

AGRICULTURA, AMBIENTE Y SOCIEDAD EN YOCAVIL: ANÁLISIS ESPACIAL DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO CON CLASIFICACIONES FUZZY

AGRICULTURE, ENVIRONMENT AND SOCIETY IN YOCAVIL: SPATIAL ANALYSIS OF MUTICRITERIAL EVALUATION USING FUZZY CLASSIFICATIONS

Sonia L. Lanzelotti*

Gustavo D. Buzai**

Resumen

Se aplican técnicas de evaluación multicriterio con metodología *fuzzy* que permiten avanzar en la validación de modelos de aptitud espacial para el desarrollo de la agricultura prehispánica y actual en un sector del valle de Yocavil meridional (Catamarca, Argentina). Se emplea asimismo el método de Combinación Lineal Ponderada utilizando Sistemas de Información Geográfica. Se observó que el área con mayor potencial para la agricultura coincide principalmente con el registro arqueológico prehispánico. La evolución histórica de la producción agrícola desde tiempos prehispánicos hasta el presente permite postular que las condiciones ambientales no son las únicas ni las que más influyen en la organización económica.

Palabras clave: Evaluación multicriterio; Metodología *fuzzy*; Modelos de aptitud agrícola; Yocavil.

Abstract

Multicriteria evaluation techniques with fuzzy methodology are applied to present models of spatial aptitude for the development of pre-Hispanic agriculture and current agriculture in south Yocavil Valley (Catamarca, Argentina). The Weighted Linear Combination method is employed using Geographic Information Systems. It was noted that the area with the greatest potential for agriculture mainly coincides with the pre-Hispanic archaeological record. The historical evolution of agricultural production from pre-Hispanic times to the present allows us to postulate that environmental conditions are not the only or those that most influence economic organization.

Keywords: Multicriteria evaluation techniques; Fuzzy methodology; Agricultural suitability models; Yocavil.

* Instituto de las Culturas, CONICET - Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires; Grupo de Estudios sobre Sistemas de Información Geográfica en Arqueología, Paleontología e Historia, Instituto de Investigaciones Geográficas (INIGEO), Universidad Nacional de Luján. Moreno 350 (1091), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: [sonia.lanzelotti@conicet.gov.ar].

** Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica, Instituto de Investigaciones Geográficas (INIGEO), Universidad Nacional de Luján - CONICET. Ruta 5 y Avenida Constitución (6700) Luján, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: [buzai@unlu.edu.ar].

Introducción

El presente trabajo aborda desde un punto de vista interdisciplinario arqueológico-geográfico una región de gran interés en la historia prehispánica del Noroeste argentino: el valle de Santa María o Yocavil, en la provincia de Catamarca. El objetivo de este artículo es avanzar en la validación de modelos de aptitud espacial para el desarrollo de la agricultura prehispánica y su comparación con las áreas de producción agrícola actual. De este modo se profundiza sobre los resultados presentados en Lanzelotti y Buzai (2015), ensayando ahora el cálculo de aptitudes continuas del área bajo análisis y ponderando las distintas variables utilizadas. Mediante este trabajo se obtienen nuevas aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el área de estudio y la problemática acerca de las asociaciones espaciales en la relación entre agricultura, ambiente y sociedad en dos momentos sociohistóricos significativamente contrastantes.

La aplicación de técnicas de la geografía cuantitativa a la investigación arqueológica se retrotrae a la década de 1970 (Hodder y Orton 1990) y en los últimos veinte años se nutrió asimismo con el desarrollo de los SIG, tanto para la incorporación del procesamiento digital de imágenes satelitales centrada en aspectos topográficos y paisajísticos (Comer y Harrower 2013; Parcak 2009) como en la aplicación de procedimientos basados en la modelización cartográfica de la realidad (Conolly y Lake 2006; Kvamme 1999; Parceró Oubiña 2000). En Argentina, la utilización de SIG también se vio incrementada en los últimos años con diversidad de temas y enfoques (ver Coll 2013; Figuerero Torres e Izeta 2013; Matteucci et al. 2011; Villafañez et al. 2015; Zuccarelli 2014; entre otros).

Área de estudio

De acuerdo a las investigaciones arqueológicas realizadas en Yocavil, las sociedades sedentarias de base agropecuaria se habrían asentado en el valle poco antes del primer milenio de la Era, dando inicio a lo que se conoce como Período Temprano o Formativo (Palamarczuk et al. 2007; Scattolin 2010). Posteriormente, con los inicios del Segundo Milenio comienza el período Tardío o de los Desarrollos Regionales, caracterizado por un mayor aumento demográfico junto a la construcción de ciudadelas y un visible auge de la metalurgia y otras técnicas de producción de bienes suntuarios y de prestigio, junto a un marcado proceso de expansión e intensificación agrícola y de la explotación ganadera que combinaba los pastizales de altura y de fondo de valle (Tarragó 2000). Esta región evidenció un desarrollo demográfico y económico notable en los últimos años anteriores a la conquista española (Tarragó 2003). También fue testigo de la llegada del inca a mediados del siglo XV y poco después del español, desencadenando esto último una prolongada resistencia a la colonización, con el fenómeno conocido como las “Guerras Calchaquíes” que duraron 130 años (Lorandi y Boixadós 1988). La dominación efectiva de las sociedades

originarias de Yocavil a fines del siglo XVII llevó al traslado de poblaciones completas, lo que habría provocado un vaciamiento poblacional del valle, si bien este fenómeno ha sido recientemente relativizado (Rodríguez 2008). A fines del siglo XIX con el establecimiento del Estado Nación, comienza a plasmarse la estructura socioeconómica y demográfica actual.

Para esta investigación se aborda puntualmente una franja transversal sobre el sector sur del valle de Santa María o Yocavil (Figura 1). Cabe señalar que el valle de Santa María es una gran depresión estructural que atraviesa parte de las provincias de Catamarca, Tucumán y Salta. El sector catamarqueño del valle coincide con su porción sur, donde se encuentra delimitado por la Sierra del Aconquija hacia el este y la Sierra del Cajón por el Oeste. En este sector, la base del valle se halla a 1.900 msnm, el Aconquija supera los 4.000 msnm y el Cajón alcanza los 3.300 msnm. La accidentada topografía influye significativamente en la distribución escasa y puntual del recurso hídrico. El río Santa María es el curso de agua más importante del valle. Sus afluentes de la margen derecha llevan agua todo el año, en tanto que aquellos de la margen izquierda sólo en época estival.

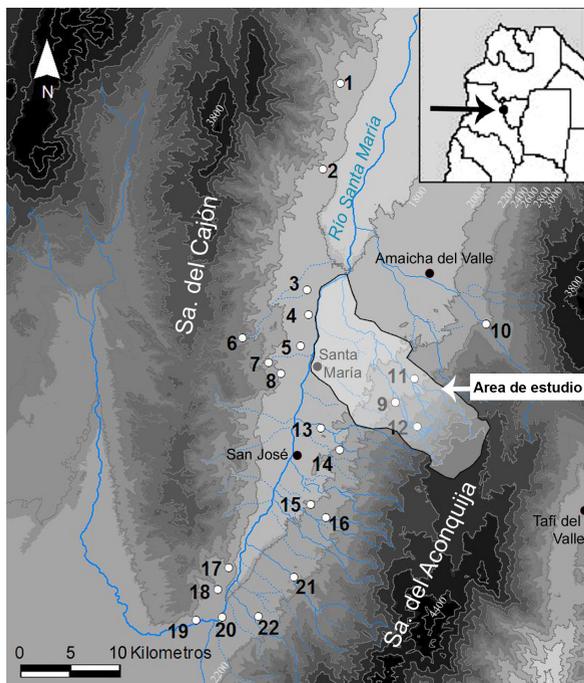


Figura 1. Valle de Santa María con indicación del área de estudio. Los puntos corresponden a poblados prehispánicos más conocidos. Referencias: 1.Pichao; 2. Quilmes; 3. Fuerte Quemado-La Ventanita; 4. Fuerte Quemado-El Calvario; 5. Las Mojarras; 6. Morro del Fraile; 7. Virgen Perdida; 8. Rincón Chico; 9. Cementerios de Caspinchango; 10. Bajo los Cardones; 11. Masao; 12. Mesada del Agua Salada; 13. El Aperito; 14. Loma Rica de Jujui; 15. Loma Rica de Shiquimil; 16. Soria 2; 17. El Colorado; 18. Cerro Mendocino; 19. Bicho Muerto; 20. Punta de Balasto; 21. Ampajango; 22. Morro de las Espinillas.

Fuente: Elaboración de los autores.

El clima es árido con una temperatura media anual de 16°C con promedios de 21°C en verano y de 8,5°C en invierno (Giusti et al. 1985). La precipitación es menor a 200 mm anuales y se concentra de diciembre a marzo (Ruiz Huidobro 1972). La distribución escasa y puntual de agua y la accidentada topografía del valle –que determina diferencias en cortas distancias– influyen significativamente en la distribución de los tipos de vegetación (Mórlans 1995). Se registran cuatro provincias fitogeográficas. En el sector correspondiente al cordón montañoso del Aconquija se encuentran las provincias Puneña (estepa arbustiva) y Altoandina, incluyendo algunas vegas de altura; en los niveles proximales de la terraza pedemontana se desarrolla la vegetación de la provincia Prepuneña; en los sectores medio y bajo de los niveles pedemontanos se desarrolla la vegetación correspondiente a la provincia del Monte.

Respecto de los estudios paleoambientales disponibles para la región, si bien escasos, indican que el valle de Santa María adoptó su fisonomía actual hace unos 3.000 años AP, es decir, a partir del Holoceno tardío (González et al. 2000), momento desde el cual el río Santa María y sus afluentes no han cambiado su curso. Para el Holoceno tardío se han registrado períodos de mayor o menor humedad y temperatura media anual que indican condiciones más húmedas que las actuales para el primer milenio de la Era, y el establecimiento de condiciones más secas poco antes del siglo X (Fernández et al. 1991; Garralla 2003). A lo largo del segundo milenio de la Era se registran varios momentos de fluctuaciones hacia una mayor humedad relacionadas con eventos de mayor alcance –como la Pequeña Edad de Hielo– retornado luego, en tiempos recientes, a las condiciones climáticas actuales mayormente secas (Caria et al. 2009; Fernández et al. 1991; Maldonado et al. 2014; Peña-Monné et al. 2015).

A pesar de las fluctuaciones climáticas registradas a lo largo del Holoceno tardío, es indiscutible que la producción agrícola ha estado condicionada por la aplicación de riego a los cultivos, tanto en el presente como en el pasado. La actividad agrícola actual se ubica principalmente en el sedimento aluvial del río Santa María y, en menor medida, en las quebradas transversales con agua permanente, como Caspinchango. Las vías de circulación principales son la ruta provincial 307 que vincula la ciudad de Santa María con Amaicha del Valle; y la ruta nacional 40 que conecta al norte con las provincias de Tucumán y Salta, y hacia el sur con la ciudad de Belén.

Materiales y métodos

Este trabajo abordó puntualmente el área del valle conformada por la cuenca de los ríos Caspinchango, Seco y los escurrimientos menores que desaguan directamente en el río Santa María y que se ubican entre ambas cuencas. Se trata de una franja transversal al valle de Santa María, sobre su margen derecha, que incluye intencionalmente un sector de cumbre y ladera del Aconquija, el piedemonte, las “tierras malas” (o *badlands*) y el fondo de valle, articulando la diversidad de recursos hídricos, geoformas y microambientes resultantes de la topografía. El área abarca una superficie total de 220,356 km² y tiene un eje

de orientación general SE a NE. El 64,6% de la superficie (142,408 km²) corresponde a la cuenca del río Caspinchango, el 14,28% corresponde al río Seco (42,598 km²) y el 13,82% restante (35,350 km²) corresponde a los escurrimientos menores. Así delimitada, el área conforma una muestra representativa de la diversidad de recursos hídricos, geformas y vegetación que caracterizan el sur de Yocavil.

De acuerdo al Censo Nacional de Población Hogares y Vivienda realizado en 2001, el Municipio de Santa María tenía una población de 16.146 habitantes, concentrada principalmente en la ciudad de Santa María (10,733 habitantes).¹ Nuestra área de estudio incluye a esta gran ciudad, pero dado que nuestro interés está puesto en la agricultura y el uso tradicional del suelo, nos concentraremos en observar las características propias de las poblaciones más pequeñas. Así, dentro de nuestra área de estudio la segunda concentración de población corresponde a la localidad de El Puesto, con 214 habitantes y en tercer lugar se ubica Caspinchango, con 31 habitantes. El resto de la población (76 habitantes) se computó como “población dispersa” entre Puestos y Parajes (Dirección Provincial de Estadística y Censos 2004). Se registran superficies cultivadas en Caspinchango y en los parajes de La Maravilla y Masao. Estas tres instalaciones se encuentran unidas por “caminos de herradura” (senderos) entre sí, y con la ciudad de Santa María. Además hay un camino vehicular relativamente moderno que conecta Santa María con Caspinchango. Las crecientes anuales de los arroyos suelen romper este último tramo que, a diferencia del camino vehicular entre Santa María y Caspinchango, no suele ser arreglado por la municipalidad. Como dato complementario indicaremos que para el Municipio de Santa María, la densidad de población es de 3,9 hab/km², en tanto que para la cuenca del río Caspinchango –incluyendo la población dispersa–, el mismo indicador arroja un valor de 0,34 hab/km². Acotando el cálculo a la superficie cultivada, se observa que es de 5 a 6 ha por familia. Hay que tener en cuenta que la producción agrícola no se destina solamente al consumo familiar, sino que parte de la misma se comercializa en Santa María.

La magnitud de las estructuras agrícolas prehispánicas fue reseñada desde los primeros trabajos de investigación arqueológica en el área a principios y mediados del siglo XX, en lugares de observación puntuales (Arocena et al. 1960; Debendetti 1921). Los estudios arqueológicos posteriores permitieron documentar que este espacio fue habitado en forma recurrente a lo largo de los dos últimos milenios (Lanzelotti 2012, 2014; Lanzelotti y Spano 2015). El registro arqueológico incluye unidades habitacionales y material cerámico correspondiente a las sociedades agropastoriles del período Formativo, así como también unidades habitacionales y material cerámico característicos de los Desarrollos Regionales e Inca, y la típica cerámica Caspinchango correspondiente a la etapa de contacto con el

¹ El Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda del año 2010 arrojó un total de 22.548 habitantes, para el Municipio de Santa María pero aún no se han publicado datos discriminados por localidades, puestos y parajes, por lo que nos vemos obligados a presentar datos del año 2001.

español (Debenedetti 1921). Además se cuantificó y caracterizó la abundante infraestructura agrícola prehispánica distribuida en parches que ocupan una superficie total de 744 has (Lanzelotti 2012) (Figura 2), y se realizaron excavaciones en dos estructuras de tipo

Figura 2. Materialidad de la producción agrícola prehispánica y actual en Caspinchango. Arriba a la izquierda: surcos de cultivo para pimiento. Arriba a la derecha: canal de riego actual. Abajo la izquierda: líneas de surcos arqueológicos; Abajo a la derecha: canal de riego arqueológico.



Fuente: Fotos de la autora (SLL).

habitacional, que permitieron corroborar las cronologías y postular la multitemporalidad de este paisaje (Lanzelotti 2012; Lanzelotti y Spano 2015).

Estos trabajos fueron insumo para la aplicación de técnicas del modelado cartográfico y búsqueda de lugares óptimos a partir de la evaluación multicriterio.

Modelado cartográfico

El análisis por superposición cartográfica es uno de los procedimientos básicos de la metodología geográfica tradicional y actualmente uno de los más utilizados ante el uso de la tecnología SIG (Buzai y Baxendale 2011). Tiene como objetivo encontrar respuesta a cuáles son los sitios de mayor aptitud locacional, determinar superficies y distribuciones espaciales a partir de considerar las áreas de asociación espacial entre diferentes características en forma de capas temáticas, sustentado desde la teoría geográfica que tiene a considerar la construcción intelectual del espacio por parte del investigador.

Corresponde principalmente a un análisis por divisiones lógicas, el cual implica un proceso deductivo en el cual se determinan límites internos a un espacio que se considera como conjunto universal. Puede ser llevada a cabo cuando se tiene un buen conocimiento teórico del objeto de estudio y, en base a ello, se pueden determinar las características clave para la definición de clases.

Desde el punto de vista de la geografía racionalista el método de superposición (coincidencia espacial) de regiones sistemáticas (formadas por una única variable) permite una descomposición de un todo en partes que generan áreas homogéneas. Este procedimiento de superposición temática (*overlay*) es una aplicación básica realizada a través de la tecnología SIG principalmente como resultado de una abstracción intelectual que permite llegar a la construcción de espacios homogéneos en base a la combinación de variables.

Análisis de evaluación multicriterio

La Evaluación Multicriterio (EMC) es un procedimiento de gran importancia cuando la tecnología SIG es utilizada como herramienta para la toma de decisiones locacionales. El análisis de EMC comienza con la información básica compuesta por variables en formato de capas temáticas (*layers*) que sirven como criterios para llevar adelante los procedimientos de evaluación. Hay dos tipos de criterios: aquellos que presentan valores de aptitud continua en cada variable para asignar el uso del suelo que se intenta ubicar, llamados “factores”, y las capas temáticas que actúan con la finalidad de asignar los resultados en un sector delimitado del área de estudio, llamados “restricciones”.

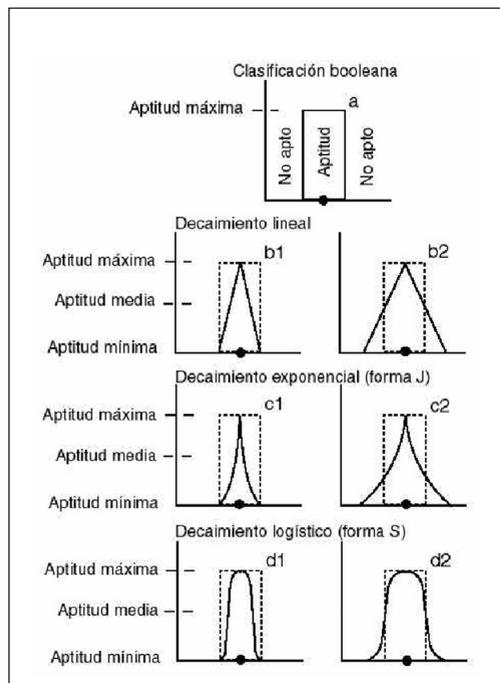
Una decisión locacional en la cual se minimiza el riesgo de seleccionar un lugar inadecuado se realiza a través de aplicar el procedimiento de mayor selectividad, al trabajar únicamente con mapas de booleanos (Buzai y Baxendale 2011) aplicados en una primera aproximación a la presente investigación en Lanzelotti y Buzai (2015).

Un avance en las opciones del proceso de toma de decisión desde un punto de vista cuantitativo se puede obtener a partir de realizar una estandarización continua en las categorías de los factores (clasificación *fuzzy*). Esto sería el paso inicial para la aplicación de la metodología basada en el nivel de compensación a través del uso de valores de ponderación, es decir, de la importancia entre los factores (Jiang et al. 2000).

La lógica *fuzzy* es la que permite obtener mapas de aptitud continua para cada factor, en donde cada celda del mapa *raster* se clasifica en cuanto al nivel de aptitud entre los extremos “apto-no apto”. Esta nueva manera de pensar la clasificación de los elementos sobre la superficie terrestre difiere de la forma clásica de las clasificaciones rígidas de la lógica aristotélica (Burrough y McDonnell 1998), en la cual existe una “ley de identidad” (cada elemento es lo que es), una “ley de la no contradicción” (cada elemento no puede ser otra cosa) y un “principio de exclusión de situaciones intermedias”.

Si a partir de una entidad geográfica seleccionada se realiza un mapa de distancias, la zona de aptitud a partir de la lejanía a esta entidad puede ser de dos formas: (1) un *buffer* de distancia fija en donde la zona interna es apta y la zona externa no es apta, o (2) una aplicación *fuzzy* en donde, con valores de re-escalamiento, se consideran variaciones en la aptitud que generan límites difusos.

Figura 3. Ejemplos de definición booleana y fuzzy.



Fuente: Buzai y Baxendale (2011:170).

Las funciones de crecimiento o decrecimiento más usuales son las lineales, exponenciales y sigmoideas (Figura 3). Geométricamente, las formas de las variaciones de aptitud por decaimiento por la distancia (*distance decay*), considerando un eje x como ubicación espacial y un eje y como nivel de aptitud, estarían dadas por las siguientes formas (en sentido negativo desde el centro hacia los límites exteriores).

Como puede observarse los ejemplos presentan un espacio bidimensional desde un punto localizado y posibilidades de medir distancias sobre un eje horizontal. En el caso booleano (a) el espacio cercano al punto adquiere similar aptitud (representación *buffer*), la máxima dentro de ese espacio y ninguna más allá

de sus límites. Existen casos en los que se presenta una aptitud diferente dentro del área establecida (b1, c1, d1) estando la máxima aptitud en el centro y utilizando como límites los mismos del *buffer* booleano, y finalmente, en otros casos se generan límites difusos (b2, c2, d2) a partir de diferentes grados de pertenencia dentro del sistema clasificatorio.

La definición *fuzzy* implica contar con un buen conocimiento acerca del comportamiento de cada variable en cuanto a su alcance espacial, pues éste es el que permite elegir la función que mejor lo representa.

Niveles de compensación

A partir del uso de factores estandarizados a través de la metodología *fuzzy* se cuenta con la posibilidad de utilizarlos como materia prima para proporcionar un valor de ponderación a cada uno de ellos de acuerdo a la importancia relativa que cada factor tiene dentro del conjunto de factores. El método de agregación utilizado para el apoyo a la decisión de la resolución locacional se conoce como *combinación lineal ponderada* (CLP) (Buzai y Baxendale 2011).

En esta aplicación se han considerado los siguientes valores de ponderación obtenidos a partir del cálculo de ponderación por ranking recíproco [1] (Malczewski 1999):

$$[1] p_i = (1/r_i) / S(1/r_i)$$

Donde p_i es el valor numérico de ponderación para cada capa temática y r_i es su posición en el ranking de importancia y S la sumatoria. La importancia se designa de manera decreciente de 1 a N.

Las condiciones que debe cumplir el valor numérico de ponderación son las siguientes:

$$[2] 0 < p_i < 1$$

$$[3] \sum p_i = 1$$

Los cálculos realizados para ambas soluciones se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Valor de ponderación de cada una de las variables utilizadas, tanto para la modelización de aptitud prehispánica, como para la aptitud actual.

variables	solución prehispánica (SPH)			solución actual (SA)		
	r	1/r	p	r	1/r	p
Hidrografía	1	1	0,40	1	1	0,22
Altitud	2	0,5	0,20	1	1	0,22
Vegetación	2	0,5	0,20	1	1	0,22
Geomorfología	2	0,5	0,20	2	0,5	0,12
Vías de circulación	0	0	0	1	1	0,22
		$\sum \frac{1}{r_i} = 2,5$	$\sum p = 1$		$\sum \frac{1}{r_i} = 4,5$	$\sum p = 1$

Una vez definidos los valores de ponderación el método de CLP, proporciona a cada localización un valor de aptitud (A) a partir de la siguiente fórmula:

$$[4] A_i = \sum p_j x_{ij}$$

donde A_i es el valor índice para la unidad espacial i , \sum es sumatoria de los resultados brindados por la totalidad de las capas temáticas, p es la ponderación como proporción de cada factor y x el valor específico de cada clase de cada factor.

Cuando la evaluación incorpora mapas de restricciones (r_j) la fórmula se amplía con su multiplicatoria (M):

$$[5] A_i = \sum p_j x_{ij} M_j$$

En términos de riesgo en la decisión este procedimiento presenta un resultado que se considera un riesgo medio y agrega el nivel de compensación entre los factores, ofreciendo mayor flexibilidad que la lograda al utilizar factores booleanos incorporando importancias relativas y diferentes grados de aptitud. La solución pre-hispánica (SPH) considera importancia 1 para la hidrografía e importancia 2 para la altitud, geomorfología y vegetación. El agua es la variable crítica, puesto que el crecimiento vegetal tiene una alta dependencia con ella, máxime en ambientes del déficit hídrico como el escrito. La solución actual (SA) presenta importancia 1 para la hidrografía, altitud, geomorfología y vías de circulación e importancia 2 para la vegetación. En este caso es la mejora en la accesibilidad general la que puede modificar las distribuciones espaciales. De este modo, las ponderaciones se basan en criterios estrictamente agronómicos, incluyendo las vías de circulación para el transporte de los productos. Atento a que actualmente no existen conflictos con pueblos originarios, el modelo a contrastar se basa en los estudios arqueológicos previos realizados en la zona.

Las resoluciones contemplan el cálculo de:

$$SPH = (\text{hidrografía} \times 0,40) + (\text{altitud} \times 0,20) + (\text{geomorfología} \times 0,20) + (\text{vegetación} \times 0,20)$$

$$SA = (\text{hidrografía} \times 0,22) + (\text{altitud} \times 0,22) + (\text{geomorfología} \times 0,22) + (\text{vegetación} \times 0,12) + (\text{vías de circulación} \times 0,22)$$

Mapas Temáticos

Se utilizaron como insumo los diversos mapas temáticos sobre hidrografía, relieve, geomorfología, vegetación, evidencia arqueológica, usos del suelo actual y vías de circulación elaborados especialmente para el área de estudio, aplicando teledetección (Chuvieco 1996), y realizado observaciones y correcciones en base a observaciones in situ (Lanzelotti 2012). Los mapas finales pueden observarse en las representaciones cartográficas incorporadas en la Figura 4. En base al conocimiento del área, fueron seleccionadas las siguientes categorías en cada mapa temático, para ser utilizados en el modelado:

1) Hidrografía: cursos de agua (o los sectores de los cursos de agua) de régimen permanente; y se aplicó una función lineal de disminución de caída de aptitud con la dis-

tancia. Se descartaron los cursos de agua de régimen intermitente y/o torrencial, debido a su inutilidad para la práctica agrícola (Figura 5.1).

2) Geomorfología: el relieve del área de estudio incluye una porción del cordón montañoso del Aconquija, piedemonte, afloramiento terciario y fondo de valle. Se seleccionaron las áreas pedemontanas y el fondo de valle (Figura 5.2).

3) Altitud: se seleccionó la superficie con una altitud de hasta 3.000 metros sobre el nivel del mar. Se asume que a mayor altitud la mayoría de las especies domesticadas no logran desarrollarse (a excepción de, por ejemplo, la papa) (Figura 5.3).

4) Vegetación: las provincias fitogeográficas seleccionadas fueron las de Monte (Distritos Arbustal y Espinoso) y Prepuna (Figura 5.4).

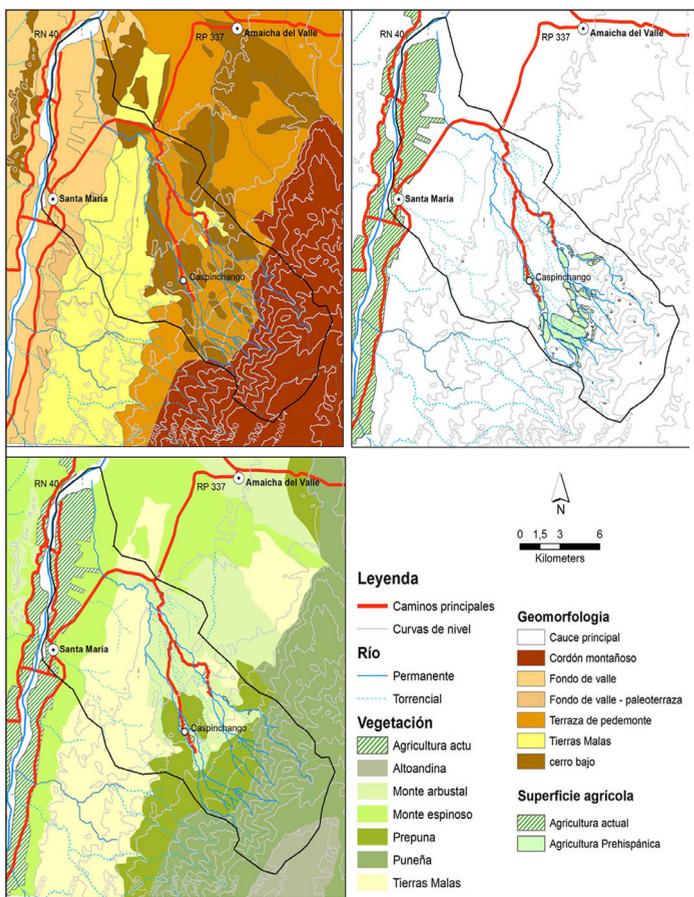


Figura 4. Mapas temáticos del área de estudio. Arriba a la izquierda: Geomorfología; Arriba a la derecha: áreas de agricultura actual y de agricultura prehispánica; Abajo a la izquierda: Vegetación.

Fuente: Elaboración de los autores en base a Lanzelotti (2012).

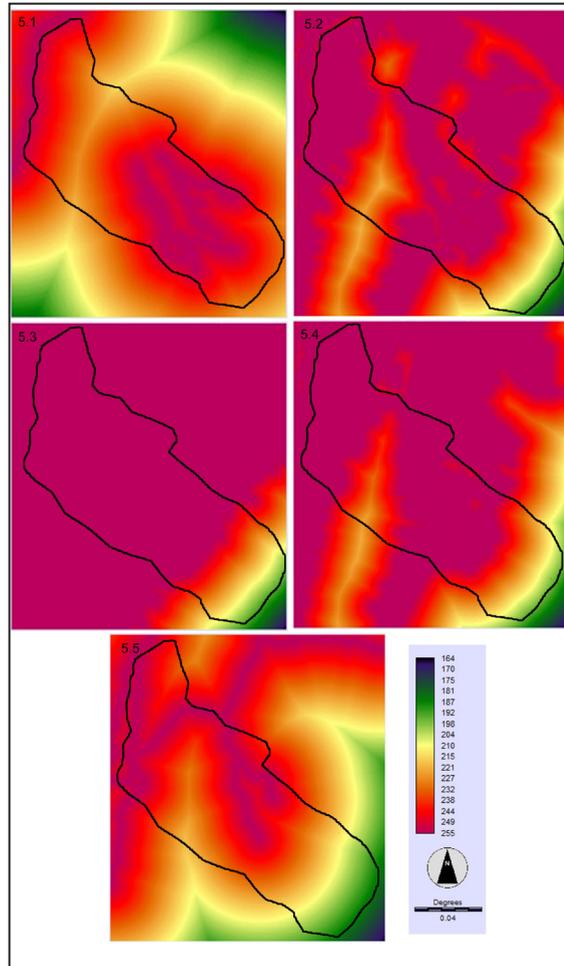
5) Red vial actual: vías de circulación aptas para transporte vehicular (asfaltado y/o ripio), sobre los que se aplicó una función lineal de disminución de caída de aptitud con la distancia (Figura 5.5).

6) Uso del suelo actual: áreas utilizadas para la producción agrícola actual (Figura 4).

7) Registro arqueológico: áreas arqueológicas con evidencia de infraestructura agrícola. Cabe destacar que la superficie inmediatamente adyacente al río Santa María se encuentra actualmente parcelada. Esto hace que no se observe evidencia arqueológica en superficie, aunque pudo haberla en el pasado, como se registra en el sector medio del valle de Santa María, en Tucumán (Maldonado et al. 2014). Las áreas arqueológicas con evidencia de estructuras agrícolas suman un total de 72 polígonos o parches. Estas áreas fueron identificadas en primer lugar mediante teledetección, y luego prospectadas en el campo para su mejor caracterización.

Denominamos “estructuras agrícolas” a las evidencias arquitectónicas relacionadas con las actividades de cultivo. Siguiendo a Albeck (1993:8), las clasificamos en: “obras de riego” y “terrenos de cultivo” propiamente dichos. Entre las primeras se encuentran las represas y las acequias o canales de riego/drenaje; entre los segundos se incluyen los surcos de cultivo, surcos cruzados, andenes y recintos de siembra, y sus partes constitutivas típicas, como los muros de contención (Lanzelotti 2012) (Figura 4).

Figura 5. Variables estandarizadas por método fuzzy.



Fuente: Elaboración de los autores.

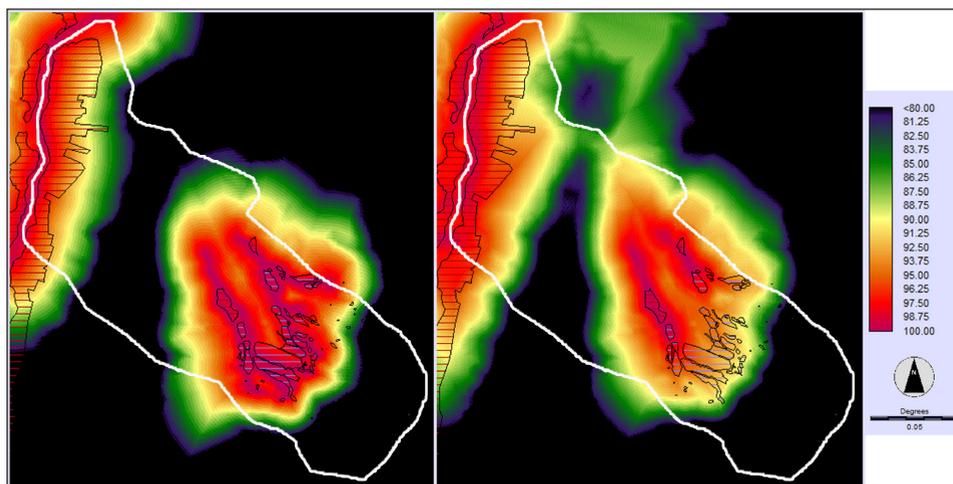
Resultados y discusión

El resultado del procedimiento de evaluación multicriterio con la finalidad de modelar las áreas aptas para el desarrollo de la agricultura utilizando metodología *fuzzy* puede observarse en la Figura 6, que muestra una aptitud continua en el interior del área de estudio, tanto como solución prehispánica (SPH) como solución actual (SA).

El mapa de solución prehispánica en comparación con el registro arqueológico permite observar una importante correspondencia espacial: las evidencias de agricultura prehispánica coinciden espacialmente con las localizaciones de mayor aptitud. Un fenómeno muy similar se había observado al utilizar metodología booleana, presentado en Lanzelotti y Buzai (2015), que mostraba que las localizaciones con mayor cantidad infraestructura agrícola prehispánica se ubicaban en el sector pedemontano proximal y medial, a una altitud de entre 2.000 y 3.000 msnm, coincidiendo con los sectores de los cursos de agua de los arroyos Caspinchango y Masao con agua permanente. Al igual que en aquel caso no podemos descartar que en el fondo de valle pudiera haber sido utilizado en el pasado, aunque actualmente es imposible detectarlas por el uso actual de este espacio. Las evidencias arqueológicas dispersas en el sector de ladera y cima del Aconquija caen en el área periférica de la mayor aptitud *fuzzy*, en tanto que utilizando el método booleano quedaban por fuera de cualquiera de las áreas de aptitud, lo cual fue asociado al establecimiento de “puestos” para las actividades de pastoreo y caza de animales. De este modo, en el caso presentado en este artículo, utilizando otra metodología pero con las mismas variables, estamos en condiciones de afirmar que modelo de aptitud prehispánica para el desarrollo de la agricultura reflejan en muy buena medida la realidad material.

El modelo referente a la aptitud de suelo actual utilizando metodología *fuzzy* muestra una leve ampliación de superficie respecto del uso prehispánico (Figura 6: SA). Sin embargo, el espacio mayormente ocupado por explotaciones agrícolas actuales se encuentra casi exclusivamente a la vera del río Santa María. En el modelo booleano presentado en Lanzelotti y Buzai (2015) se observaba un fenómeno similar, que permitió proponer que el sector pedemontano proximal y medial presentaría una fuerte “subexplotación”. La misma puede ser igualmente explicada atento a los importantes y coyunturales cambios sociopolíticos y culturales sufridos por las poblaciones originarias del valle de Yocavil tras la conquista española y, con ésta, la irrupción del sistema capitalista. Entre estos cambios se puede observar a nivel espacial, que la escasez y mal estado de los caminos actuales que ingresan a este sector desde el fondo de valle condicionan la circulación de los productos, además de la escasa población residente actualmente en las áreas pedemontanas, otrora tan densamente pobladas.

Figura 6. Modelos de intensidad de aptitud para la agricultura mostrando la superficie de ocupación prehispánica y actual. Izquierda: solución prehispánica; Derecha: solución actual.



Fuente: Elaboración de los autores.

Conclusiones

Los procedimientos de modelado cartográfico y evaluación multicriterio utilizando metodología *fuzzy* permitieron generar superficies de aptitud continua para el desarrollo de la agricultura. Los modelos así generados se compararon con aquellos generados utilizando metodología booleana para arribar a una serie de observaciones de utilidad para la validación de las variables seleccionadas.

Como se señaló anteriormente, las evidencias arqueológicas de producción agrícola en el área de estudio se retrotraen al primer milenio de la Era, y se continúan durante el segundo milenio, con una interrupción muy marcada tras la conquista española (Lanzelotti 2012). Si bien a lo largo de estos dos milenios se registraron varias fluctuaciones climáticas –con períodos de mayor o menor humedad y temperatura– las condiciones generales de la región han sido siempre áridas, lo que implica una fuerte interdependencia entre producción agrícola y disponibilidad de agua para riego. A lo largo de estos dos milenios no ha cambiado tampoco el relieve, ni las unidades geomorfológicas, ni la red hídrica que estamos observando en el presente, de modo que las variables utilizadas para la elaboración de nuestro modelo se muestran consistentes. Lo que sí ha variado sustancialmente es la localización de las áreas utilizadas para la producción agrícola. Mientras que para las sociedades prehispánicas la producción agrícola era practicada en las terrazas pede-

montanas, en cercanía directa a las corrientes de agua superficial, en la actualidad se elige principalmente al fondo de valle para esta actividad.

De esta manera, el avance realizado en esta investigación contribuye a validar un modelo acerca de la evolución histórica de la producción agrícola desde tiempos prehispánicos en un área significativa del noroeste argentino, donde es claro que las condiciones ambientales no son las únicas ni las que más influyen en la organización económica.

Agradecimientos

Este artículo se enmarca en el Proyecto Yocavil dirigido por la Dra. Myriam Tarragó, (FONCyT PICT 2014-0345 y CONICET PIP 112 201301 00178) y fue realizado en el marco del Grupo de Estudios sobre Sistemas de Información Geográfica en Arqueología, Paleontología e Historia (SIGAPH), del Instituto de Investigaciones Geográficas (INIGEO) de la Universidad Nacional de Luján.

Bibliografía

Albeck, M. E.

1993 Contribución al estudio de los sistemas agrícolas prehispánicos de Casabindo (Puna de Jujuy). Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Naturales, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de la Plata.

Arocena, M. L.; G. De Gásperi y S. Petruzzi

1960 Caspinchango. En *Investigaciones arqueológicas en el Valle de Santa María*, editado por E. Cigliano, pp. 81-109. Universidad Nacional del Litoral.

Burrough, P. y R. McDonnell

1998 *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press, New York.

Buzai, G. y C. Baxendale

2011 *Análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica, Tomo 1: Perspectiva científica - temáticas de base raster*. Lugar Editorial, Buenos Aires.

Caria, M.; M. M. Sampietro y J. M. Sayago

2009 Las Sociedades aldeanas y los cambios climáticos. En *Arqueología Argentina en los inicios de un nuevo siglo*, Tomo 2, editado por F. Oliva, N. de Grandis, N. y J. Rodríguez, J., pp. 217-224. Universidad Nacional de Rosario, Rosario.

Caria, M.; N. Oliszewski, J. Gómez Augier, M. Pantorrilla y M. Gramajo Bühler

2011 Formas y espacios de las estructuras agrícolas prehipánicas en la quebrada del río Los

- Corrales (El Infiernillo, Tucumán). En *Arqueología de la agricultura: casos de estudio en la región andina argentina*, editado por M.A. Korstanje y M. Quesada, pp. 144-165. Editorial Magna, San Miguel de Tucumán.
- Chuvieco, E.
1996 *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Rial, Madrid.
- Coll, L. V. J.
2013 Análisis Espacial en Arqueología. Lineamientos para modelar el uso del espacio agropastoril en el oeste tinogasteño (Catamarca). En *Delineando prácticas de la gente en el pasado: los procesos socio-históricos del oeste catamarqueño*, editado por N. Ratto, pp. 449-463. Sociedad Argentina de Antropología, Buenos Aires.
- Comer, D. y M. Harrower
2013 *Mapping Archaeological Landscapes from Space*. Springer, New York.
- Conolly, J. y M. Lake
2006 *Geographical Information Systems in Archaeology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Debenedetti, S.
1921 La influencia hispánica en los yacimientos arqueológicos de Caspinchango (provincia de Catamarca). *Publicaciones de la Sección Antropológica* 20:745-788.
- Fernández, J.; V. Markgraf, H. Panarello, M. Albero, F. Angiolini, S. Valencio y M. Arriaga
1991 Late Pleistocene/Early Holocene Environments, Climates, Fauna and Human Occupation in the Argentine Altiplano. *Geoarchaeology* 6 (3):251-272.
- Figuerero Torres, M. J. y A. Izeta, editores
2013 *El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la arqueología sudamericana*. Archaeopress, Oxford.
- Garralla, S.
2003 Análisis polínico de una secuencia sedimentaria del Holoceno Tardío en el Abra del Infiernillo, Tucumán, Argentina. *Polen* 12:53-63.
- Giusti, V.; E. M. Cristina Ferrari, N. Scopetta y A. Fernandez Besada
1985 Aspectos productivos y comerciales de la actividad agrícola en el Valle de Santa María (Pcia. de Catamarca). Consejo Federal de Inversiones. Manuscrito en posesión de los autores.
- González, O.; M. Viruel, R. Mon, P. Tchilinguirian y E. Barber
2000 Hoja Geológica 2766-II San Miguel de Tucumán. Programa Nacional de Cartas Geológica

- de la República Argentina 1:250000. *Boletín del Servicio Geológico Minero* 245. SEGEMAR, Buenos Aires.
- Hodder, I. y C. Orton
1990 *Análisis Espacial en Arqueología*. Crítica, Barcelona.
- Jiang, H.; J. Eastman y J. Ronald
2000 Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Science* 14 (2):173-184.
- Kvamme, K. L.
1999 Recent directions and development in geographical information systems. *Journal of Archaeological Research* 7 (2):153-201.
- Lanzelotti, S. L.
2012 Uso del espacio y construcción del paisaje agrícola en la cuenca del río Caspinchango, valle de Yocavil, provincia de Catamarca). Tesis para optar título de Doctora de la Universidad de Buenos Aires, área arqueología, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.
2014 Localización geográfica y emplazamiento de los “cementeros”, “yacimientos” y “poblados” arqueológicos de Caspinchango. *Estudios Sociales del NOA, Nueva Serie* 14:129-149.
- Lanzelotti, S. L. y G. D. Buzai
2015 Modelos de aptitud espacial para la agricultura prehispánica y actual en el valle de Santa María, Catamarca, Argentina. *Estudios Socioterritoriales* 18:139-150.
- Lanzelotti, S. L. y R. C. Spano
2015 La multitemporalidad del paisaje en la Mesada del Agua Salada, Catamarca, Argentina. *Arqueología* 21:47-71.
- Lorandi, A. M. y R. Boixadós
1988 Etnohistoria de los valles Calchaquíes en los siglos XVI y XVII. *Runa. Archivo para las Ciencias del Hombre* 17-18:227-424.
- Malczewski, J.
1999 *GIS and multicriterial decision analysis*. John Wiley y Sons, New York.
- Maldonado, M. G.; L. D. Neder y M. M. Sampietro Vattuone
2014 Distribución espacial de los asentamientos de los períodos de Desarrollos Regionales e Inca en el tercio central de la sierra de Quilmes (valle de Yocavil-Tucumán). *Arqueología* 20:39-60.

- Matteucci, S.; V. Scheinsohn, F. Rizzo y S. Leonardt
2011 Rutas de comunicación trasandina de los cazadores recolectores en el centro-oeste de Chubut. *GeoSIG* 3: 183-200.
- Mórlans, M. C.
1995 *Regiones naturales de Catamarca. Provincias geológicas y provincias fitogeográficas*. Publicaciones On line, Área Ecología, Editorial Universitaria. Universidad Nacional de Catamarca. <http://editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/Ecologia/imagenes/pdf/006-fitogeografia-catamarca.pdf> (fecha de acceso: febrero 2009).
- Palamarczuk, V.; R. Spano, D. Magnífico, F. Weber, S. López y M. Manasiewicz
2007 Soria 2. Apuntes sobre un sitio temprano en el valle de Yocavil (Catamarca, Argentina). *Intersecciones en Antropología* 8: 121-134.
- Parcak, S.
2009 *Satellite Remote Sensing for Archeology*. Routledge, Abingdon.
- Parcero Oubiña, C.
2000 *La construcción del paisaje social en la Edad de Hierro del noroeste ibérico*. Tesis para optar al título de Doctor, Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Santiago de Compostela. <http://digital.csic.es> (Fecha de acceso: febrero 2012).
- Peña-Monné, J. L.; C. Sancho-Marcén, M. M. Sampietro-Vattuone, F. Rivelli, E. J. Rhodes, M. C. Osácar-Soriano, V. Rubio-Fernández y R. García-Giménez
2015 Geomorphological study of the Cafayate dune field (Northwest Argentina) during the last millennium. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 438: 352–363.
- Ruiz Huidobro, O.
1972 Descripción geológica de la Hoja 11e, Santa María (Catamarca y Tucumán). *Boletín del Servicio Nacional Minero Geológico* 134: 1-72.
- Rodríguez, L.
2008 *Después de las desnaturalizaciones. Transformaciones socio-económicas y étnicas al sur del valle Calchaquí. Santa María, fines siglo XVII-fines del XVIII*. Antropofagia, Buenos Aires.
- Scattolin, M. C.
2010 La organización del hábitat precachaquí (500 a.C.-1000 d.C.). En *El hábitat prehispánico. Arqueología de la arquitectura y de la construcción del espacio organizado*, editado por M. E. Albeck, M. C. Scattolin y M. A. Korstanje, pp. 13-51. FHyCSUNJu, Jujuy.
- Tarragó, M.
2000 Chacras y pukara. Desarrollos sociales tardíos. En *Nueva Historia Argentina. Tomo I:*

Los Pueblos Originarios y la Conquista, dirigido por M. Tarragó, pp. 257-299. Sudamericana, Buenos Aires.

2003 Arqueología de los Valles Calchaquíes en perspectiva histórica. *Local, Regional, Global: prehistoria, protohistoria e historia en los Valles Calchaquíes*. *Anales Nueva Época* 6:13-42.

Villafañez, E.; E. Fonseca, G. Acuña Suarez y H. Puentes

2015 Moviéndose con el paisaje: una propuesta metodológica desde el valle Balcosna, Catamarca. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología* 40 (2):477-500.

Zuccarelli, V.

2014 Primeras aproximaciones al paisaje agrario del norte de la sierra el Alto-Ancasti: un análisis multi-escalar. *Arqueología* 20 (1):115-141.