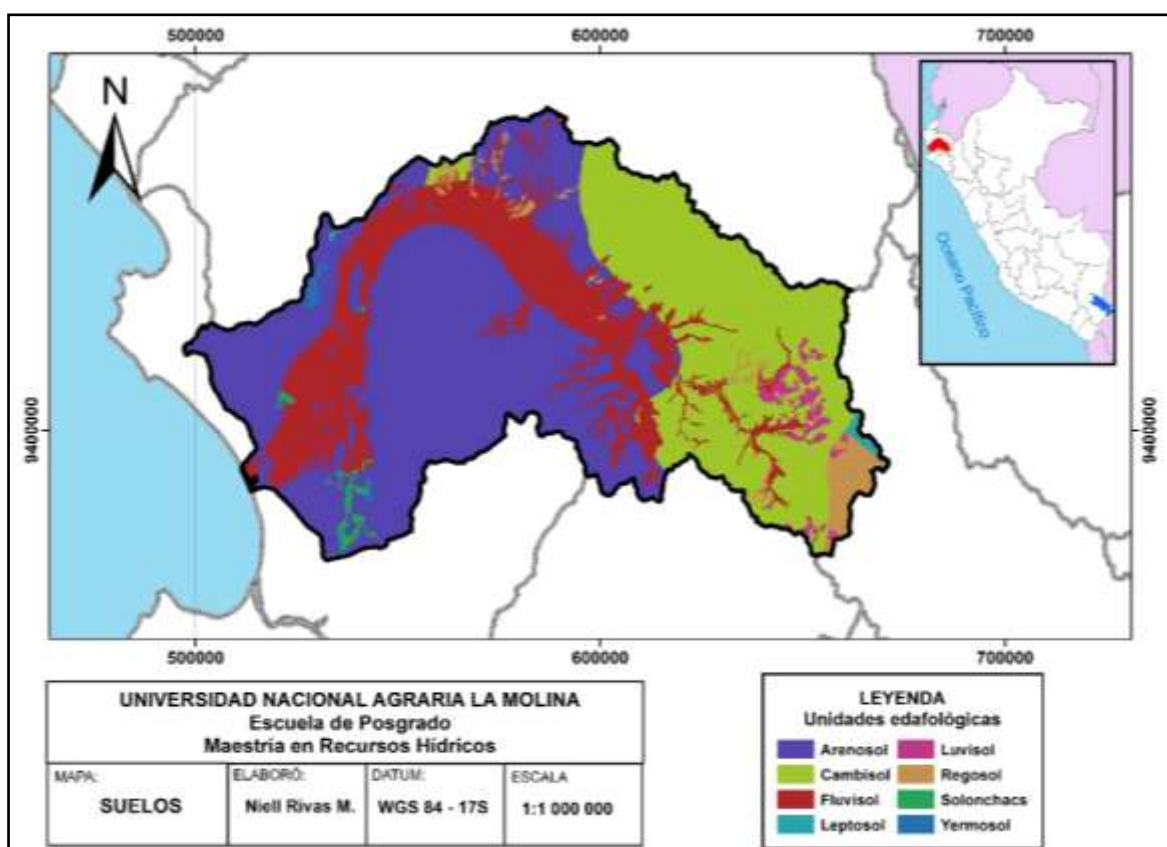


Figura 15: Mapa de suelos

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Variable temática de temperatura media

Se clasificó según la distribución del rango de valores mensuales de temperatura media, que van desde 15° hasta 25°C, con intervalos de 1°C, tal como se muestra en el Cuadro 28 y Figura 16.

Cuadro 28: Calificación de la variable temática temperatura media según su nivel

RANGO	NIVEL	AREA (Ha)
15 - 16	1	237
16 - 17	2	1900
17 - 18	3	5167
18 - 19	4	31668
19 - 20	5	41142
20 - 21	6	37323
21 - 22	7	38465
22 - 23	8	44443
23 - 24	9	71121
24 - 25	10	284226
> 25	11	537298

Fuente: Elaboración propia

En el mapa de la Figura 16 se visualiza los rangos de temperatura media:

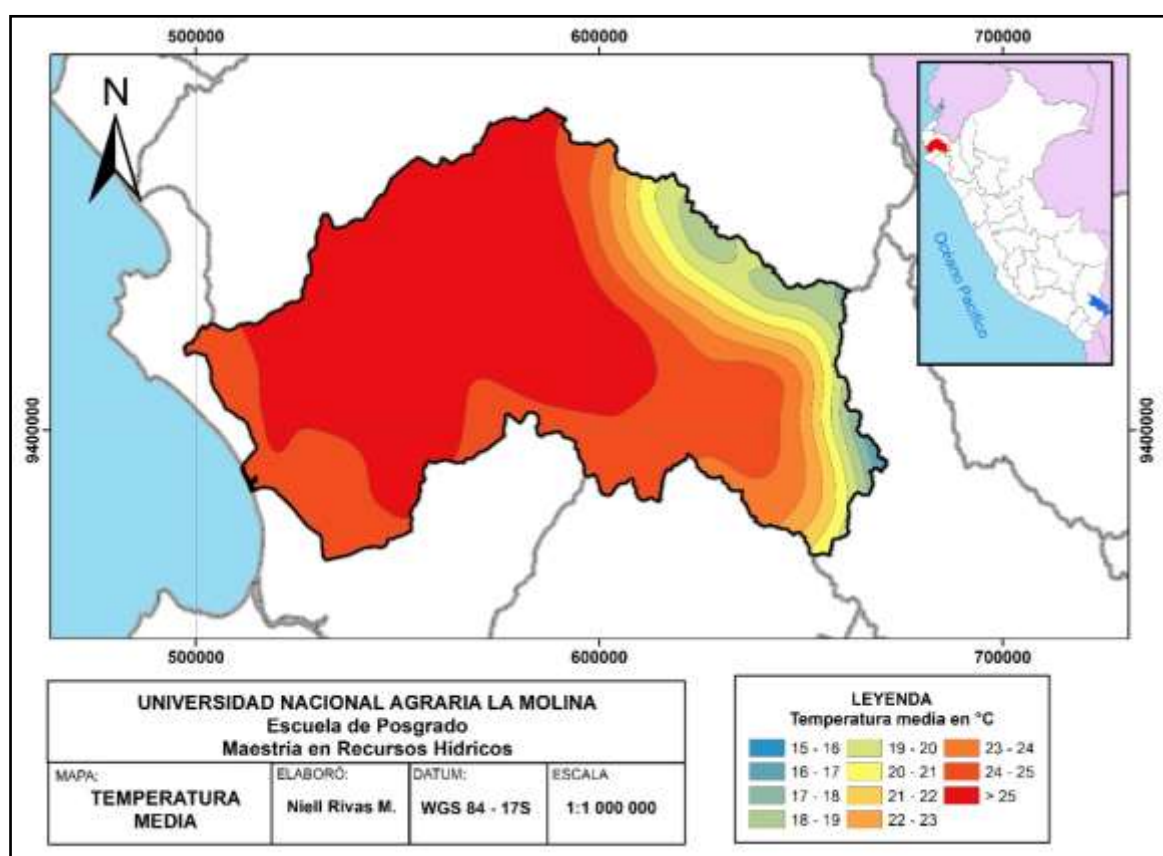


Figura 16: Mapa de temperatura media

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Variable temática de precipitación

La variable considerada fue la precipitación total media multianual. Se clasificó según la distribución del rango de valores, que van desde 100 hasta 1100 mm, con intervalos de 100 mm, tal como se muestra en el Cuadro 29.

Cuadro 29: Calificación de la variable temática precipitación según su nivel

RANGO	NIVEL	AREA (Ha)
< 100	1	157148
100 - 200	2	189420
200 - 300	3	85957
200 - 300	3	109726
300 - 400	4	132251
400 - 500	5	242885
500 - 600	6	136960
700 - 800	7	48635
800 - 900	8	40836
900 - 1000	9	19997
1000 - 1100	10	7886
> 1100	11	7258

Fuente: Elaboración propia

La Figura 17 contiene los datos mapeados de los rangos de precipitación de la unidad hidrográfica Piura:

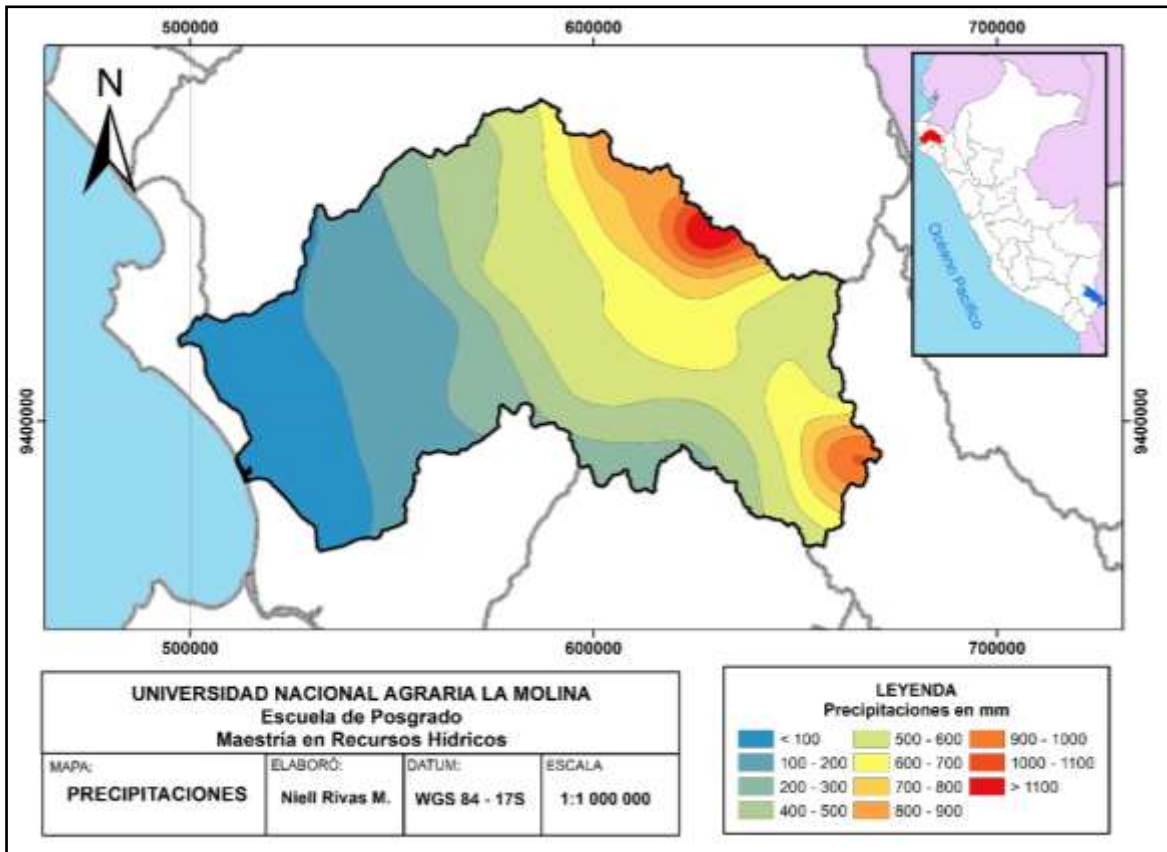


Figura 17: Mapa de precipitación

Fuente: Elaboración propia

4.1.5. Variable temática de red vial

Esta variable solo considera las zonas dentro del buffer, que son de 2000 m de área de influencia con un nivel de 1 par en la participación del modelo lógico.

Cuadro 30: Calificación de la variable temática red vial según su nivel

TRIBUTO	NIVEL	AREA (Ha)
Dentro del buffer	1	654511
Afuera del buffer	2	438500

Fuente: Elaboración propia

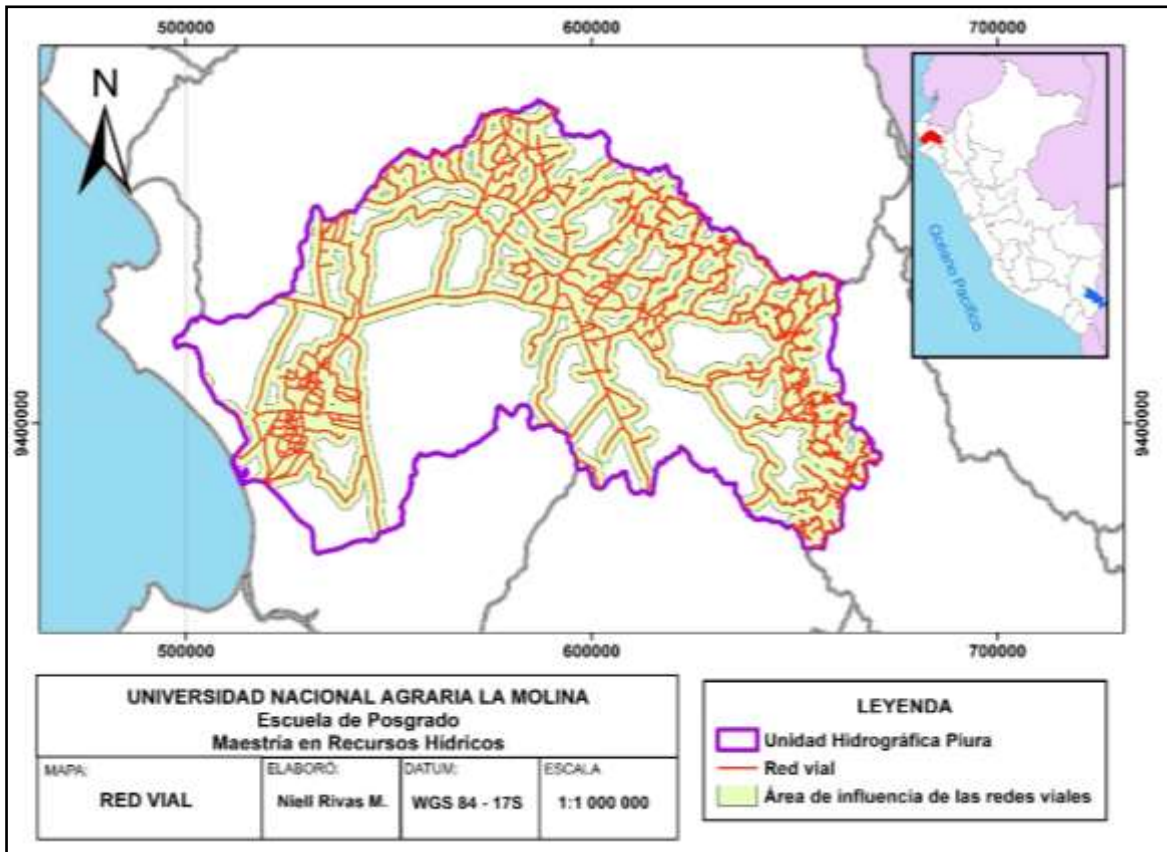


Figura 18: Mapa de red vial

Fuente: Elaboración propia

4.1.6. Variable temática de centro poblado

Esta variable solo considera las zonas dentro del buffer, la cual su área de influencia es respecto al tipo de centro poblado.

Cuadro 31: Calificación de la variable temática centro poblado según su nivel

TRIBUTO	NIVEL	AREA (Ha)
Dentro del buffer	1	654216
Afuera del buffer	2	438794

Fuente: Elaboración propia

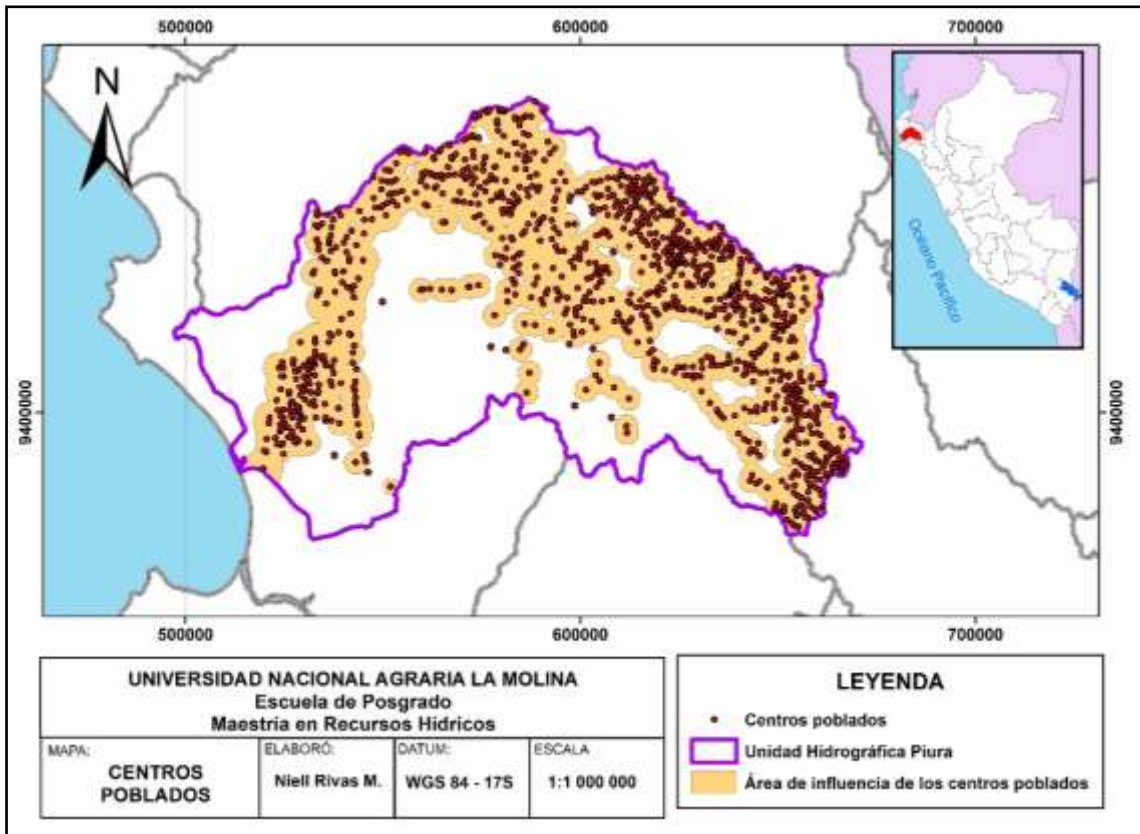


Figura 19: Mapa de centros urbanos

Fuente: Elaboración propia

4.1.7. Variable temática de uso actual

Esta variable solo considera las zonas dentro del buffer, la cual su área de influencia es respecto al tipo de centro poblado.

Cuadro 32: Calificación de la variable temática centro poblado según su nivel

USO ACTUAL	NIVEL	AREA (Ha)
Zona agrícola	1	334021
Bosque de montaña	2	4236
Bosque seco	3	667187
Desierto costero	4	40361
Cuerpos de agua	5	5054
Matorral	6	33360
Manglar	7	70
Páramo	8	6466
Río Piura	9	3542
Zona urbana	10	7640

Fuente: Elaboración propia

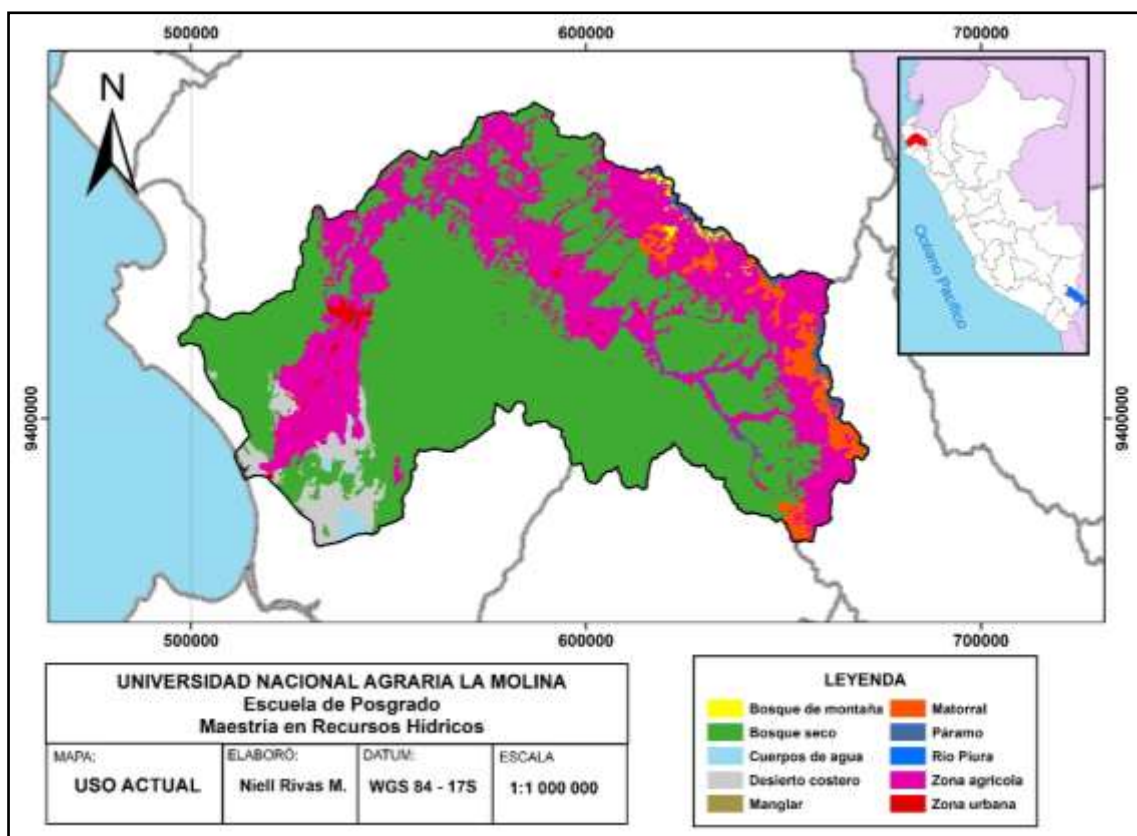


Figura 20: Mapa de uso actual

Fuente: Elaboración propia

4.1.8. Variable temática de pobreza

La pobreza es una situación social y económica que se caracteriza por la carencia de satisfacción de las necesidades básicas. Considerando el porcentaje de pobreza por distrito, se asignó un nivel según el rango de dicha variable. Siendo el distrito de Paicapampa con una población de 67.2 por ciento en situación de pobreza, y el distrito de Piura con una población de 9.8 por ciento en situación de pobreza. Los valores extremos en esta unidad hidrográfica (Listado completo en anexos).

Cuadro 33: Calificación de la variable temática pobreza según su nivel

PORCENTAJE DE POBREZA	RANGOS	NIVEL	AREA (Ha)
9.8 - 24.15	Bajo	1	122927
24.15 - 38.5	Medio	2	280284
38.5 - 52.85	Alto	3	581528
52.85 - 67.2	Muy Alto	4	108185

Fuente: Elaboración propia

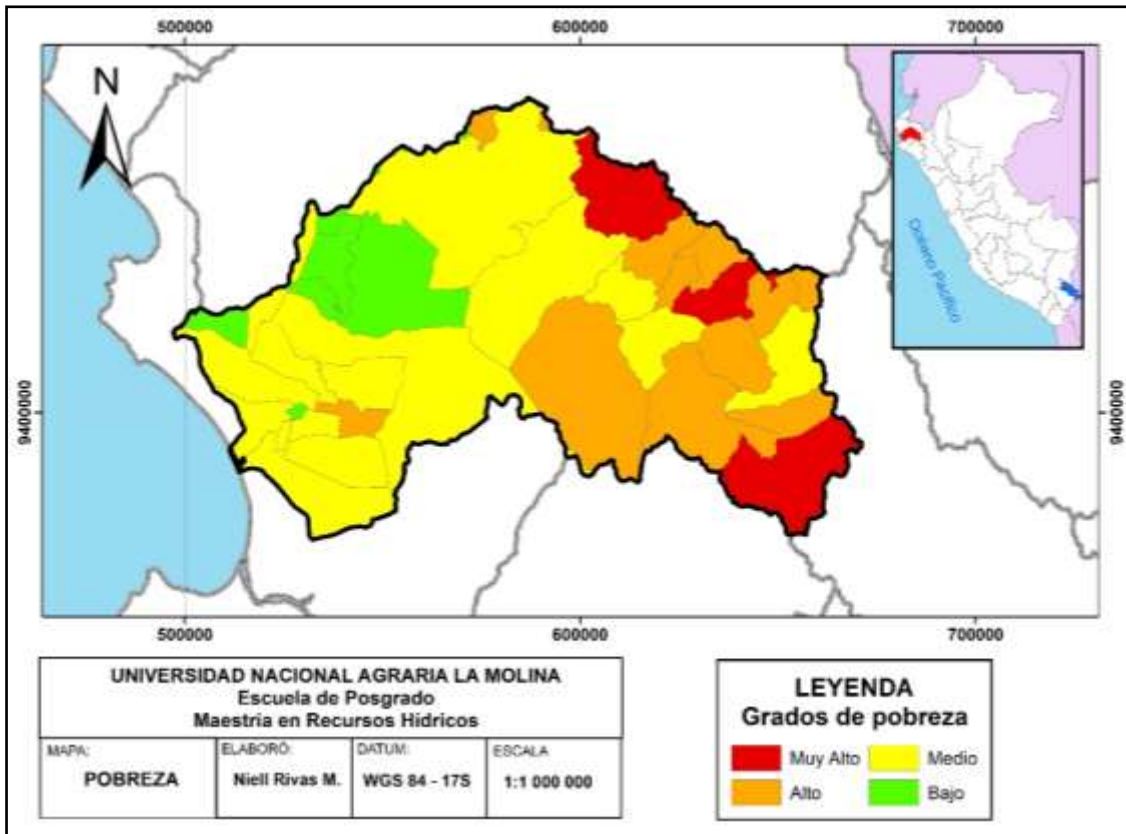


Figura 21: Mapa de pobreza

Fuente: Elaboración propia

4.1.9. Variable temática de IDH

Este mapa temático tiene la variable de IDH, el cual es un indicador del desarrollo humano, en este caso se tiene el dato por distrito de la unidad hidrográfica Piura; a pesar que a nivel mundial el Perú tiene un IDH alto, en la unidad hidrográfica se tiene valores que van de bajo a medio; sin embargo, para la asignación de niveles se tomaron otros rangos de acuerdo a los datos. Considerando al distrito de Castilla con un IDH de 0.555 y al distrito de Paicapampa, un IDH de 0.126. Siendo los valores extremos en el área de estudio (Listado completo en anexos).

Cuadro 34: Calificación de la variable temática IDH según su nivel

IDH	RANGOS	NIVEL	AREA (Ha)
0.448 - 0.555	Muy Alto	1	89733
0.341 - 0.448	Alto	2	579800
0.233 - 0.341	Medio	3	267877
0.126 - 0.233	Bajo	4	155514

Fuente: Elaboración propia

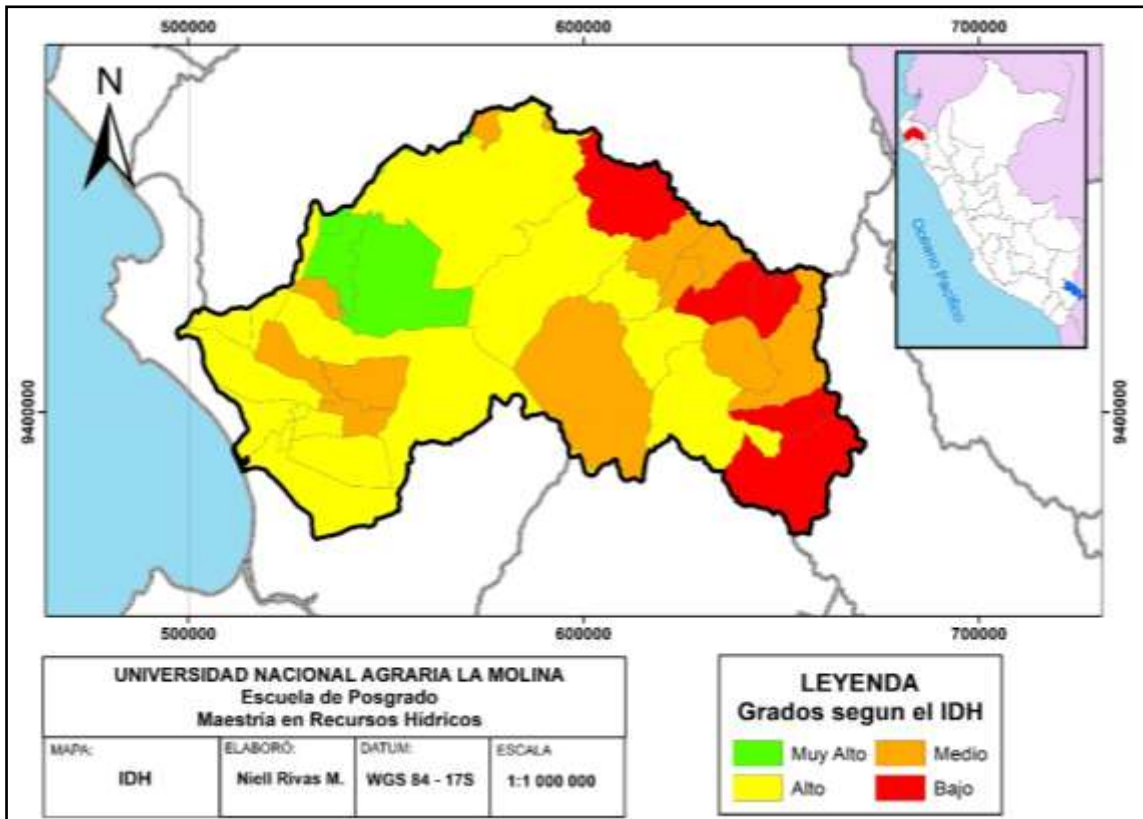


Figura 22: Mapa de IDH

Fuente: Elaboración propia

4.2. ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA ECONÓMICA DE LOS CULTIVOS

4.2.1. Zonas aptas para el cultivo ají paprika

De acuerdo a los resultados obtenidos por la consulta SQL de todos los requerimientos agroecológicos económicos del ají paprika, se obtuvo un área de 10 327.25 ha de zonas aptas. Siendo los distritos de Buenos Aires, Morropón, Chulucanas y Tambo Grande donde el cultivo tiene áreas donde se puede desarrollar óptimamente. Siendo el 3.09 por ciento de las zonas agrícolas dentro de la unidad hidrográfica.

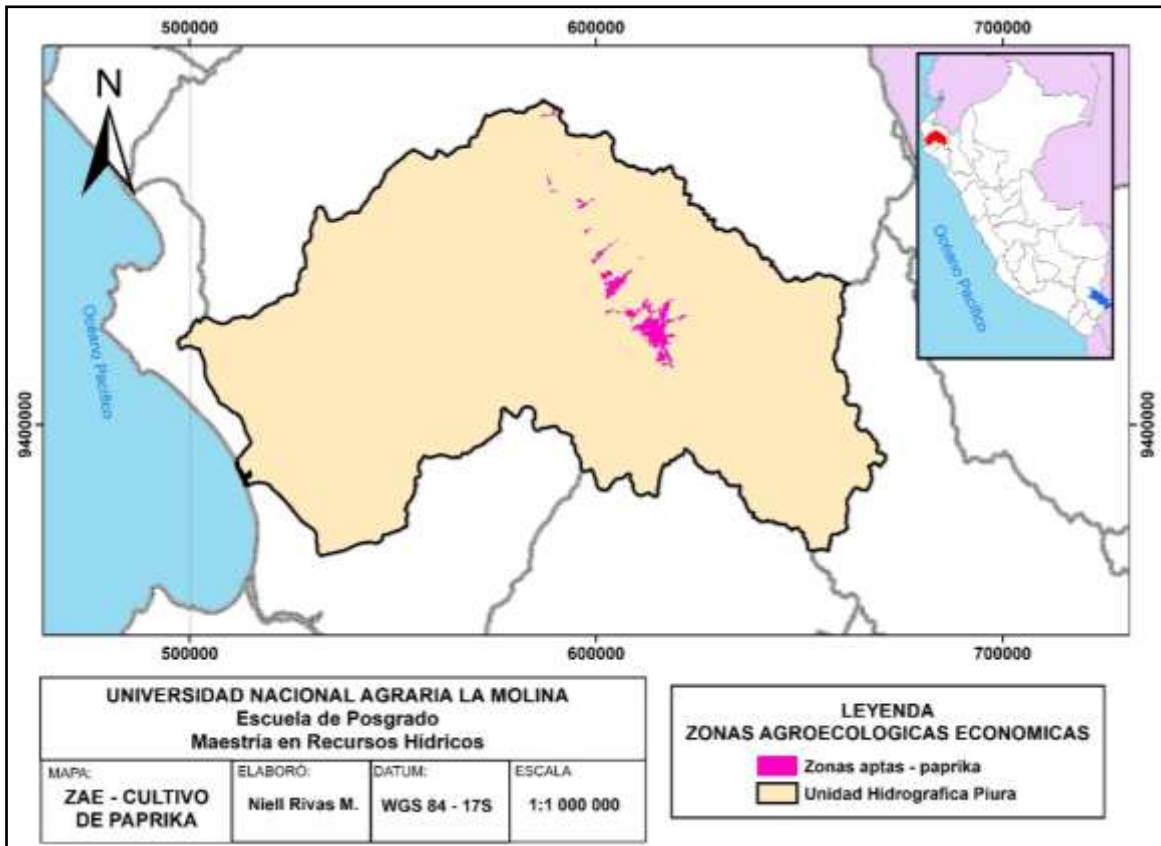


Figura 23: Mapa de zonificación agroecológica económicas para el cultivo paprika

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Zonas aptas para el cultivo limón

De los resultados obtenidos por la consulta SQL de todos los requerimientos agroecológicos económicos del limón, se obtuvo un área de 43 931.24 ha de zonas aptas, representa el 13.15 por ciento de las zonas agrícolas. Ubicados mayoritariamente en los distritos de Buenos Aires, Morropón, Chulucanas y Tambo Grande. Dichos distritos están en la parte alta de la unidad hidrográfica.

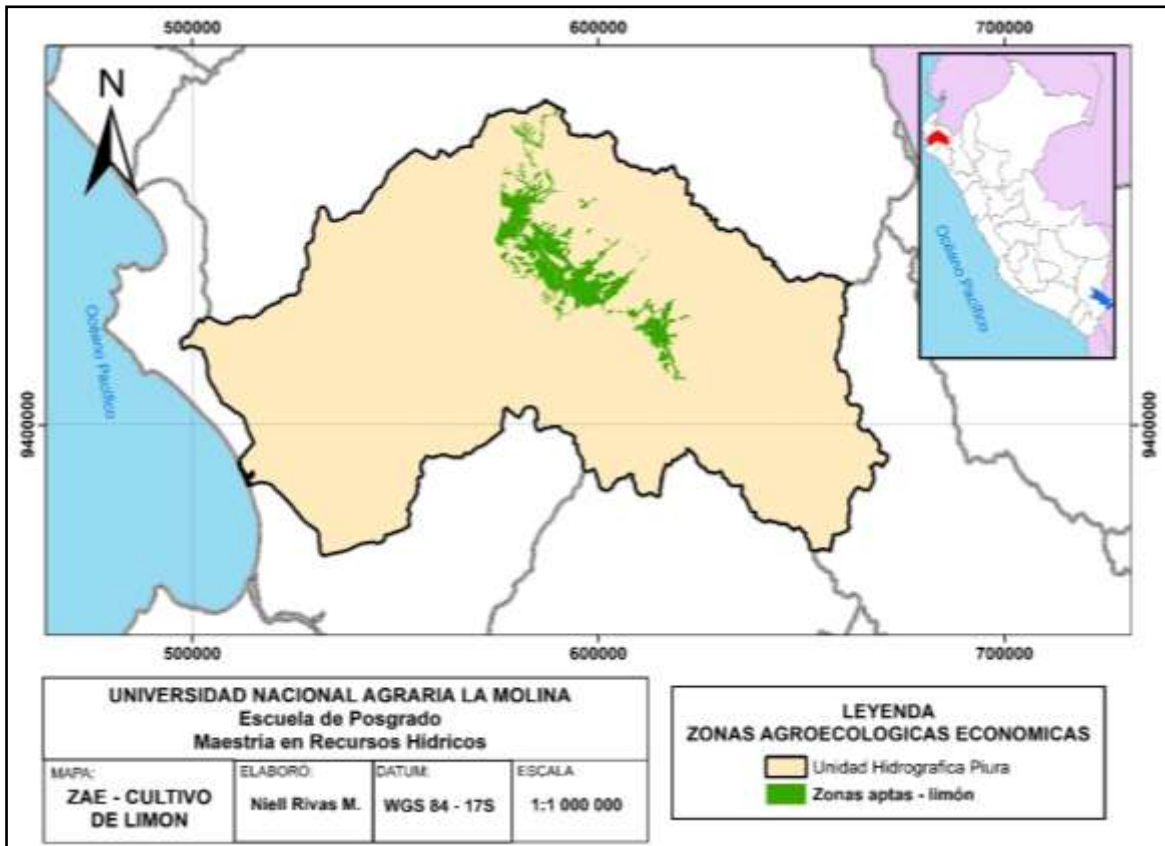


Figura 24: Mapa de zonificación agroecológica económicas para el cultivo limón

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Zonas aptas para el cultivo mango

La superficie apta para el cultivo del mango es el 18.05 por ciento de las zonas agrícolas (60 301.9 ha) de la unidad hidrográfica Piura. Dichas zonas óptimas están ubicadas mayoritariamente en los distritos de Buenos Aires, Morropon, Chulucanas y Tambo Grande.

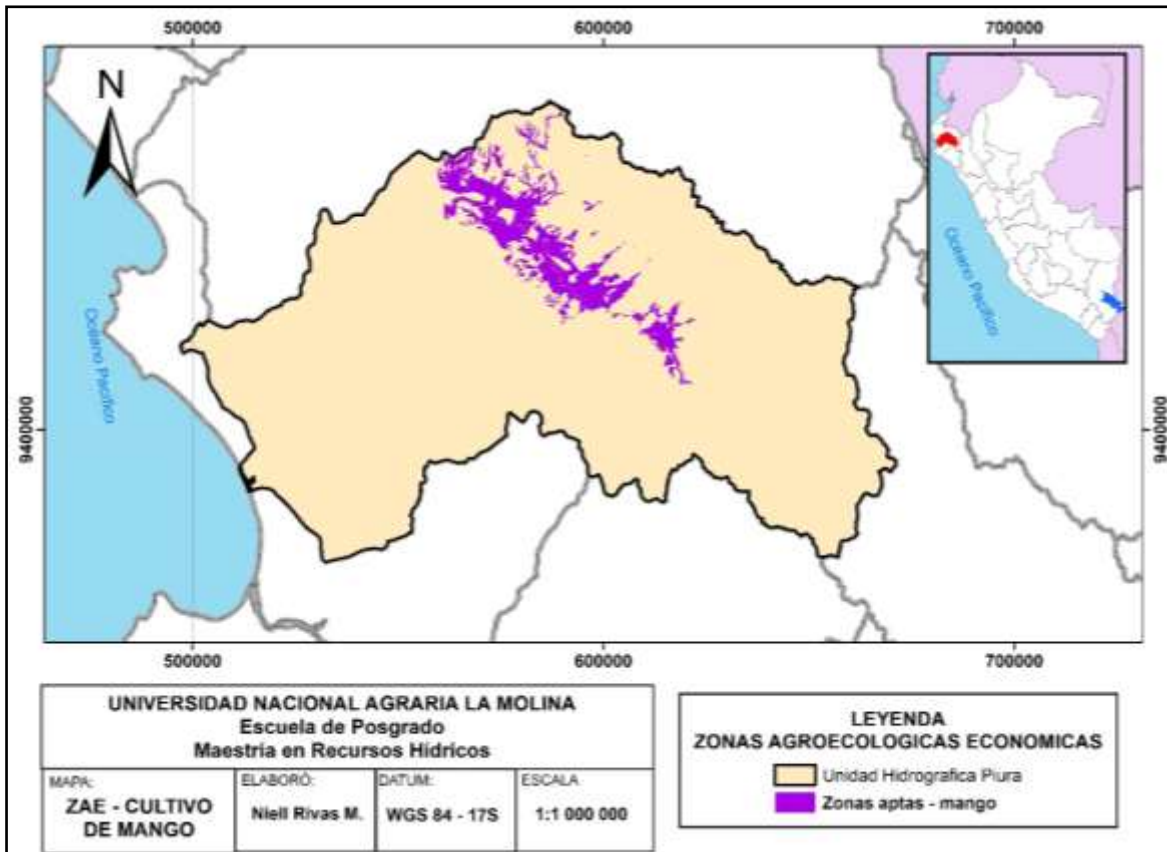


Figura 25: Mapa de zonificación agroecológica económicas para el cultivo mango

Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Zonas aptas para el cultivo maracuyá

El maracuyá solo adquiere una superficie óptima de 10 267.12 ha, que equivalen al 3.07 por ciento de las zonas agrícolas. Las zonas aptas para este cultivo se encuentran dispersas mayoritariamente en los distritos de Morropon, Buenos Aires, Chulucanas y Tambo Grande.

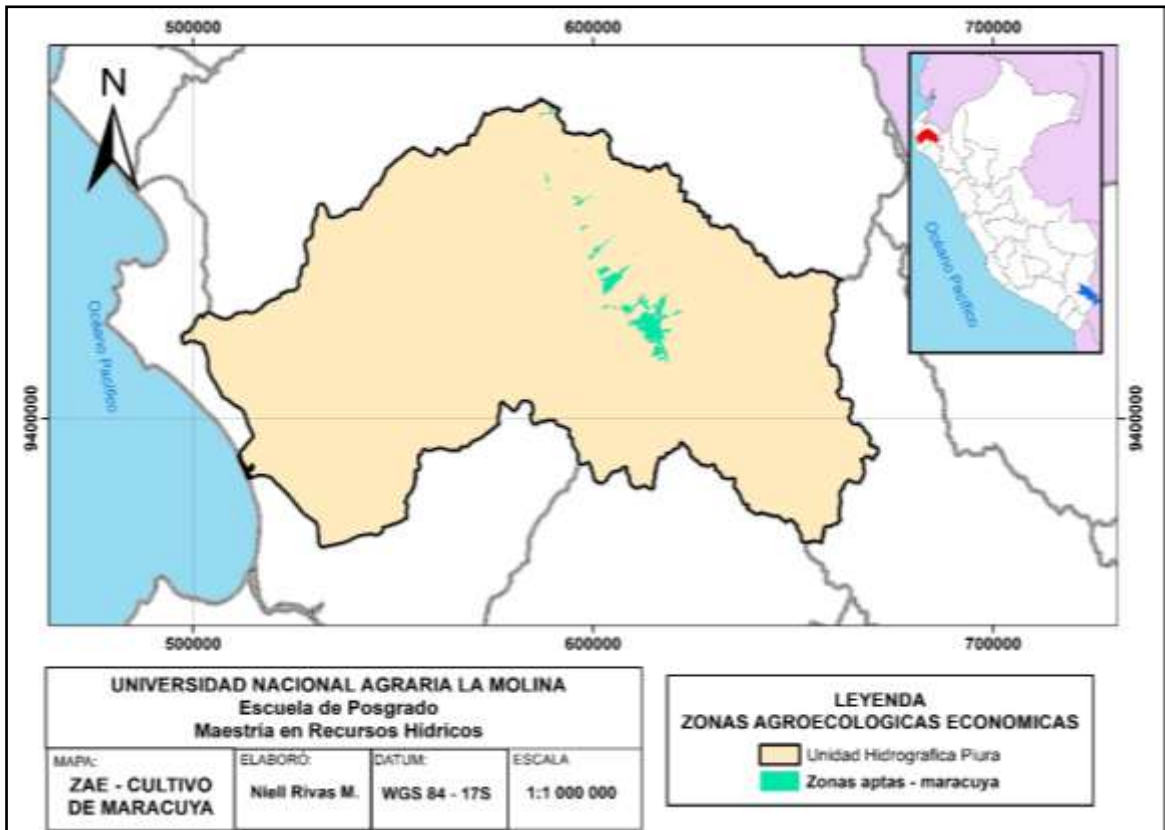


Figura 26: Mapa de zonificación agroecológica económicas para el cultivo maracuyá

Fuente: Elaboración propia

4.2.5. Zonas aptas para el cultivo uva

Con los datos obtenidos, el 1.36 por ciento de las zonas agrícolas (4548.76 ha) de la unidad hidrográfica Piura. Cumple con los requerimientos agroecológicos y económicos para el cultivo de la uva. Dichas zonas aptas se ubican mayoritariamente en los distritos de Morropon, Buenos Aires, Chulucanas y Tambo Grande.

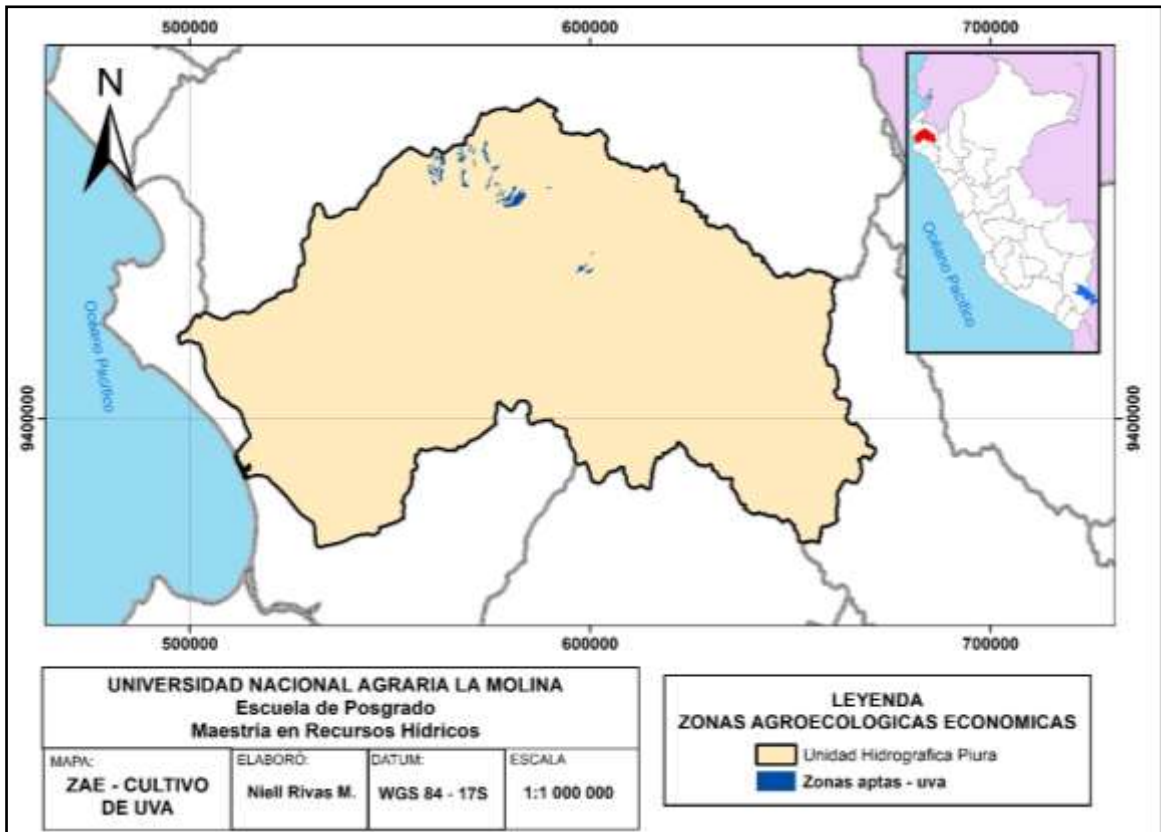


Figura 27: Mapa de zonificación agroecológica económicas para el cultivo uva

Fuente: Elaboración propia

V. CONCLUSIONES

- La unidad hidrográfica Piura que cuenta con una superficie de 1093010.7 ha, de la cual solo 331397 ha son zonas agrícolas. Es decir, un 30.31 por ciento de su territorio, se puede aprovechar para la actividad agropecuaria. Se estableció una metodología de zonificación agroecológica económica para la unidad hidrográfica; estableciendo áreas aptas o lugares con vocación natural para los cultivos de ají paprika, limón, mango, maracuyá y uva. Los cultivos estudiados alcanzaron extensiones en las zonas agrícolas de 10327.25 ha (3.09 por ciento) para el ají paprika, 43931.24 ha (13.15 por ciento) para el limón, 60301.9 ha (18.05 por ciento) para el mango, 10267.12 ha (3.07 por ciento) para el maracuyá y 4548.76 ha (1.36 por ciento) para la uva.
- Se construyó una base de data geoespacial, integrando y analizando la información primaria y secundaria, análoga y digital.
- Considerando la integración de las variables en el modelo, se pueden identificar la disposición edafológica (pendiente y suelos), la disposición climática (precipitación total media multianual y temperatura media), y la caracterización socioeconómica (centros poblados, red vial, IDH, pobreza y uso actual) como un modelo integrado, que tiene sus respectivos atributos principales, rangos, intensidades, etc.
- Se generó un model builder para automatizar las zonas óptimas donde cualquier cultivo puede idealmente desarrollarse y ser más productivo, porque la disponibilidad climática, edafológica y aspectos socioeconómicos son los más adecuados. Estas exigencias no condicionan a que dicho cultivo no pueda ser plantado en otros sitios con condiciones y requerimientos parecidos, aunque su productividad se vea reducida o seguramente no mantengas los adecuados planes de conservación y protección.

VI. RECOMENDACIONES

- Los mapas conseguidos en el proceso metodológico son herramientas de ayuda que facilitarían la toma de decisiones que deberían ser manejadas por quienes les concierne la elaboración de los planes de ordenamiento y desarrollo agropecuario.
- Considerando los resultados del presente trabajo de investigación del análisis de las variables edafológicas, climáticas y socioeconómicas, se recomienda realizar estudios a mayor detalle, con la finalidad de aumentar un nivel de confianza de los resultados obtenidos y que a la vez confirme su validez.
- Es necesario desarrollar más investigaciones de zonificación agroecológica económica en cultivos distintos a los analizados que posiblemente puedan brindar mayores beneficios para los agricultores, o que sirva para aquellos cultivos que exigen de una dirección de reordenamiento acorde a sus características agroecológicas económicas.
- Se deberían implantar o buscar nuevos procedimientos que permitan obtener las áreas de influencia (buffer) correspondiente a las variables de centros poblados y red vial, que aseguren mayor eficacia y a la vez estén vinculadas con el entorno específico de la unidad hidrográfica.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, V.J. 2016. Modelamiento geoespacial GOTA para determinar las zonas con mayor vulnerabilidad a la inseguridad hídrica en la cuenca del río Piura. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Barredo, J.I. 1996. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio. Madrid. Ra-Ma. 264 p.
- Barreira, E.A. 1974. Fundamentos de edafología para la Agricultura. Argentina. Hemisferio Sur. 154 p.
- Bernhardsen, T. 1999. Geographic Information Systems: An Introduction. 3th ed. New York, EE.UU. Wiley. 392 p.
- Burrough, P.A. 1986. Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment. New York. Oxford University Press. 206 p.
- Cifuentes, H. 2006. Aproximación para la zonificación y el ordenamiento territorial en Colombia. Santa Fé de Bogotá, Colombia. 65 p.
- Costa, D.C. 2007. Introducción al diseño de base de datos. Disponible en http://ocw.uoc.edu/computer-science-technology-and-multimedia/bases-de-datos/bases-de-datos/P06_M2109_02150.pdf
- Date, C.J. 2001. Introducción a los sistemas de base de datos. Trad. S Ruiz; S Kourchenko. 7ma ed. México. Pearson Educación. p. 1-438.
- Escobar, F. 1997. Introducción a los SIG. Department of Geomatics, The University of Melbourne.

- Environmental Systems Research Institute (ESRI). 2012. ¿Qué es ArcGIS?. EE.UU. Disponible en http://downloads.esri.com/support/whitepapers/ao_/whatis-arcgis-spanish.pdf
- Elmasri, R.; Navathe, S.B. 2007. Fundamentos de Sistemas de Base de Datos. 5ta ed. España. Pearson Educación. p. 3-48.
- Fallas, J. 2010. Métodos de levantamiento y análisis de datos. Posgrado en Gestión de Área Protegidas y Desarrollo Ecorregional UCI.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1997. Zonificación agro-ecológica. Guía general.
- Fernández, F. 1995. Manual de climatología aplicada. Clima, medio ambiente y planificación. Madrid, España. Editorial Síntesis. 288 p.
- Guerrero, R. 2012. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica en la Zonificación Agroecológica Económica como herramienta para el Ordenamiento Territorial: Caso de aplicación en la provincia de Sucumbíos. Tesis de Maestría. Quito, Ecuador. Universidad San Francisco de Quito. 121 p.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 1995. Conceptos Básicos sobre Sistemas de Información Geográfica y Aplicaciones en Latinoamérica. Santa Fe de Bogotá, D.C, Colombia. Graficas Colorama. 100 p.
- Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). 1998. Manual N°1. Manual para la zonificación ecológica y económica a nivel macro y meso. Iquitos, Perú.
- Instituto de Promoción para la Gestión del Agua (IPROGA). 1996. Metodología para la elaboración de planes maestros de cuencas. Disponible en http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/metodologia_planes_maestros/metodologia_elaboracion_planes_maestros_cuencas.pdf

- Jiménez, D. 2013. Tecnología SIG en apoyo al análisis y desarrollo metodológico de riesgos ocasionados por fenómenos naturales para el cantón Mejía, Provincia de Pichincha, Ecuador. Tesis de Maestría. Quito, Ecuador. Universidad San Francisco de Quito. 135 p.
- Lobocom Sistemas. s.f. Manual de SQL: Introducción. Recuperado de <https://www.lobocom.es/post/257/manual-sql>
- Morales, A. 2001. Base de Datos Geográficos para el Soporte de Toma de Decisiones en la Zona del Volcan Popocatepetl. Lic. En Ingeniería en Sistemas Computacionales. México. Universidad de las Américas Puebla. 126 p. Disponible en http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lis/morales_x_a/portada.html
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. 2002. Plan de gestión de la oferta de agua en las cuencas del ámbito del proyecto Chira-Piura.
- Portugues, M. 2011. Fundamento teórico-practico de percepción remota y sistema de información geográfica. Facultad de Ingeniería Agrícola, Departamento Académico de Recursos Hídricos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Rodgers, K. 1993. Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente. Organización de Estados Americanos. Washington, D.C.
- Rodríguez, A. 1993. Que es un SIG. ETISIG CHACO. Argentina
- Rodríguez, M. 2007. Apuntes del curso Introducción a Base de Datos. Universidad de Concepción, Chile. Disponible en <http://www.inf.udec.cl/~andrea/cursos/Database/introduccion.pdf>
- Sánchez, J. 2004. Diseño conceptual de bases de datos: guía de aprendizaje. Disponible en <http://www.jorgesanchez.net/bd/disenioBD.pdf>

- Santiago, L. 2013. Modelamiento a través de un SIG para la zonificación agroecológica de los principales cultivos (papa, maíz, brócoli, cebolla blanca, cebada y pasto) dentro de la parroquia de Alóag. Tesis de Maestría. Quito, Ecuador. Universidad San Francisco de Quito. 109 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2013. Requerimientos agroecológicos de los cultivos. México.
- Sevillano, G. 2010. Levantamiento geopedológico de la cuenca baja del río Guayas – Ecuador con aplicación del enfoque sistémico. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Quito, Ecuador
- Siachoque, R. 2002. Zonificación agroecológica y vocación de uso de las tierras colombianas. Santa Fé de Bogotá, Colombia.
- Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica – Sistemas de Información Nacional de Agricultura, Acuicultura y Pesca (SIGTIERRAS-SINAGAP. 2012. Memoria Técnica - Valoración de Tierras Rurales – Cantón Riobamba. Quito, Ecuador.
- Universidad Mayor de San Simón (UMSS). 2007. Fundamentos principales de los sistemas de información geográfica. Cochabamba, Bolivia.
- United States Department of Agriculture (USDA). 1998. Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Laboratory Information Manual. National Soil Survey Center, Soil Survey Laboratory, Soil Survey Investigations Report 45.
- Universidad de Fasta. 2012. Diseño de bases de datos. Buenos Aires. (diapositivas). 16 diapositivas. (Serie Módulo de curso: PC05-MS Access 2010). Universidad de Fasta, Departamento de Informática. Disponible en <http://www.ufasta.edu.ar/wpcontent/uploads/04-Dise%C3%B1o-de-bases-de-datos.pdf>
- Valenzuela, G. 1989. Que es un SIG y sus alcances. Revista Mapa y mapas. Argentina

Vásquez, A. 2000. Manejo de cuencas Altoandinas. Tomo I, capítulo IV: Conservación de suelo en el Manejo de Cuencas. Capítulo I: Elementos básicos sobre cuencas hidrográficas. Perú. p. 26.

Zamora, G. 2009. Manual de ArcGis 9.x: Básico e Intermedio. CEPEIGE. Quito, Ecuador

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Nivel de IDH por distritos de la unidad hidrográfica Piura

DISTRITO	IDH	RANGO	AREA (Ha)	Nivel
PIURA	0.536	Muy Alto	19441	1
CASTILLA	0.555	Muy Alto	65086	1
SULLANA	0.486	Muy Alto	5047	1
PAITA	0.533	Muy Alto	159	1
CRISTO NOS VALGA	0.342	Alto	26292	2
RINCONADA LLICUAR	0.448	Alto	1984	2
BERNAL	0.393	Alto	7111	2
BELLAVISTA DE LA UNION	0.423	Alto	1376	2
VICE	0.355	Alto	14924	2
SALITRAL	0.349	Alto	56608	2
LA UNION	0.425	Alto	30169	2
BUENOS AIRES	0.372	Alto	24744	2
CATACAOS	0.414	Alto	108841	2
MORROPON	0.412	Alto	17209	2
CHULUCANAS	0.377	Alto	83479	2
MIGUEL CHECA	0.422	Alto	13331	2
LA HUACA	0.435	Alto	9939	2
TAMBO GRANDE	0.401	Alto	144009	2
SECHURA	0.423	Alto	39784	2
EL TALLAN	0.306	Medio	10008	3
CURA MORI	0.271	Medio	21548	3
LA ARENA	0.307	Medio	16972	3
SAN JUAN DE BIGOTE	0.307	Medio	25030	3
CANCHAQUE	0.251	Medio	31131	3
LA MATANZA	0.247	Medio	101658	3
VEINTISEIS DE OCTUBRE	0.328	Medio	7137	3
SANTA CATALINA DE MOSSA	0.323	Medio	8037	3
HUANCABAMBA	0.247	Medio	6515	3
CHALACO	0.247	Medio	14333	3
SANTO DOMINGO	0.287	Medio	18862	3
LAS LOMAS	0.328	Medio	6646	3
HUARMACA	0.146	Bajo	57055	4
SAN MIGUEL DE EL FAIQUE	0.209	Bajo	18025	4
SONDORILLO	0.162	Bajo	27	4
LALQUIZ	0.187	Bajo	14562	4
YAMANGO	0.229	Bajo	21157	4
FRIAS	0.154	Bajo	44652	4
PACAI PAMPA	0.126	Bajo	11	4
SAPILLICA	0.139	Bajo	25	4

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Nivel de % pobreza por distritos de la unidad hidrográfica Piura

DISTRITO	% POBREZA	RANGO	AREA (Ha)	NIVEL
BELLAVISTA DE LA UNION	20.6	Bajo	1376	1
VEINTISEIS DE OCTUBRE	16.25	Bajo	7137	1
PIURA	9.8	Bajo	19441	1
CASTILLA	16.3	Bajo	65086	1
LA HUACA	23.1	Bajo	9939	1
SULLANA	19.4	Bajo	5047	1
PAITA	20.1	Bajo	159	1
CRISTO NOS VALGA	33.4	Medio	26292	2
RINCONADA LLICUAR	25.8	Medio	1984	2
BERNAL	33.4	Medio	7111	2
VICE	33.4	Medio	14924	2
CURA MORI	31.9	Medio	21548	2
LA UNION	31.9	Medio	30169	2
LA ARENA	38.1	Medio	16972	2
BUENOS AIRES	30.6	Medio	24744	2
CANCHAQUE	35.1	Medio	31131	2
CATACAOS	31.9	Medio	108841	2
MORROPON	30.6	Medio	17209	2
CHULUCANAS	30.6	Medio	83479	2
MIGUEL CHECA	28.1	Medio	13331	2
TAMBO GRANDE	38.05	Medio	144009	2
SECHURA	25.8	Medio	39784	2
EL TALLAN	40.7	Alto	10008	3
SAN MIGUEL DE EL FAIQUE	43.1	Alto	18025	3
SALITRAL	40.1	Alto	56608	3
SAN JUAN DE BIGOTE	44.7	Alto	25030	3
LA MATANZA	38.7	Alto	101658	3
LALQUIZ	52.1	Alto	14562	3
SANTA CATALINA DE MOSSA	43.8	Alto	8037	3
HUANCABAMBA	43.5	Alto	6515	3
CHALACO	50	Alto	14333	3
SANTO DOMINGO	40.8	Alto	18862	3
LAS LOMAS	41.5	Alto	6646	3
HUARMACA	54.2	Muy Alto	57055	4
SONDORILLO	55.1	Muy Alto	27	4
YAMANGO	54.9	Muy Alto	21157	4
FRIAS	61.4	Muy Alto	44652	4
PACAIPAMPA	67.2	Muy Alto	11	4
SAPILLICA	62	Muy Alto	25	4

Fuente: Elaboración propia