

DETERMINACION DE ZONAS POTENCIALES PARA CULTIVOS FRUTÍCOLAS  
EN LA REGIÓN TACNA, MEDIANTE SISTEMAS DE ANÁLISIS ESPACIAL<sup>4</sup>

*Miguel Ernesto Alva Huayaney*<sup>5</sup>  
*John James Beraun Chaca*<sup>6</sup>

**RESUMEN**

La zonificación agroecológica (ZAE) define zonas en base a combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas (FAO, 1997). Para esto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) mediante los Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial (SADE), son una herramienta que tiene una importancia fundamental en temas orientados al desarrollo agrario. Esto nos permite manejar las variables que representan al medio físico en donde se desarrolla esta actividad, tales como clima, suelo y recurso hídrico; cada uno de ellos se caracteriza por la variación espacial que presentan dentro del territorio. El clima es influenciado principalmente por la topografía del medio, el suelo puede considerarse como un recurso potencial y como una limitación para el desarrollo de los cultivos; finalmente el recurso hídrico se considera como una de las principales limitaciones dentro de la región Tacna, siendo analizada su influencia para los cultivos en función a su disponibilidad y a su calidad. Todas estas variables deberán estar espacializadas dentro del área de estudio para poder integrarlas en función a su grado de influencia para el buen desarrollo de los cultivos bajo estudio, puesto que actualmente las condiciones se presentan muy favorables para la región; sobre todo en momentos que nuestro país tiene Tratados de Libre Comercio con varios países que son mercados potenciales para determinados frutos en ciertas épocas del año.

La segunda etapa del Proyecto, comprende la modelación en SIG para evaluar potencialidades y limitaciones de los principales cultivos de la región, que tienen carácter de exportación, como son: melón y sandía; además de otras cucurbitáceas, orégano y cebolla de la región Tacna (Zonificación agroecológica). Esto consiste en formular cuatro submodelos, que son el físico-geográfico, el climático, el agroecológico, y el Hídrico, para luego integrarlos y formular la «Zonificación Agroecológica (ZAE)».

*Palabras clave:* SIG, ZAE, SADE.

---

<sup>4</sup> Este artículo fue presentado como ponencia en el X Congreso Nacional de Geografía y V Internacional de Geografía de las Américas, realizado en Trujillo del 5 al 7 de octubre, 2013.

<sup>5</sup> Geógrafo, Profesor de Geografía en la Escuela Académico Profesional de Geografía, Facultad de Ciencias Sociales, UNMSM. Correo electrónico: mealvah@gmail.com.com

<sup>6</sup> Geógrafo. Correo electrónico: johnberaun@gmail.com

## **Identification of Potential Zones to Fruit Agriculture in the Tacna Region, by Using Spatial Systems Analysis**

### **ABSTRACT**

The Agro-Ecological Zonation (ZAE) defines areas based on soil, physiography and climatic characteristic combinations (FAO, 1997). To do this, the Geographic Information Systems (GIS) by using the Help Systems for Spatial Decision (SADE) are a tool of fundamental importance in topics related to the agrarian development. This allows us to manage the variables of the physical environment where this activity is made, such as the climate, soil, and water; each one is characterized by the spatial variation of the territory. Climate is mainly influenced by the place topography; soil is considered as a potential resource but also as a hindrance to the cultigens' growth; water is considered as one of the main shortages for the Tacna Region, and its influence on crops is analyzed according to its availability and quality. All these variables should be spatialized within the study area to integrate them in function to its degree influence to the wealthy growth of crops, especially at present where there are very favorable conditions to the Region. This condition is accentuated because our country has Free Trade Agreements with several countries that are potential markets for some fruit.

The second part of the project covers the modeling in GIS to evaluate potentials and limitations of the main crops of the region for export: cantaloupe, water melon and other cucurbitaceous, oregano and onion of the Region Tacna (Agro-Ecological Zonation). This consists on the formulation of four sub models: physical-geographical, climatic, agro-ecologic and hydric, which are next integrated to formulate the Agro-Ecological Zoning (ZAE).

*Keywords:* GIS, ZAE, SADE

### **INTRODUCCIÓN**

La zonificación agroecológica (ZAE) 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.

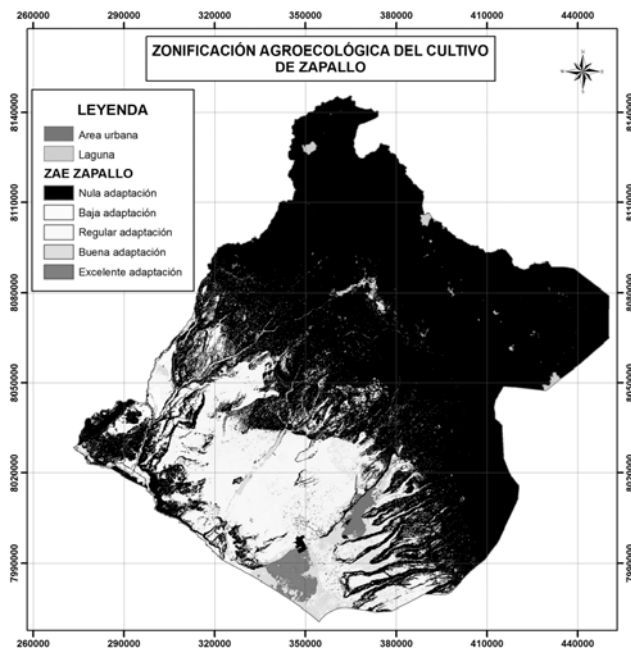
La agricultura en general es una actividad estrechamente relacionada con el clima, con las condiciones físico-geográficas, condiciones de suelo y la disponibilidad del agua. De manera más específica, conocer la cantidad de lluvia, la humedad, las temperaturas máximas y mínimas del ambiente, las horas de sol, 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 este sentido, durante el proceso de modelamiento de la zonificación agroecológica para los siete cultivos analizados se han utilizado cuatro submodelos teórico-cartográficos:

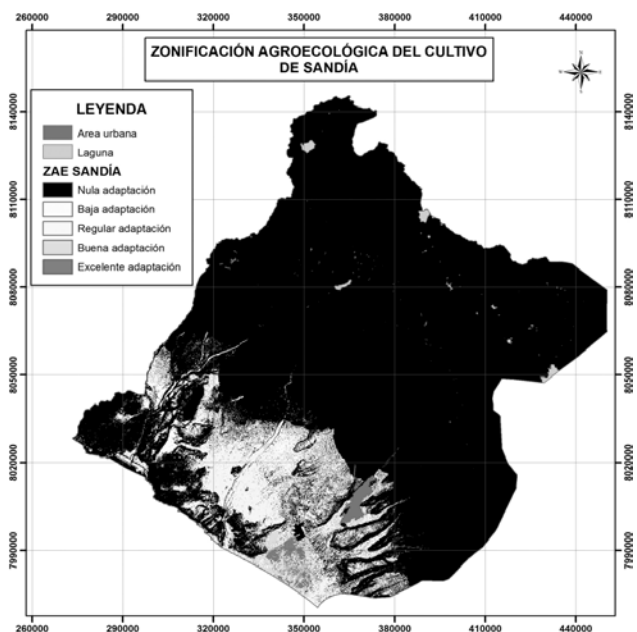
climático, agrológico, hídrico y físico-geográfico. La zonificación agroecológica se realizó para siete cultivos de la región Tacna con el fin de identificar las zonas óptimas y nuevas zonas con potencialidades de producción (ver Mapas 1, 2, 3, 4, 5). Los cultivos analizados son: zapallo, sandía, melón, cebolla, ají paprika, orégano y ají amarillo. Los tres primeros cultivos responden a las familias de las cucurbitáceas. El equipo técnico del proyecto «Fortalecimiento Institucional para el Desarrollo Agrario» (P-FIDA) ha proporcionado todos los insumos para el desarrollo del estudio y también las fichas técnicas de exigencias de cada cultivo.

Es importante mencionar que en las etapas desarrolladas se involucra a los sistemas de información geográfica (SIG). En todo el proceso de análisis espacial (SADE) se utilizó la geoestadística (Peña Llopis, 2006) para determinar estimaciones probabilísticas de la calidad de interpolación. Esta zonificación agroecológica se realizó mediante un procedimiento muy avanzado de modelamiento teórico-cartográfico ejecutado con el instrumento SIG: el Model Builder.

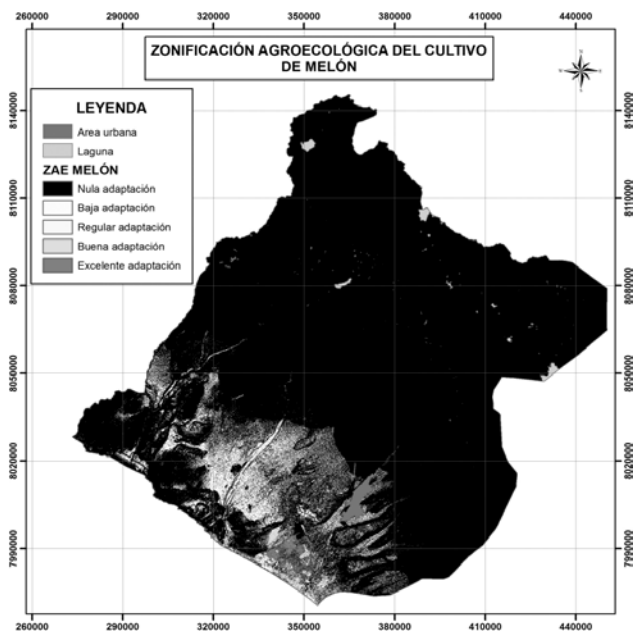
Este vínculo del SIG mediante los sistemas de ayuda a la decisión espacial (SADE) (Buzai & Baxendale, 2006) para la obtención de resultados concretos dentro de variadas alternativas, permitió identificar los espacios agrícolas de acuerdo a las potencialidades y limitaciones de los lugares, para finalmente caracterizar zonas estratégicas para la producción óptima de algunos principales cultivos de la región Tacna.



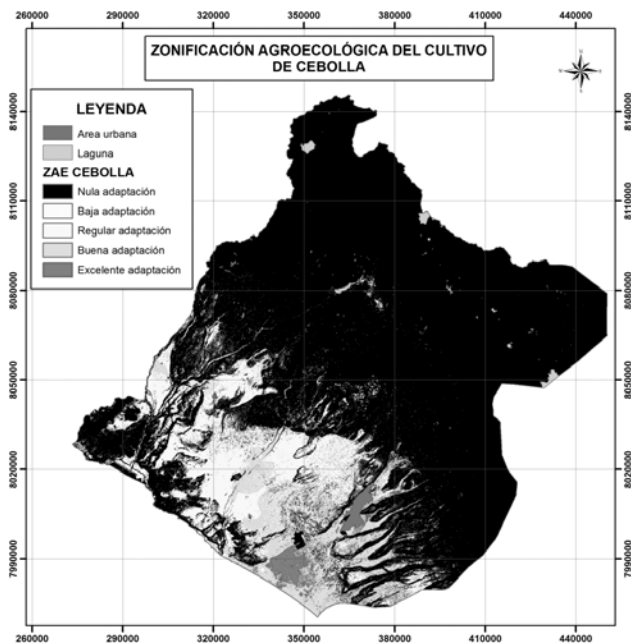
Mapa 1. Zonificación agroecológica del zapallo Fuente: Landsat. Elaboración propia.



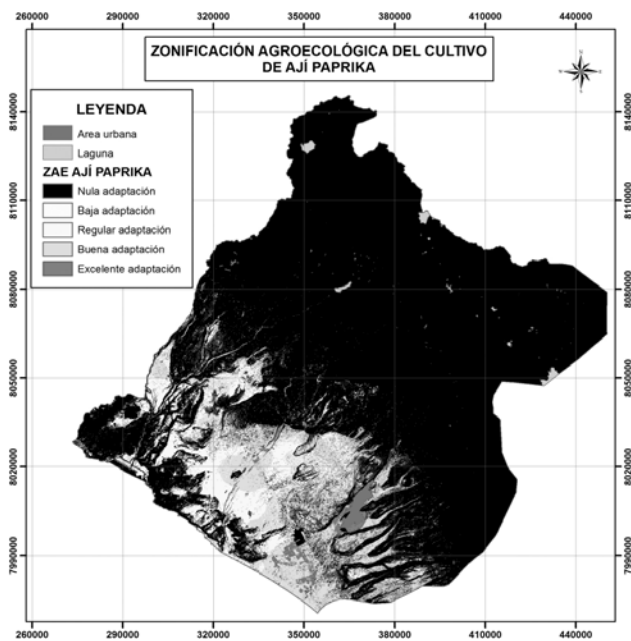
Mapa 2. Zonificación agroecológica de la sandía. Fuente: Landsat. Elaboración propia.



Mapa 3. Zonificación agroecológica del melón. Fuente: Landsat. Elaboración propia.



Mapa 4. Zonificación agroecológica de la cebolla. Fuente: Landsat. Elaboración propia.



Mapa 5. Zonificación agroecológica del ají paprika. Fuente: Landsat. Elaboración propia.

## **1. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS**

La existencia de nuevos espacios agrícolas se puede identificar mediante los sistemas de información geográfica y los sistemas de ayuda a la decisión espacial, y realizar una zonificación agroecológica.

## **2. MÉTODOS Y RESULTADOS**

Para el desarrollo de la presente investigación se hará uso de la geomática —también denominada tecnologías de información geográfica (TIG) (Tomlinson, 2008)— integrando la cartografía, la teledetección, la fotogrametría digital, los sistemas globales de navegación por satélite (GNSS) y los sistemas de información geográfica (SIG) con los sistemas de ayuda a la decisión espacial (SADE).

### *Fases*

#### a. Gabinete

1. Recopilación de bibliografía o investigaciones y trabajos realizados por diferentes instituciones relacionadas con la temática de estudio.
2. Recopilación de información cartográfica básica: Cartas Nacionales, imágenes satelitales y datos estadísticos.
3. Generación de modelos de implementación en un sistema de información geográfica. Comprende los modelos conceptual, lógico, físico y cartográfico así como los submodelos.
4. Integración de datos en la fase de modelamiento o análisis espacial.

#### b. Trabajo de campo

1. Toma de puntos de control con GPS para validar la calidad de los datos obtenidos (exactitud posicional).
2. Realización de itinerarios que nos permitan comprobar en campo los resultados obtenidos como parte de la identificación de las principales zonas potenciales.

### **2.1. Resultado final – análisis espacial**

La metodología empleada para el presente estudio, ha predominado el análisis espacial y el álgebra de mapas (que se realiza con el modelo de datos raster), cada submodelo tiene su propia estructura de modelamiento cartográfico y cada insumo de los submodelos se rasteriza y reclasifica asignándole ciertos valores o pesos.

Posteriormente teniendo cada submodelo terminado, se utiliza el Álgebra de mapas para sumar todos los submodelos que entraran como insumo para la zonificación agroecológica final.

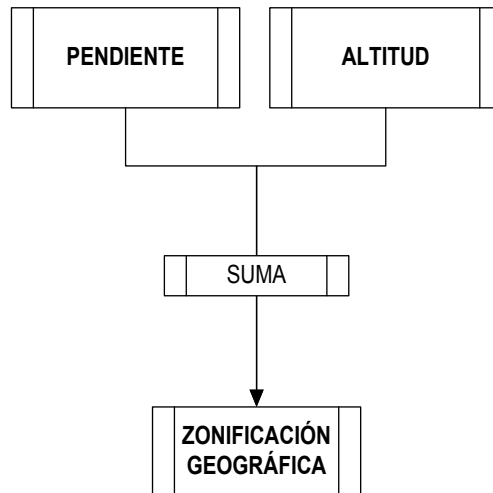
### 2.1.1. *Procesamiento y análisis espacial de información físico-geográfica (clasificación y modelamiento)*

Las variables de altitud y pendiente son las características en este submodelo. El modelo de elevación digital (DEM) de la fuente SRTM de la NASA, fue el que permitió elaborar el mapa de pendientes y el de altitudes a 25x25 metros de resolución (datos remuestreados, ya que originalmente se encontraban a 90 metros).

Antes de la aplicación del submodelo geográfico (observar Modelo cartográfico 1), se procedió a la reclasificación de todos los raster de las variables utilizadas y se les asignó valores que van de 0 a 3 de acuerdo a las «tablas de ponderaciones de variables».

Se asignó cero (0) a lugares que no cumplen con el requisito exigido por los cultivos y Uno (1), dos (2) o tres (3) a lugares que cumplen con exigencias óptimas de los cultivos. Posteriormente, en la ejecución del submodelo se sumó las variables altitud y pendiente para obtener como resultado los lugares que cumplen con las dos variables y se obtuvo finalmente un raster de zonificación físico-geográfica.

Modelo cartográfico 1. Submodelo físico-geográfico



### 2.1.2. *Procesamiento y análisis espacial de información climática (interpolación y modelamiento)*

Los componentes del clima se caracterizan por poseer una variación espacial y temporal, condicionada por distintos factores fisiográficos, como la altitud, la latitud, el relieve y la posición geográfica. Para este submodelo se usaron datos de estaciones meteorológicas disponibles para cuatro décadas (1970-2008) ubicadas dentro del ámbito de la región Tacna. Dichos datos históricos fueron llevados a un cálculo matemático para hallar la media anual de los doce meses de cada año y finalmente se procedió a

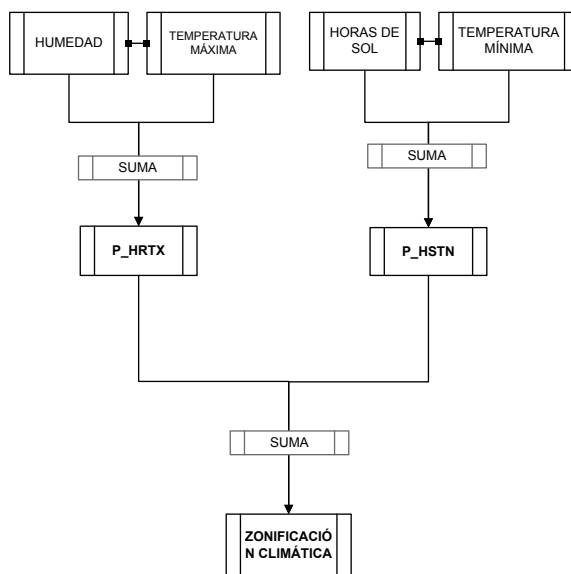
hallar la media de las cuatro décadas. A estos resultados de los principales parámetros climáticos (temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y humedad relativa) se interpolaron usando el método Inverse Distance Weighting (IDW), método de interpolación multivariada.

Antes de la aplicación del submodelo climático (observar Modelo cartográfico 2) se procedió a la reclasificación de los raster con variables climáticas y se les asignó valores de 0 a 3.

Se asignó cero (0) a los lugares que no cumplen con el requisito exigido por los cultivos y de uno a tres (1 a 3) a los lugares que cumplen con las exigencias de los cultivos.

Finalmente, ya en la ejecución del submodelo se suma todas las variables utilizadas para obtener como resultado los lugares que cumplen con todas las variables a la vez o con solo algunas de ella. El resultado final es un raster de zonificación climática.

Modelo cartográfico 2. Submodelo climático



### 2.1.3. *Procesamiento y análisis espacial de información suelo (interpolación y modelamiento)*

Los datos de suelo utilizados fueron de dos fuentes. Por un lado, información del Ministerio de Agricultura (Minag) a una escala mayor, el Estudio de capacidad de uso de suelo y; por otro lado, información puntual recopilada en campo a través de muestreos realizados por integrantes del proyecto en diferentes zonas dentro del ámbito de estudio.

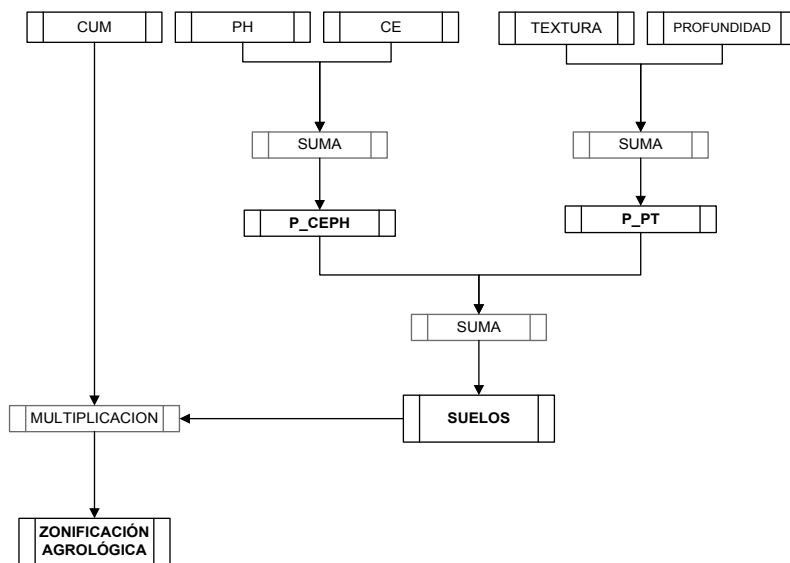
Todos los datos puntuales (pH, CE, profundidad y textura) fueron interpolados usando el método de interpolación IDW. Posterior a ello se ha generado superficies climáticas



para cubrir el territorio de la región Tacna. En el interpolador del Geostatistical Analyst se escogió el método IDW y se ha utilizado la opción de ocho vecinos cercanos con un tipo de sector radial para cubrir todas las posibles orientaciones y/o variaciones de relieve.

Antes de la aplicación del submodelo agrológico (observar Modelo cartográfico 3) se procedió a la reclasificación de todos los raster de las variables utilizadas y se les asignó los valores de 0 a 3. Cero (0) a los lugares que no cumplen con el requisito exigido por los cultivos y de uno a tres (1 a 3) a lugares que cumplen con las exigencias de los cultivos. Finalmente, en la ejecución del submodelo se suma todas las variables para obtener como resultado los lugares que cumplen con todas estas variables o con solo algunas de ellas. Adicionalmente el raster de CUM (capacidad de uso mayor), también se reclasificó con valores de 0 y 1. Finalmente el resultado de la suma de las variables se multiplica con el raster de CUM para obtener un ráster final de zonificación agrológica.

Modelo cartográfico 3. Submodelo agrológico



#### 2.1.4. Procesamiento y análisis espacial de información hídrica (interpolación y modelamiento)

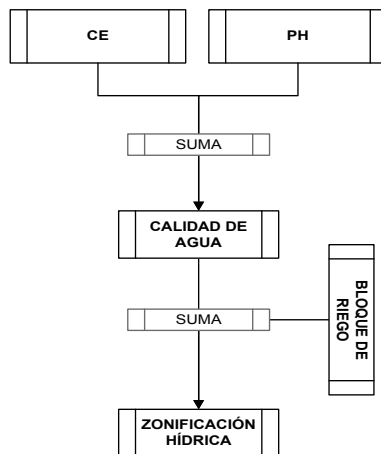
El recurso hídrico es una de las principales limitantes en zonas áridas como lo es gran parte de la región Tacna. Por ello, conocer las características de este recurso desde el punto de vista de la disponibilidad y de su calidad, permitió determinar las limitaciones y potencialidades frente a la ubicación de zonas potenciales para los cultivos en estudio.

Todos los datos puntuales recopilados en campo por muestreos (pH y CE) fueron interpolados usando el método de interpolación IDW. Posterior a ello se ha generado

superficies hídricas para cubrir el territorio de la región Tacna. En el interpolador del Geostatistical Analyst se escogió el método IDW y se ha utilizado la opción de ocho vecinos cercanos con un tipo de sector radial.

Antes de la aplicación del submodelo hídrico (observar Modelo cartográfico 4) se procedió a la reclasificación de todos los raster de las variables utilizadas y se les asignó los valores de 0 y 3. Cero (0) a los lugares que no cumplen con el requisito exigido por los cultivos y de uno a tres (1 a 3) a los lugares que cumplen con las exigencias de calidad de agua para los cultivos. Finalmente, ya en la ejecución del submodelo se suma todas las variables interpoladas para obtener como resultado los lugares que cumplen con estas dos variables a la vez o con solo uno de ellas. Adicionalmente se utilizó los raster de disponibilidad de agua para los tres bloques de riego (Locumba, Sama y Caplina). Del mismo modo, estos raster también se reclasificaron con valores de 0 a 3 y luego se utilizó la opción del mosaico para unir las tres cuencas en un solo raster. Todos los raster fueron sumados (opción plus) para identificar los lugares que cumplen con todas las condiciones a la vez o solo con algunas de ellas. Finalmente el resultado de la suma de las tres variables fue un raster de zonificación hídrica que cubre solamente lugares donde efectivamente hay presencia de agua.

Modelo cartográfico 4. Submodelo hídrico



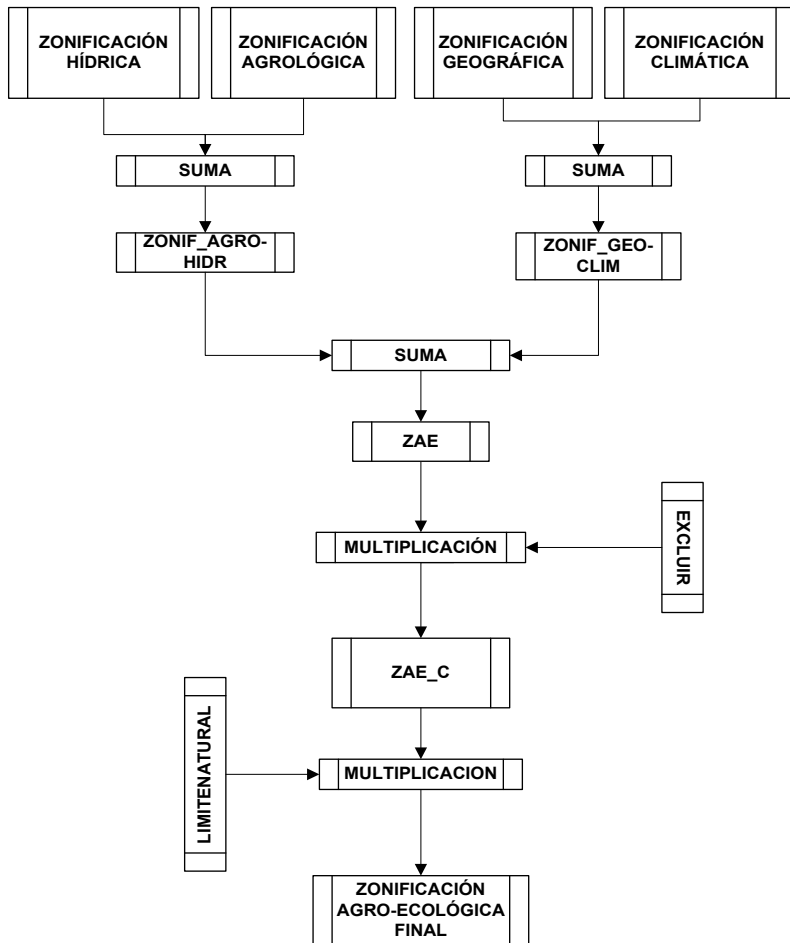
#### 2.1.5. Zonificación agroecológica - ZAE (modelamiento)

Esta fase del modelamiento consiste en utilizar los resultados generados en los cuatro sub modelos detallados (1-4) y generar de este modo el raster final de la ZAE. Como se mencionó en los primeros párrafos, la ZAE es un procedimiento mediante el cual, en función a variables, exclusivamente naturales, se identifica las potencialidades y limitaciones del suelo para ciertos cultivos de análisis específico.

En el proceso del modelamiento de la zonificación agroecológica final (ver Modelo cartográfico 5), y en base al último criterio expuesto, los resultados del submodelo climático, agrológico, hídrico y el submodelo geográfico se suman.

Considerando que el resultado de los submodelos tiene valores que van de 0 a 9, la suma con cualquiera de los otros resultados no distorsiona el resultado final. Adicionalmente, el raster resultado de la multiplicación de los raster de altitud y pendiente cumple la función de trabajar como filtro selector de espacios que cumplen las condiciones de cada uno de los submodelos, bajo los límites físico-geográficos exigidos por cada cultivo. Es decir, se convierte en un límite natural de producción de cada cultivo.

Modelo cartográfico 5. Modelo zonificación agroecológica (ZAE)



### 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Lo que se puede apreciar en los mapas finales de zonificación son zonas en donde se presentan las condiciones naturales más apropiadas y que están en condiciones de producir los cultivos. Debemos entender este resultado en términos de probabilidad, es decir, podemos afirmar que en dichas zonas existe la mayor probabilidad de que el cultivo o la especie analizada se desarrollen mejor, porque las restricciones de tipo climático, hídrico, agrológico y físico-geográfico son mínimas o no existen. En otras palabras, el modelo ha permitido diferenciar zonas homogéneas en donde el cultivo puede desarrollarse en condiciones distintas, pero que tiene variables naturales dentro de las exigencias requeridas.

Para los cultivos analizados (zapallo, sandía, melón, cebolla, ají paprika, orégano y ají amarillo) se generaron los mapas mostrados que están en formato raster. Las categorías resultantes en dichos mapas tienen valores que se clasifican por rangos numéricos y que indican el cumplimiento o no de las exigencias del cultivo. Dichos valores permiten reproducir los mapas y saber las categorías que tiene cada lugar con respecto a los cultivos analizados.

### CONCLUSIÓN

En el modelamiento se han utilizado cuatro submodelos cartográficos: físico-geográfico, climático, agrológico e hídrico. Estos modelos engloban toda la realidad de las condiciones y variables naturales de la región Tacna. Esto se realizó mediante el análisis espacial raster con el Model Builder y se ha aplicado un proceso de álgebra de mapas. Se ha obtenido un raster final para cada cultivo identificando las potencialidades y limitaciones de cada espacio.

Los rangos finales de calificación utilizados son:

- *Nula adaptación.* No cumple con variables exigidas por los cultivos.
- *Baja adaptación.* Cumple con solo el 25% de variables exigido o con las variables de solo un submodelo.
- *Regular adaptación.* Cumple con solo el 50% de las variables analizadas o con las variables de dos submodelos.
- *Buena adaptación.* Cumple con el 75% de las variables analizadas o con las variables de tres submodelos.
- *Excelente adaptación.* Cumple con todas las variables analizadas y con todas las exigencias de los cultivos.

Los resultados finales obtenidos han demostrado que el uso de los cuatro submodelos permite modelar y caracterizar las variables del medio ambiente a plenitud. Ello permite brindar una excelente alternativa que ayuda a distinguir zonas potenciales y zonas en donde es poco probable el desarrollo óptimo de un determinado cultivo.

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Buzai, Gustavo y Claudia Baxendale (2006). *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Buenos Aires: Editorial Gepama.
- FAO (1997). *Zonificación agroecológica. Guía general*. Roma.
- Peña Llopis, Juan (2006). *Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del territorio*. Alicante: Editorial Club Universitario.
- Tomlinson, Roger (2008). *Pensando en el SIG: Planificación del Sistema de Información Geográfica dirigida a gerentes*. 3ra. edición. Redlands, CA: Esri Press.