

Zonificación agroclimática de la quinua y kiwicha en la cuenca del río Cañete, utilizando los sistemas de información geográfica

Agroclimatic zoning of quinoa and kiwicha in the basin of the Cañete river, using geographic information systems

Recibido: enero 14 de 2013 | Revisado: marzo 11 de 2013 | Aceptado: mayo 20 de 2013

WALTER GÓMEZ LORA
NOÉ ZAMORA TALAVERANO
CÉSAR CABREL LA ROSA
JOSÉ ROSALES VIDAL

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

ABSTRACT

The agroclimatic zonification of quinoa and amaranth requires knowledge of variables involved in crop physiology. These are : topography, land slope, temperature, precipitation and soil characteristics Class IV. We applied the zoning method integrating land units and designed the map of the basin, where the optimal level of quinoa and amaranth crop is in the altitude range of 2200-3500 m and slope of 0-15% identified one potential area of 1000 km². Regarding the temperature and precipitation was developed and isotherm map for these crops respective isoyets Andes where optimum temperatures for quinoa are 0 ° -12 ° C and 6 ° amaranth -10 ° C and a range of precipitation of 400-700 mm for the optimal values for irrigation by rain. After doing a vector analysis of the properly automated mapping, we integrated each unit of the thematic maps in order to zone potential agroclimatic areas for quinoa and amaranth crops, where quinoa has 290 Ha 290 ha and 117 has in marginal areas of the main river, which makes a total of 407 hectares and amaranth has a total of 681 hectares with potential for rain-fed irrigation.

Key words: zoning agroclimatic, quinoa, kiwicha

RESUMEN

La zonificación agroclimática de la quinua y kiwicha requiere conocer las variables que participan en la fisiología del cultivo. Estas son: la topografía, la pendiente del terreno, la temperatura, la precipitación y las características del suelo clase IV. Se aplicó el método de zonificación integrando las unidades del territorio y se diseñó el mapa de la cuenca, donde el nivel óptimo de los cultivos de quinua y kiwicha está en el rango de altitud de 2200 a 3500 msnm y pendiente del 0-15% identificándose un área potencial de 1000 km². En relación a la temperatura y precipitación se elaboró el mapa de isothermas e isoyetas respectivas para estos cultivos andinos donde las temperaturas óptimas para la quinua son de 0°-12°C y para la kiwicha de 6°-10°C y un rango de precipitación de 400 a 700 mm por los valores óptimos para el riego por lluvia. Luego de haber realizado un análisis vectorial de la cartografía y debidamente automatizada se integró cada unidad de los mapas temáticos con el objetivo de zonificar áreas potenciales agroclimáticas para cultivos de quinua y kiwicha, donde la quinua tiene 290 Ha y 117 Ha dentro de las áreas marginales del río principal, lo que hace un total de 407 Ha y la kiwicha tiene un total de 681 Ha con potencialidad para riego por secano.

Palabras clave: zonificación agroclimática, quinua, kiwicha

Artículo de Investigación. Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo. Universidad Nacional Federico Villarreal. Jr Iquique N° 127 Breña. Lima-Perú.
Correo electrónico: noeszt@yahoo.es

Introducción

La zonificación agroecológica es una de las primeras etapas del ordenamiento del planeamiento ambiental. Hoy es casi imposible imaginar un plano de gestión ambiental, de adecuación de las técnicas agrícolas o de monitoreo ambiental, en cualquier escala sin la utilización de la zonificación agroecológica, apoyándose en las técnicas de los sistemas de información geográfica. En el Perú, el aprovechamiento de las tierras de cultivo se realiza en su mayor parte sin conocer las potenciales del recurso suelo para determinado cultivo, lo que no permite aprovechar al máximo la productividad de los cultivos. La zonificación agroecológica representa, en estas regiones, la posibilidad de direccionar el proceso de ocupación territorial, respetando las potencialidades y las restricciones de los recursos ambientales.

Las proyecciones de la demanda de cultivos nativos y orgánicos en el mercado nacional e internacional es cada día mayor, pero existe una incapacidad para satisfacer este requerimiento que es más acentuada en la región andina que inclusive en los últimos años acusa un marcado descenso debido a la falta de apoyo de las políticas de gobierno y por la agresiva introducción de paquetes tecnológicos que no corresponden ni armonizan a las características fisiográficas, ecológicas del territorio andino. Por tanto, el presente trabajo pretende contribuir al aprovechamiento de las tierras existentes de la cuenca del río Pisco determinando las áreas potenciales para los cultivos de quinua y kiwicha mediante la zonificación agrícola apoyado por técnicas cartográficas, agrológicas y utilizando las herramientas técnicas de los sistemas de información geográfica.

Aldana y González (1999) en su estudio Aplicación de un sistema de información geográfica para planificar cuencas hidrográficas emplearon funciones de Superposición, operaciones de tabla y de redes en formatos vector y ráster (con celdas de 50m x 50m); además se trabajaron las funciones de álgebra de mapas y de superficie en formato ráster.

El proceso consistió en hacer un inventario edafoclimático de la cuenca hidrográfica, evaluando las condiciones actuales de pérdida de suelo, impedimentos agroclimáticos de las actividades productivas con los modelos USLE, escorrentía y balance hídrico. Luego se evaluó la aptitud y adaptabilidad de la cuenca ante los sistemas de producción seleccionados, en función de las características climáticas de la región, obteniendo las zonas de alta adaptabilidad edafoclimática y también se determinó las zonas que requieren protección boscosa para garantizar el equilibrio hídrico de la cuenca.

Los resultados fueron: mapa de prácticas de conservación recomendadas, mapas de balances hídricos mensuales para uso actual y propuesto, mapas de escorrentía mensual y anual para uso actual y propuesto, mapas de isoperíodos de crecimiento para uso actual propuesto, modelo digital de terreno de la zona de estudio, mapas de adaptabilidad edáfica y climática de 20 cultivos propuestos para el municipio, mapa de adaptabilidad final para uso del suelo con ubicación de reforestación, y uso de suelo agrícola con recomendaciones de prácticas de conservación para cada zona.

Para la zonificación agroclimática es necesario conocer las recomendaciones y criterios que presenta la Organización de las Naciones Unidas, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (1972). El Programa Hidrológico Internacional recomienda el balance hidrológico de las cuencas de los diferentes países, a fin de unificar las metodologías y estudiar las variables hidrometeorológicas que serán de utilidad a la planificación de recursos hídricos a nivel local y regional; y su incidencia en los peligros.

La Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo (FIGAE) ha desarrollado investigaciones del Balance hídrico de la cuenca del río Mala a través de los docentes Gómez, Cabrel y Zamora (2002) quienes determinaron las características hidrometeorológicas de la cuenca, su balance a nivel de microcuenas, así como también las características físicas e hidrometeorológicas de las microcuen-

cas. Asimismo determinaron sus excedentes y el déficit hídrico a fin de planificar alternativas de solución.

Del mismo modo, Pisconte y Florindez (1981) programaron el estudio de seis variedades de quinua en el campo experimental de Cajamarca, obteniendo de acuerdo a las variedades diferentes rendimientos, desde 2148 kg/ha (206 días) a 3680 kg/ha (193 días).

Tapia (1976) manifiesta que la quinua puede tolerar una sequía prolongada de tres meses pero crece menos de 40 cms.

Los cultivos de quinua y kiwicha son recursos de alto valor nutritivo que tienen características climáticas y ecológicas específicas para su desarrollo. En el Perú no se ha explotado la diversidad agroclimática con que se cuenta para zonificar áreas para estos cultivos a fin de mejorar y aprovechar al máximo el recurso clima, agua y suelo y por ende la ampliación de las áreas de los cultivos de quinua y kiwicha y asimismo el incremento de la productividad para mejorar la calidad de vida de la población.

¿Cómo es factible determinar la zonificación agroclimática con la ayuda de los sistemas de información geográfica para identificar áreas potenciales para la siembra de los cultivos de quinua y kiwicha?

El conocimiento de zonas con aptitud potencial para cultivos de quinua y kiwicha de la cuenca del río Cañete, posibilitará el aprovechamiento adecuado del espacio geográfico y por ende una mayor productividad.

El estudio se justificó por la extensión y la diversidad del territorio confrontada a una inadecuada ocupación del territorio en el Perú y se ha planteado como prioridad el planeamiento y el desarrollo racional de su espacio rural. Pero la dinámica económica y social ha sido de tal magnitud que los instrumentos tradicionales de planeamiento han demostrado su incapacidad de dirigir y controlar esos

procesos. La zonificación agroecológica ha sido considerada como el primer paso en la ocupación de áreas pioneras y también un instrumento interesante en el manejo de los recursos ambientales en regiones de agricultura tradicional.

Los Sistemas de Información Geográfica(-SIG) permitieron mejorar la calidad de muchos proyectos y procesos de zonificación, manejo y monitoreo, con una expresiva reducción de costos acompañados por una mejor precisión cartográfica y temática. En los últimos años el uso de los SIG aumentó mucho a nivel de instituciones gubernamentales y no gubernamentales. En la actualidad, a nivel nacional, regional, municipal y local, el rol de los SIG en trabajos de zonificación, manejo y monitoreo ambiental y agrícola se ha desarrollado de manera creciente.

Es importante porque la zonificación de áreas potenciales para cultivo de quinua y kiwicha facilitará la creación de base de datos de apoyo al ordenamiento ecológico de la cuenca del río Cañete. Esto permitirá realizar un manejo sustentable de los recursos naturales a partir de un conocimiento profundo de las potencialidades, así como su conservación con conocimiento previo. Los SIG son herramientas poderosas en la evaluación del impacto ambiental de las actividades agrícolas, y en la simulación de escenarios alternativos, articulados a banco de datos.

La cuenca del río Cañete es una de las pocas del Pacífico que cuenta con recursos hídricos importantes y que alimenta con recursos agrícolas y pecuarios a una gran urbe como es la ciudad de Lima. El objetivo general del estudio fue zonificar áreas potenciales agroclimáticas para cultivos de quinua y kiwicha, utilizando los sistemas de información geográfica. Los objetivos específicos fueron: a) establecer una base de información agroclimática para la cuenca del río Cañete, útil para propósitos de planificación de la agricultura. b) automatizar las variables climáticas de la cuenca del río Cañete. c) determinar los ma-

pas con aptitud agroclimática para cultivos de quinua y kiwicha.

Método

Muestra

El ámbito temporal fue el año 2011 cuando se realizó la investigación y la información hidrometeorológica utilizada corresponde a años hidrológicos característicos húmedo, medio y seco dentro del periodo 1980 al 2000.

El ámbito espacial de estudio fue la cuenca integral del río Cañete, considerando todos sus tributarios.

El universo estuvo constituido por la cuenca integral del río Cañete desde su nacimiento en la cuenca alta sobre los 5000 metros hasta la desembocadura en la cuenca del Pacífico.

Características de importancia de la unidad de análisis, son los factores físicos, climáticos y bióticos de la quinua y la kiwicha que definen el ámbito de la muestra que es probabilística en los factores climáticos y determinística en los factores físicos.

Materiales

- Material estadístico. Se recopiló información meteorológica de temperaturas medias, máximas y mínimas y asimismo los valores pluviométricos de los años hidrológicos húmedos medios y secos de las diferentes estaciones del ámbito de estudio que nos permitió utilizarlos para la zonificación climática en relación a los cultivos de la quinua y kiwicha.
- Material cartográfico. Se recopiló información cartográfica base y temática a diferentes escalas como son: mapa edafológico, ecológico, fisiográfico, etc. para su posterior análisis y comparación con los requerimientos edafoclimáticos de los cultivos.
- Equipos para análisis de información. Computadora Pentium para procesa-

miento de la cartografía, análisis estadístico y elaboración del informe e impresión de los mapas preliminares y finales del estudio.

- Plotter para la impresión de planos. Software de SIG (ArcGis, Autocad) para la automatización de cartografía raster a formato digital y composición cartográfica.

Instrumentos

Las técnicas de obtención de la información tanto recopilada en gabinete como en el campo corresponden a estaciones climatológicas y kit de muestreo de suelos a fin de obtener información relevante y consistente que nos permitan zonificar los cultivos.

- Instrumentos de georeferenciación GPS navegador Garmin 60 para la localización de las estaciones climatológicas y pluviométricas que nos permitan mapear.
- Kit de muestreo de suelo para determinar los parámetros físicos de las características del suelo.
- Aspirómetro que permite evaluar la temperatura máxima y mínima en diferentes puntos del ámbito de estudio a nivel diario.
- Termómetros de máxima y mínima que se encuentran en las estaciones meteorológicas del ámbito de estudio que evalúa los datos máximos y mínimos dentro del requerimiento de soportabilidad de las plantas a dichas temperaturas.
- Pluviómetros que miden la precipitación diaria y que constituyen el agua precipitada medida, requerida a nivel anual por el cultivo en condiciones para riego por secano.

Procedimiento

Con el fin de identificar y delimitar la información fue necesario conocer las características fenológicas de la planta y sus valores climáticos y edafológicos. Para ello se requirió utilizar una

serie de procedimientos que permitan utilizar los sistemas de información geográfica con los valores edafoclimáticos de los cultivos para llegar a una zonificación agroclimática. Se siguió el siguiente procedimiento:

1. Diseño de la investigación

Previo al diseño de la investigación se desarrolló una fase, el anteproyecto en el cual se definió los requerimientos de la investigación que consistieron en determinar los objetivos, productos, disponibilidad de tiempo y recursos financieros. Seguidamente se realizó la evaluación de la información, así también se tomó en cuenta los niveles de viabilidad de la investigación.

En la etapa del diseño de la investigación quedó definido el plan general, cronograma de actividades, presupuesto de costos, la orientación de la base de datos y el nivel de estudio.

1.1 Inventario y recopilación de la información espacial y numérico

Consistió en recabar, informes, reportes, mapas e imágenes, para propósitos de la zonificación de los cultivos, obteniéndose estos de las diferentes instituciones y por preparación propia:

- a. Mapa topográfico producido por IGN a escala 1:100 000.
- b. Mapa de suelos y pendiente elaborado por ONERM, a escala 1:100 000 en 1984
- c. Mapa de temperatura mínima media absoluta anual por elaboración propia a escala 1:700 000.
- d. Mapa de temperatura máxima media absoluta, elaboración propia 1:700000.
- e. Mapa de isoyetas (precipitación total anual), elaboración propia 1:700000.
- f. Información meteorológica de SENAMHI.
- g. Informes de diferentes autores de investigación realizados sobre cultivos andinos y metodológicos de zonificación agrícola.

1.2 Diseño y especificación de la base de datos

En primer lugar para llevar a cabo el desarrollo de esta etapa se tuvo que contestar interrogantes que se plantearon en la viabilidad de la investigación como ¿Qué tipo de información espacial y tabular se requiere?, ¿Con qué información se cuenta?, ¿Cuál será el método de ingreso de los datos?, ¿Qué problema se solucionará? y ¿Cómo se resolverá ahora?

También se tomó en cuenta los factores que influyen en el diseño de la base de datos. Entre los componentes primarios que se consideró en el diseño conceptual y físico de la base de datos tuvimos: capas temáticas, polígonos, líneas y puntos. Tablas de atributos y tablas de enlace a otras bases de datos, que consiste en el diseño tabular de los datos que se organiza con manejadores de base de datos relacionales creando archivos espacio y mantenimiento, modificación y protección. Anotaciones y diseño de la presentación de los resultados tanto gráfico y numérica. Se adaptó usar como herramienta de aplicación el SIG, que opera bajo el ArcGIS.

2. Etapa preliminar

Antes de la fase de producción se llevó a cabo un conjunto de tareas preparatorias:

2.1 Selección de la información

Etapa que consistió en evaluar la información recopilada a fin de determinar cuál es la más adecuada en términos de los objetivos de la investigación.

2.2 Preparación del mapa base

Con la información cartográfica recopilada se procedió a elaborar el mapa base con el fin de que el resto de mapas temáticos tengan la misma base cartográfica.

2.3 Elaboración de la información temática y numérica:

En vista que no se contaba con datos climatológicos completos se tuvo que actualizar y generar en algunos casos; así como también se acondicionó la información estadística a la base de datos. Se recopiló información cartográfica a escala 1:100000, en

la que se encuentra localizada físicamente la cuenca del río Cañete, siendo estas: la 24k, 24g, 25k, 251, 26k, 261, 27k y 271.

Esta cartografía según la ubicación del Perú a nivel mundial se encuentra en el sistema de coordenadas UTM, datum WGS 1984 y zona 18 como se detalla en la Tabla 1.

Tabla N° 1.
Cartas nacionales digitales

Cartas Nacionales (Escala 1: 100000)			
24k	Wgs84; Zona 18	241	Wgs84; Zona 17
25k	Wgs84; Zona 18	251	Wgs84; Zona 17
26k	Wgs84; Zona 18	261	Wgs84; Zona 17
27k	Wgs84; Zona 18	271	Wgs84; Zona 17

Fuente: Ministerio de Educación – INRENA

Se ha homogenizado la base de datos alfanumérica de cada uno de los elementos de la carta nacional a fin de no perder información en la unión de datos con software especializados. Con la información homogenizada se unieron los diferentes elementos de la carta nacional,

generando los archivos para la elaboración del mapa base de la cuenca del río Cañete.

Se generaron los archivos digitales que permitieron diseñar la cuenca, y son presentados en la Tabla 2.

Tabla 2
Archivos digitales en formato shape de la cuenca del río Cañete

Shapefile	Descripción
Rios.shp	Hidrografía
Curvas.shp	Curvas de nivel
Cotas.shp	Cotas de terreno
Lagos.shp	Lagunas
Islas.shp	Islas
Límite.shp	Divisoria de aguas de la cuenca
Carta100	Índice hojas a escala 1:100000.

Fuente: Elaborado por el grupo de investigación

Con estos archivos, se diseñó la cuenca del río Cañete, tomando en cuenta la divisoria de aguas. La delimitación se realizó en pantalla en forma manual; utilizando el programa de ArcGIS 10. Cabe resaltar que se han probado módulos que corren en las plataformas mencionadas que permiten la delimitación

automática de la cuenca, pero tienen discrepancias con la forma in situ en el terreno que se controla mucho mejor que de manera manual básicamente con la intención de unificar y acelerar el proceso de recopilación de información y coordinar los diferentes componentes ambientales de una base de datos de recur-

tos naturales. Se le conoce generalmente por método paramétrico (Integrated Parametric Units) y también como método de cribas.

2.4 Aplicación de unidades integradas de territorio (UIT)

Las unidades integradas de territorio son unidades de área producto de la técnica de integración de múltiples mapas temáticos en un solo mapa final. Este proceso es usado, frecuentemente, para integrar parámetros casi estables que tienen pocas alteraciones físicas -geomorfológicas en el tiempo, por ejemplo, para el presente caso se integra las características del suelo, pendiente y fisiografía del área de estudio. El mapa resultante es un conjunto de polígonos homogéneos que tiene las mismas características referidas anteriormente; dicho de otro modo los polígonos resultantes se diferencian unos de otros por uno o más de los parámetros considerados en la integración. Este proceso disminuye los problemas de costo, manejo y análisis de la información para las operaciones del SIG. Esta técnica fue desarrollada básicamente con la intención de unificar y acelerar el proceso de recopilación de información y coordinar los diferentes componentes ambientales de una base de datos de recursos naturales.

Se conoce generalmente por método paramétrico (Integrated Parametric Units) y también como método de cribas.

2.4.1 Proceso de integración temática

a. Elaboración de la plantilla

El proceso de integración se inició con la elaboración de la plantilla que es el mapa base que va a desempeñar un rol muy importante en el proceso de integración, desde la elaboración de la sobre puesta base y la corregida hasta la generación de las UIT. Este debe tener las siguientes características: a) Tics (puntos de referencia o de control), b)

Margen de 1.0 en partir de los Tics, c) Ríos de una y doble línea, d) Lagunas, embalses, represas, e) Centros poblados y vialidad (opcional) y f) Límite del área de estudio.

b. Elaboración de la sobrepuesta base (SB)

En esta tarea la información temática original es llevada a la escala de trabajo y luego esta información básica es editada utilizando el ArcMAP tomando como referencia el mapa base.

Este proceso se repite para cada uno de los parámetros a integrar obteniendo las siguientes capas: a) SB de Topografía (verde), b) SB de Pendiente (azul), c) SB de Suelos (rojo), d) SB de Isoyetas (negro). Esto se realizó con la finalidad de que al momento de hacer las correcciones en la siguiente etapa (SC), la superposición de mapas no lleve a confusión.

c. Elaboración de la sobrepuesta corregida (SC)

En esta etapa se trató de ajustar los límites de las unidades espaciales utilizando como referencia el mapa topográfico o geomorfológico. Se tomó decisiones sobre generalización o simplificación de polígonos, esto con apoyo de descripciones de las leyendas de cada parámetro así como de fotografías aéreas recientes e imágenes de satélite y con algunos elementos de criterio. Una vez concluido este proceso se codificó de acuerdo a las leyendas. El mapa superpuesto se trabajó a la escala de trabajo.

La sobrepuesta corregida una vez concluida es codificada y está lista para la siguiente etapa “ La elaboración de la UIT” sobrepuesta corregida una vez conducida.

d. Generación de las unidades integradas de territorio

Este mapa resulta de la superposición de los mapas de sobrepuestas corregidas (Figura 2).

Este proceso implica fusión manual de polígonos homogéneos, en el cual no se encuentran polígonos innecesarios que causen confusión. La integración se empieza seleccionando las sobrepuestas corregidas más confiables seguidas por los otros parámetros.

e. Numeración y codificación. Numeración de polígonos

El mapa de UIT es numerado en forma secuencial, esto se realiza de izquierda a derecha y de arriba-abajo. Cada número será un identificador de cada unidad o polígonos de características físico-geográfico.

f. Problemas que resuelve el mapeo de unidades integradas de territorio (UIT)

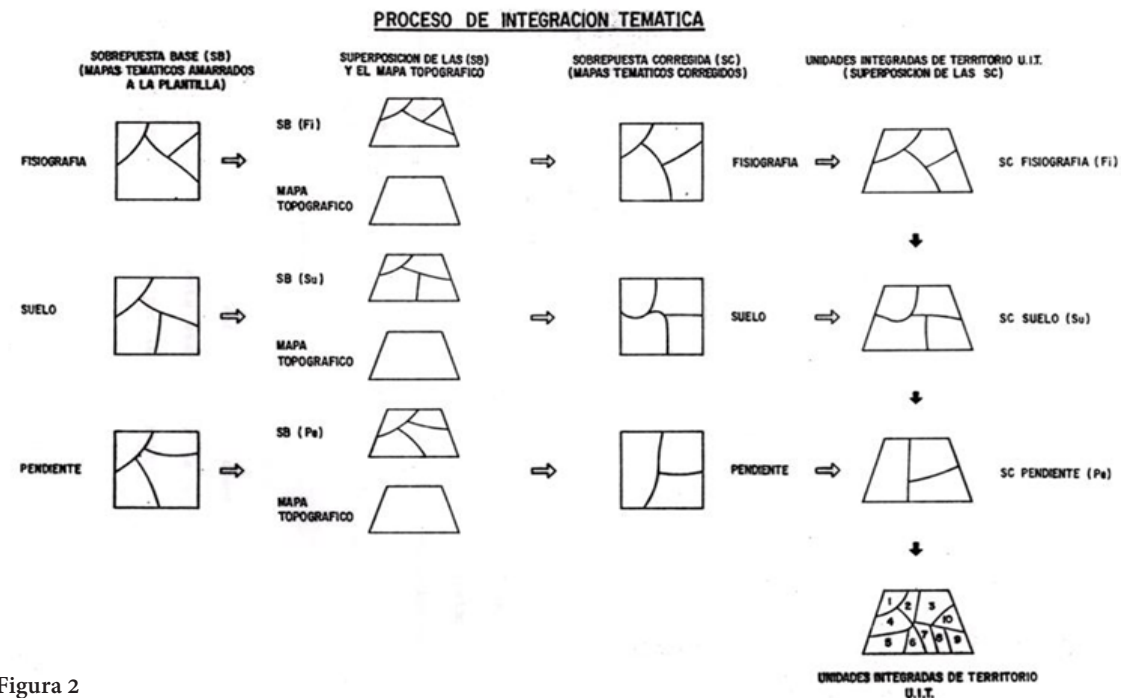


Figura 2
Proceso de intergración temática

- Problemas de información cartográfica, los mapas temáticos que tienen numerosos límites y atributos que están interrelacionados son graficados en formas independientes y realizados por diferentes especialistas. El solape o superposición de la información casi siempre ocasiona inconsistencias de clasificación y errores (Sliver) de tipo geométrico, al superponer dos o más mapas se crean poligonitos originados por el traslape de límites coincidentes que

muchas veces no coinciden exactamente. Esto se logra solucionar con el empleo de un mapa base único y de imágenes comunes, que ayudan a definir los límites de los polígonos correspondientes a cada variable integrada.

Los límites de polígonos reflejan cambios graduales, la línea que se presenta en el mapa es en realidad un límite abstracto y simplemente representa una zona de transición.

- Discrepancias por diferentes fuentes de información, escalas, etc. Toda la información preparada para la automatización es sometida a una segunda etapa de verificación de los datos de entrada y su actualización mediante la percepción remota y otras técnicas disponibles.
- Costo. Disminuye el tiempo de automatización, almacenamiento y análisis de la información. De esta forma se logra ahorrar espacio de memoria en el computador y el manejo es mucho más rápido y eficiente.

2.4.2 Automatización de la base de datos

Etapa que consiste en almacenar o concentrar todo tipo de información numérica como gráfica con que cuenta el ámbito de estudio con el propósito de facilitar el manejo tanto estadístico como espacial de los datos.

2.4.2.1 Digitación y digitalización

La digitación permite el ingreso de atributos de cada variable considerada. La digitalización consistió en convertir la información cartográfica a la forma digital, mediante la localización de elementos geográficos, transformando sus posiciones a una serie de coordenadas cartesianas (x, y).

Para la digitalización se utilizó el ArcMap que nos permitió almacenar la información a la computadora en forma vectorial (puntos, líneas y polígonos). Entre los parámetros digitalizados en forma integrada así como individual, tenemos: a) UIT: suelo, pendiente y fisiografía, b) curvas de nivel (topográfico), c) ríos, d) precipitación, e) temperatura mínimas absoluta y f) temperatura media mensual.

Para empezar la automatización es necesario contar con cuatro puntos de control

como mínimo por formato de hoja, la entrada de los polígonos, líneas, puntos y sus identificadores (etiquetas). Se llevó a cabo por los subsistemas de ARC/INFO y ARC/MAP, que va generar automáticamente la base de datos gráfica y numérica para cada variable. la base de datos se encuentra lista para el manejo y análisis y decisiones dentro la planificación agrícola.

2.4.2.2 Edición, corrección de errores

En el lapso de la digitalización se generan errores de áreas sobrantes. Todos los problemas se resuelven usando el módulo ARCMAP. Este proceso se realizó para cada uno de los mapas digitalizados.

2.4.2.3 Enlace de base de datos

Terminada la digitalización y corregida, se une las tablas de atributos a cada uno de los polígonos a través de los identificadores. Realizada esta etapa la base de datos se encuentra lista para el manejo, análisis y decisiones dentro de la planificación agrícola.

2.5 Determinación de los requerimientos edáficos y climáticos

Los requerimientos se establecieron tomando en cuenta las variables del análisis físico mecánicos y químicos de los suelos del área dados por ONERN en año 1984, para la zona alta andina.

Datos climáticos de SENAMHI, así como investigaciones y publicaciones de difusión de la Universidad del Cuzco, Universidad Agraria de la Molina, Universidad del Altiplano de Puno y el Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria, e Instituciones Privadas. Dentro de las variables de mayor importancia tomadas para el cultivo y fines del proyecto tenemos: textura, drenaje, temperatura mínima absoluta, precipitación, temperatura media, altitud, pendiente, fisiografía y capacidad de uso mayor de las tierras (Tabla 3).

Tabla 3*Requerimientos edáficos y climáticos de la quinua y kiwicha*

Variable	Quinua	Kiwicha
Profundidad Efectiva	80-150 cms	Profundo >50 cms
Drenaje	Pobre en terreno aluviales Buen drenaje en terrenos francos	Buen drenaje
Precipitación (mm) (Total anual)	400-700 (óptimo)	300-700 (óptimo)
Temperatura mínima absoluta (°C)	≥ -5 ≥ 2 (óptimo)	≥ 4 ≥ 8 (óptimo)
Temperatura media (°C)	0 -12 (óptimo)	6- 10 (óptimo)
Altitud(msnm)	2200-3500 (óptimo)	2200-3500 (óptimo)
Pendiente (%)	0 – 15 % (óptimo)	0–15% (óptimo)
Fisiografía	Terraza aluvial Terraza de andenerías	Terraza aluvial Terraza de andenerías
Clase de Suelo	IV	IV

Fuente: Suarez Olivares, Cirilo (1993). Adaptada

Caracterización de la cuenca

La cuenca del río Cañete tiene una extensión 6192 km². Se encuentra ubicada en la vertiente del Pacífico entre los paralelos 11°58' y 13°09' de latitud Sur y los meridianos 75°31' y 76°31', de longitud Oeste. Altitudinalmente, se extiende desde el nivel del mar hasta la línea de cumbres de la Cordillera Occidental de los Andes, que constituye la divisoria continental de las aguas y cuyos puntos más altos llegan hasta los años 5817 m.s.n.m. Por el norte colinda con la cuenca del río Mala, por el sur con la del San Juan, por el este con la del Mantaro y por el oeste con el Océano Pacífico.

El río Cañete tiene su origen en la laguna de Ticliacocha, la cual recibe las aguas de deshielos de los glaciares de la cordillera de Pichahuarco. En su nacimiento se dirige con rumbo al norte hasta llegar a la laguna Paucarcocha, después de la cual se dirige hacia el este y luego al sur hasta Ica, recibiendo en su curso superior el aporte de una serie de lagunas. Después de Vilca, el río se dirige al sur hasta Huancayo; de esta localidad a Catahuasi, el río corre con algunas variaciones con rumbo Sur-Oeste y después de un recorrido de aproximadamente 220 km, con una pendiente promedio de 2% desemboca en el Océano Pacífico, 12 km. al sur del puerto de Cerro Azul.

Por el origen de sus aguas, la capacidad de regulación, y el caudal mínimo garantizado la

capacidad de producción de energía firme del río Cañete es relativamente alta en comparación a otras cuencas con escorrentía de origen pluvial ubicadas en la vertiente del Pacífico.

Las lagunas ubicadas en la cabecera de la cuenca tienen un alto potencial de regulación y no presentan mayores problemas de sedimentación.

Otra de las características de la cuenca del río Cañete es su marcada diferenciación según su altitud en una cuenca seca y otra húmeda. La “cuenca húmeda” es la parte de la cuenca que contribuye a la escorrentía y está conformada por áreas situadas sobre los 2.500 msnm. (Con una superficie aproximada de 4933 Km.) y con una precipitación media anual de aproximadamente 320 mm.(Fuente: Estudio de la Hidrología del Perú).

Fisiografía

El relieve de la cuenca, presenta el aspecto típico de la mayoría de las unidades hidrográficas del Pacífico. Es alargada, de fondo profundo, ladera escarpadas y pronunciadas pendientes formadas por quebradas profundas y estrechas gargantas.

La parte superior de la cuenca presenta, por efecto de la glaciación, numerosos nevados, glaciales y lagunas (de las 336 lagunas con área de igual o mayor a 4 km² ubicadas en la

parte alta de la Cordillera Occidental y con un drenaje hacia el Océano Pacífico. La cuenca se encuentra limitada por cadenas montañosas cuyas cumbres muestran un rápido descenso de nivel. En la parte inferior de la cuenca, como resultado de la disminución brusca de la pendiente y de la velocidad del agua se ha producido la deposición de material aluviónico formando pequeñas terrazas.

De acuerdo a las características enunciadas la cuenca presenta dos zonas perfectamente diferenciadas: una zona montañosa que cubre aproximadamente el 95% de la superficie de la cuenca y un llano aluvial, localizado en la parte baja.

Hidrología

Hidrográficamente la cuenca del río Cañete tiene una longitud en forma de una "L". Nace en la laguna de Tecclacocha, aproximadamente a 4,600 msnm. Discurre a lo largo de diferentes tramos y pasa por diferentes localidades hasta llegar a la desembocadura en el Océano Pacífico, con un área de drenaje de 6,945.1 km² de la cual corresponde a su cuenca húmeda 4856 km², que se encuentra encima de los 2500 msnm.

Su régimen es irregular y torrentoso con marcadas diferencias entre sus parámetros extremos y con un promedio de 110 días de aporte de frecuencia de lluvias al año y con precipitaciones que varían entre los 400 mm y 900 mm.

La descarga máxima registrada ha sido de 850m³/seg. y la mínima de 5.80 m³/seg., con una media anual aproximada de 50.7 m³/seg. equivalente a un volumen medio anual de 1,599'301,569 m³. Es interesante destacar que la probabilidad de ocurrencia de caudales menores a los 8.00 m³/seg es de solo un 3%. Es notorio el alto grado de concentración de las descargas del río ya que el 69% de la masa total anual fluye durante los meses de diciembre a marzo, disminuyendo sensiblemente de junio a noviembre, período en el cual descarga

solo el 12% del volumen total. El rendimiento medio anual de la cuenca húmeda ha sido estimado en 329,300 k²/km².

Climatología

Los tipos climáticos presentes en la cuenca del río Cañete comprenden una secuencia gradual térmica desde el patrón semi-cálido hasta el frígido, evidenciado por un régimen de temperaturas cuyos valores promedio descienden en forma progresiva conforme es mayor la altitud. En la estación de Cañete la temperatura promedio anual es 19.8°C y la oscilación promedio anual comprendida entre los 14.4°C y 27.7°C. (Estudio Hidrológico Cañete "El Platanal").

Las temperaturas mensuales son bastantes regulares siendo algo mayores en los meses de noviembre a mayo. El rango máximo de oscilación de la temperatura media anual es de 7.3°C que corresponde a la diferencia entre el promedio mensual de 23°C en verano (febrero) y el de 16.3°C en invierno (agosto).

- **Evaporación**

El estudio hidrológico del "El Platanal", define la evaporación media anual de 3.2 mm/día presentándose los mayores valores en los meses de julio a agosto y los menores de febrero a abril.

- **Humedad relativa**

Este parámetro tiene un comportamiento de incremento de la humedad relativa a medida que nos acercamos al mar, en su cuenca media. En la estación de Yauyos el promedio anual es de 67% en la cabecera del valle, en la estación Pacarán la humedad relativa media es de 81% y a la altura del presente Claritas cercana a la desembocadura la humedad relativa es de 90%.

- **Precipitación**

La cuenca del río Cañete según el estudio de Hidrología del Perú tiene cuatro subregiones pluviométricas, cuyas precipitaciones medias anuales varían entre 600 a 900

mm para cuenca alta, 200-600 mm para la cuenca media y de 0-200 mm desde la cabecera de valle hasta la desembocadura.

- **Ecología**

Según los estudios realizados y reconocimientos efectuados por el ONER (INRENA) en la cuenca del río Cañete y de acuerdo a la clasificación de Leslie Hold, se han identificado las siguientes zonas ecológicas o zonas de vida:

- a. **Desierto Sub-tropical (D-ST)**

Se extiende desde el litoral hasta los 2500 msnm cubriendo un área de 1068 km². Presenta un clima muy seco y semi-cálido, con temperaturas promedios de 19.7°C. La precipitación promedio anual en la parte baja de la formación es de 27.9 mm, llegando en las partes altas, hasta los 200 mm. anuales.

- b. **Bosque seco-Montano bajo tropical (bs-MBT)**

Ocupan los valles mesoandinos, entre los 2500 y 3200 metros de altura. La biotemperatura media anual máxima es de 16.5°C y la media anual mínima es de 10.9°C. El promedio máximo de precipitación total por año es de 972.9 mm y el promedio mínimo de 449.3 mm. El relieve varía de suave a plano, propio de las terrazas de los valles interandinos, a inclinada, típico de las laderas que encierran a dichos valles.

- c. **Bosque Húmedo-Montano Tropical (bh-MT)**

Se distribuye a lo largo de la región cordillerana de norte a sur, entre 2800 y 3800 msnm y a veces llega hasta los 4000 metros de altitud.

La biotemperatura media anual máxima es de 13.1°C y la media anual mínima de 7.3°C. El promedio máximo de precipitación total por año es de 1,154 mm y el promedio mínimo de 498 mm. El promedio de evapotranspiración potencial total por año varía de 0.5 a 1 del volumen de precipitación promedio total al año.

El relieve es predominantemente empinado ya que conforma el borde o parte superior de las laderas que enmarca a los valles interandinos, haciéndose un tanto más suave en el límite con las zonas de páramo que presenta gradientes, moderadas por efecto de la acción glacial pasada.

- d. **Páramo muy húmedo-Subalpino (pmh-SaT)**

Se encuentra en las partes orientales de los andes de las zonas norte, centro y sur y entre los 3900 y 4500 msnm.

La biotemperatura media anual máxima es de 6°C y la media anual mínima de 3.8°C. El promedio máximo de precipitación total por año es de 1254.8mm, y el promedio mínimo de 584.2 mm.

La configuración topográfica está definida por áreas bastante extensas, suaves a ligeramente onduladas y colinadas, con laderas de moderado a fuerte declive hasta presentar en muchos casos afloramientos rocosos.

- e. **Páramo Pluvial-Subalpino Tropical (pp-SaT)**

Geográficamente se extiende a lo largo de la cordillera Central y Oriental, desde los 6°45' hasta 15°00' de latitud Sur y dentro de los 3900 y 4500 metros sobre el nivel del mar. El promedio máximo de precipitación total por año es de 1819 mm y el promedio mínimo de 1754. La biotemperatura media anual, estimada sobre la base del diagrama de Holdridge, varía entre 3°C y 6°C. La configuración topográfica es variada, desde suave colinado hasta quebrada.

- f. **Tundra pluvial-Alpino Tropical (tp-AT)**

Ocupa la franja inmediata inferior del piso Nival entre los 4300 y 5000 metros de altitud y a lo largo de la Cordillera de los Andes.

La biotemperatura media anual máxima es de 3.2°C. El promedio máximo de pre-

precipitación total por año es de 1020.2 mm y el promedio mínimo, de 687.9 mm. El relieve topográfico es, generalmente, accidentado variando a colinado u ondulado, este último, propio del modelaje glacial principalmente.

g. Nivel Tropical (NT)

Estos glaciales se extienden a lo largo de las crestas frías de los Andes generalmente arriba de los 5 000 metros de altitud.

La biotemperatura media anual, generalmente, se encuentra por debajo de 1.5°C. El promedio de precipitación total anual por año a menudo varía entre 500 y 1000 mm. La configuración topográfica es abrupta y está constituida por suelos netamente líticos, peñascosos o rocosos.

Resultados

En base a las cartas nacionales que se presentan en la Tabla 4, estas fueron homogenizadas para unir los diferentes elementos de la carta nacional que nos permitió elaborar el mapa base de la cuenca del río Cañete elaborando los archivos digitales en formas de shapefiles que se presentan en la Tabla 5. Esto nos permitió determinar la orografía de las diferentes cotas del terreno, donde se localiza las curvas de nivel entre el rango de 2200 a 3500 que corresponden al nivel óptimo de adapta-

ción de los cultivos andinos quinua y kiwicha que están señalados en la Figura 2 con un área de 965 km². Así mismo con esta información se determinó el mapa de pendientes en diferentes porcentajes del 0-15% del 15-30% y del 30% a más. También se identificó que el área que corresponde al 0-15% es de 1000 km² y que es en este nivel donde se adaptan los cultivos en mención.(Ver Figura 3).En relación a la temperatura con la información meteorológica existente se definió los valores que corresponden:

a. Temperatura media

En la Tabla 4 se tienen los valores de temperatura media para diferentes estaciones con su respectiva altitud, lo que nos permitió determinar la ecuación regional de temperatura media:

$$T = 36.3 - 0.0076 \times H$$

T: Temperatura media anual (°C)

H: Altitud (msnm)

En base a esta ecuación se diseñó el mapa de isotermas medias anuales. Se seleccionó los valores que están en el rango de temperaturas óptimas para la quinua es de 0°-12°C y para la kiwicha de 6°-10°C. Así mismo se observó que la variación de la temperatura en la cuenca es de 28°C al nivel del mar y de 0°C en la divisoria.

Tabla 4.
Temperatura media anual

Estación	Longitud	Latitud	Altitud	Temperatura
Carania	75° 52' 10"	12° 21' 00"	3825	7,5
Colonia	75° 53' 40"	12° 38' 05"	3379	10,8
Huangascar	75° 50' 00"	12° 54' 10"	2556	17,0
Huantan	75° 49' 00"	12° 27' 48"	3272	11,6
Pacaran	76° 03' 20"	12° 52' 20"	700	31,1
Siria	75° 44' 07"	12° 14' 10"	3680	8,6
Sunca	75° 42' 10"	12° 16' 30"	3845	7,3
Tanta	76° 01' 00"	12° 07' 48"	4323	3,7
Vilca	75° 49' 00"	12° 06' 45"	3816	7,5
Yauricocha 1	75° 42' 30"	12° 19' 00"	4522	2,2
Yauyos	75° 55' 00"	12° 27' 30"	2871	14,7
Yauricocha 2	75° 54' 00"	11° 58' 00"	4375	3,3

Fuente: Elaboración del Grupo de Investigación

b. Temperatura mínima

Se elaboró una ecuación regional representativa para el periodo fenológico de los cultivos de la quinua y kiwicha que está comprendido para los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril.

Definiendo la ecuación:

$$T_{min} = 16.3 - 0.00437xH$$

T: Temperatura mínima absoluta (°C)

H: Altitud (msnm)

En base a esta ecuación se construyó el mapa de isotermas mínimas absolutas, cuya variación es de 12 °C a nivel del mar y de -4°C en la divisoria.

c. Temperatura máxima absoluta

Siguiendo el procedimiento anterior se determinó la ecuación regional:

$$T_{max} = 31.23 - 0.00417H$$

T: Temperatura máxima absoluta (°C)

H: Altitud (msnm)

En base al cual se construyó el mapa de isotermas absolutas (Ver Mapa 08).

d. Precipitación

En base a la precipitación pluviométrica de las estaciones comprendidas dentro y fuera de la cuenca se determinó la ecuación regional de la relación precipitación y altitud, donde:

Tabla 5.
Precipitaciones para año seco y húmedo

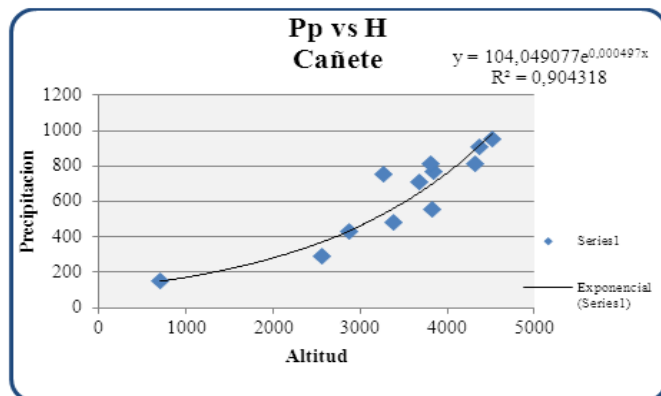
Estación	Longitud	Latitud	Altitud (m.s.n.m)	Precipitación Media Anual (mm/año)	Kadim-seco	Kadim-húmedo	Pp. Año Seco	Pp. Año Húmedo
Carania	75° 52' 10"	12° 21' 00"	3825	557,9	0,646	1,328	360,1	740,9
Colonia	75° 53' 40"	12° 38' 05"	3379	484,6	0,666	1,404	322,6	680,3
Huangascar	75° 50' 00"	12° 54' 10"	2556	287,8	0,642	1,544	184,8	444,3
Huantan	75° 49' 00"	12° 27' 48"	3272	755,8	0,667	1,422	504,1	1074,7
Pacaran	76° 03' 20"	12° 52' 20"	700	152	0,301	1,859	45,7	282,6
Siria	75° 44' 07"	12° 14' 10"	3680	712	0,655	1,353	466,1	963,0
Sunca	75° 42' 10"	12° 16' 30"	3845	766,9	0,644	1,325	493,9	1015,8
Tanta	76° 01' 00"	12° 07' 48"	4323	816,3	0,596	1,243	486,4	1014,9
Vilca	75° 49' 00"	12° 06' 45"	3816	813,9	0,646	1,329	525,9	1082,0
Yauricocha 1	75° 42' 30"	12° 19' 00"	4522	949,5	0,568	1,209	539,2	1148,4
Yauyos	75° 55' 00"	12° 27' 30"	2871	433,6	0,660	1,490	286,4	646,1
Yauricocha 2	75° 54' 00"	11° 58' 00"	4375	908,4	0,589	1,234	535,0	1121,4

Fuente: Elaboración del Grupo de Investigación

Precipitación media

$$Pp_{\text{medio}} = 104,049077e^{0,000497.H}$$

$$R^2 = 0,904318$$



En la Figura 3 se estableció una correlación los valores de precipitación media anual y las alturas de las estaciones pluviométricas, obteniéndose que la dispersión de los puntos tiene una tendencia exponencial y contribuye al diseño del mapa de Isoyetas.

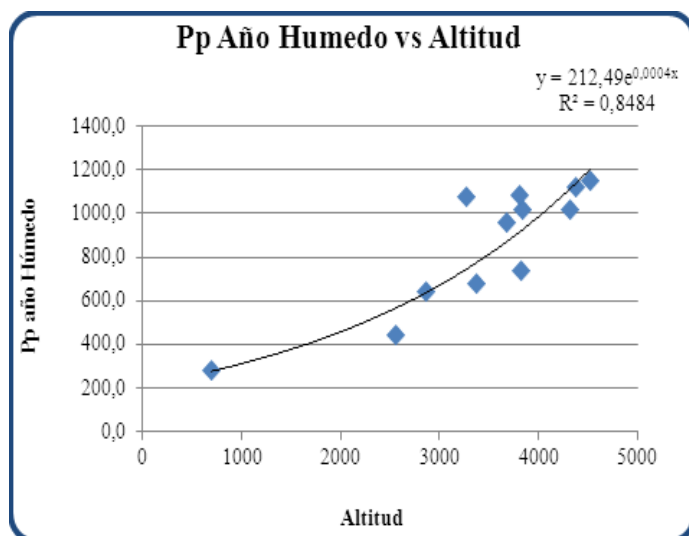
Fuente: Elaboración del Grupo de Investigación

Figura 3. Relación precipitación anual con altura

Precipitación año húmedo

$$Pp_{\text{húmedo}} = 212,48698e^{0,00038.H}$$

$$R^2=0,84844$$



En la Figura 4 se obtuvo las precipitaciones del año húmedo para la zona de estudio con el método de las constantes adimensionales obtenidas de cuencas con características fisiográficas y climáticas similares a la cuenca de Cañete. Esto permitió diseñar el mapa de Isoyetas para el año húmedo.

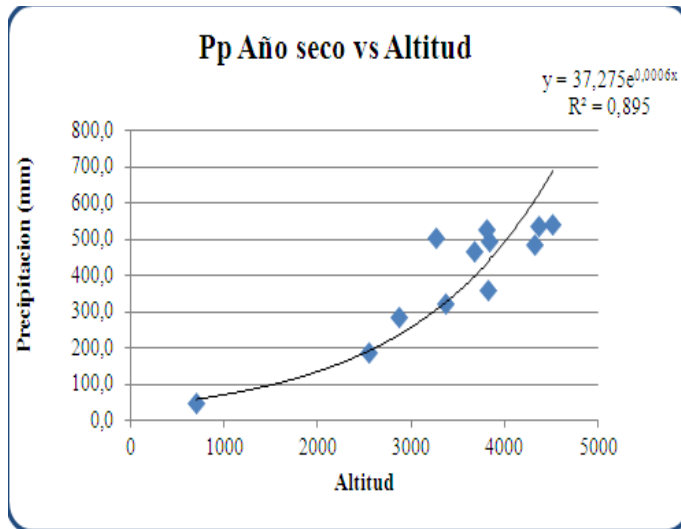
Fuente: Elaboración del Grupo de Investigación

Figura 4. Relación precipitación año húmedo generado con altura

Precipitación año seco

$$Pp_{\text{seco}} = 37.27540e^{0.00064.H}$$

$$R^2 = 0.89499$$



En la Figura 5 se obtuvo las precipitaciones del año seco para la zona de estudio con el método de las constantes adimensionales obtenidas de cuencas con características fisiográficas y climáticas similares a la cuenca de Cañete. Esto permitió diseñar el mapa de Isoyetas para el año seco.

Fuente: Elaboración del Grupo de Investigación

Figura 5.
Relación precipitación año seco generado con altura

El mapa de información de los valores medios comprendidas entre los 500 mm en el valle y 900 mm en la divisoria. Siendo el rango utilizado para la zonificación de las isoyetas entre 400 a 700 mm que es la lámina de agua requerida para un buen riego por lluvias para los cultivos de la quinua y la kiwicha

Suelos

Se utilizó la zonificación de suelos que proporciona la codificación del suelo donde se definen sus características y para el caso de nuestro objetivo dentro del área de zonificación, entre los rangos de altitud, temperatura se encuentra la zona IV, VII y VIII en conjunto, no están separadas cada zona, por lo que se asume que dentro del objetivo la zona IV, posee características de agri-

cultura intensiva con presencia de lluvias de 400 a 600 mm para riego por secano. El área definida es aproximadamente de 1255 km².

Zonificación agroclimática

Habiendo definido las variables de suelo, altitud, pendiente, precipitación, temperatura que están en el rango óptimo para el desarrollo de la agricultura para quinua y kiwicha se integraron estas variables, a través de la herramienta del sistema de información geográfica, que nos permitió vectorizar las unidades integradas del territorio óptimo de cada una de las variables, determinando el mapa de zonificación agroclimática de la quinua y kiwicha (Ver Figura 6). Se determinó que para la quinua se tienen 407 Ha y para la kiwicha 681 Ha.

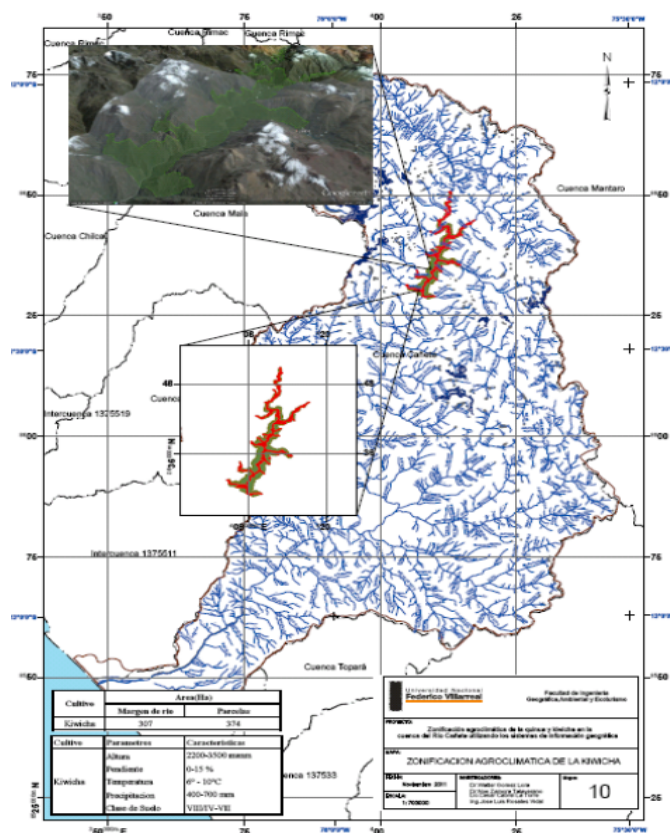


Figura 6. Mapa de zonificación de la kiwicha

Discusión

Para la zonificación agroclimática se utilizó la información específica que demanda el modelo agroclimático, eligiendo los parámetros suelo, pendiente, fisiografía, topografía, temperatura y precipitación según las características fisiológicas de las plantas en estudio y asignando a cada uno de estos parámetros los valores correspondientes en función a su mayor o menor relevancia. Todo esto sirvió para integrar y obtener las Unidades Integradas de Territorio (UIT) y crear el mapa de zonificación agroclimática para la quinoa y kiwicha en la cuenca del río Cañete.

Se debe resaltar que el área con aptitud alta para el cultivo de quinoa es de 290 Ha y para el cultivo de kiwicha es de 407 Ha, valores que son muy diferentes a los que obtiene Suárez (1993) para la cuenca de Pisco, debido a que las ponderaciones asignadas a las variables agroclimáticas son diferentes.

Para el caso de la cuenca de Cañete, que es el área de esta investigación, las variables son muy específicas y limitantes como la pendiente (0-15%) y los rangos de altitud (2200-3500 msnm).

Según los resultados obtenidos se determinó el mapa de aptitud para estos cultivos, tanto para riego por secano como riego por gravedad utilizando valores conservadores. Consideramos que ampliando los rangos de las variables de altitud y precipitación con la temperatura estos valores hubieran generado resultados con mayor área, por lo que se recomienda realizar una investigación específica usando tecnologías de imágenes satelitales de alta resolución para diferentes periodos.

En base a estos estudios se podrá mejorar la producción de estos cultivos andinos tradicionales en diferentes cuencas del país.

Referencias

- Aldana A. y González C. (1999). *Aplicación de un Sistema de Información Geográfica para planificar cuencas hidrográficas*. Recuperado de <http://proceedings.esri.com/library/userconf/latinproc99/ponencias/ponencia25.html>
- Gómez W. y Zamora N. (2002). *Balance Hídrico de la Cuenca del Río Mala*. Lima: Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo – Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (1990). *Informe Climático*. Lima.
- Manco J. y Florindez A. (1981). *Relación entre el Desarrollo de la Quinua y el Clima en el Valle de Cajamarca*, 21. *Encuentro Científico Internacional 2013 de Invierno, 31 de julio del 2013*.
- Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología (1983). *Estudio de la Hidrología del Perú*. Universidad Nacional de Ingeniería, 113. Lima.
- Suarez, C. (1993). *Aplicación del Sistema de Información Geográfica en la zonificación agroclimática de los cultivos Quinua y Kiwicha. Caso cuenca media y alta del río Pisco*. *Encuentro Científico Internacional 2013 de Invierno, 31 de julio del 2013*.
- Tapia, G. (1976). *La Quinua un cultivo de los Andes*. Academia Nacional de Ciencias de Bolivia. La Paz: Academia Nacional de Ciencias.