

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES, SIG Y MODELOS ECOLÓGICOS APLICADOS A LA ARQUEOLOGÍA

MATTEUCCI, S. D.¹ y SCHEINSOHN, V.²

¹ Investigadora de CONICET; Grupo de Ecología del Paisaje y Medio Ambiente,
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires. Argentina

² Investigadora de CONICET; Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano,
Secretaría de Cultura de la Nación. Argentina

¹smatt@gepama.com.ar ²scheinso@mail.retina.ar

RESUMEN

Se emplea el enfoque de identificación de hábitat, con apoyo del procesamiento de imágenes y SIG, para diseñar un modelo espacial que permita predecir la ubicación de materiales arqueológicos en la Comarca Andina del Paralelo 42, Patagonia, Argentina. A partir de una imagen satelital Landsat TM se genera un mapa de cobertura de la tierra mediante clasificación supervisada. Sobre la base de un modelo general de respuestas humanas probables a diferentes ambientes (Binford, 2001) elaborado en función de datos ambientales y del análisis del comportamiento de cazadores-recolectores actuales, se reclasifica cada píxel asignando valores binarios con 1 para hábitat y 0 para no-hábitat. Con el mismo criterio se modelaron los posibles corredores utilizados por estos cazadores recolectores. El modelo espacial se valida con información acerca de sitios arqueológicos identificados en el campo.

Palabras clave: Ecología de paisajes, modelo espacial, arqueología del paisaje, Argentina, Patagonia.

ABSTRACT

A spatial model based on habitat identification is constructed, using image processing and GIS technology, to predict the location of archeological sites in the Comarca Andina del Paralelo 42°, Patagonia, Argentine. A coverage map is obtained through supervised classification of a Landsat TM satellite image. On the basis of a behavioural model of hunter-gatherers in response to environmental conditions (Binford, 2001), a Boolean layer is created by reclassifying all coverage codes to 1 for habitat conditions and 0 for the rest. The same criteria were applied for designing corridors. The spatial models are validated with known archeological sites identified in the field.

Keywords: Landscape ecology, spatial model, landscape archeology, Argentine, Patagonia.

1. Introducción

Trabajos arqueológicos realizados en la Comarca Andina del Paralelo 42° (en adelante CA42), ubicada al NO de la Provincia de Chubut y el SO de la Provincia de Río Negro, Patagonia, Argentina, permitieron verificar que la documentación de materiales arqueológicos en esta zona mejora de manera significativa al practicar un relevamiento intensivo (Scheinsohn, 2003). Pero éste es costoso, tanto en tiempo como en dinero por lo que no puede ser abordado al azar. Por ello es necesario optimizarlo, planeándolo donde hay mayores posibilidades de localizar materiales. El objetivo último del trabajo que aquí se presenta es generar una metodología general que pueda aplicarse en otras zonas de baja visibilidad arqueológica, como lo es la CA42, ubicada en el ecotono bosque/estepa.

Los biólogos dedicados a la conservación de la biodiversidad han desarrollado modelos a gran escala que permiten predecir los sitios geográficos en que podrían encontrarse las poblaciones de especies sobre la base de las condiciones de hábitat (condiciones físico-bióticas adecuadas para la supervivencia); o diseñar áreas de reserva para la conservación de las especies. Se emplean variables del medio ambiente y ecológicas como substitutos de avistaje a campo de las poblaciones de especies particulares. Las variables ecológicas se refieren a los requerimientos de la especie para su supervivencia (alimentación, reproducción, condiciones microclimáticas, etc); las variables del medio ambiente son aquellas que describen los requerimientos (tipo de vegetación, geomorfología, flora y fauna relacionadas, temperatura, etc.). De este modo, el cruce de la configuración espacial de un área dada con la estrategia de comportamiento de la especie se usa para la predicción de sitios aptos para la presencia y supervivencia de la especie.

Pensamos que este enfoque podría aplicarse a la investigación arqueológica. En este caso, se trataría de la especie *Homo sapiens*, y de poblaciones de cazadores-recolectores originales del área de estudio, de las cuales se requiere conocer su comportamiento, mientras que la distribución geográfica de las características medioambientales son las variables *proxy*, que permiten predecir la localización probable de las actividades humanas en tiempos pasados.

Para este trabajo decidimos considerar un área de la CA42 en donde ya se habían obtenido resultados arqueológicos para poder evaluar el método mediante la validación del modelo espacial con datos puntuales de ubicación de sitios arqueológicos. El área de estudio comprende aproximadamente 370 km², entre los paralelos 42°25' y 42°44' Latitud Sur y los meridianos 71°10' y 71°33' Longitud Oeste, donde se ubica la localidad de Cholila (Provincia de Chubut, Patagonia Argentina), la más meridional de la CA42. Esta localidad se encuentra en el ecotono entre la estepa y la franja estrecha de bosques andino-patagónicos (Dimitri, 1972) que comprenden los Distritos del Bosque Caducifolio, que es el predominante, y el Valdiviano (Cabrera y Willink, 1980), en zonas puntuales.

En las laderas y bordeando los ríos predominan los bosques mixtos, con parches de pastizales de altura de hierbas latifoliadas; y en las partes bajas y alrededor de los lagos se encuentra o bien mallines (pastizales densos de gramíneas) en las depresiones más húmedas o estepa arbustiva semiárida en los sitios secos y pedregosos. Es un paisaje glaciario de lagos profundos, valles en V y cordones de morenas. La altitud máxima es de 1700 m y la mínima de 550. Hacia el oriente se ubica la franja ecotonal que limita con la estepa patagónica. El clima es húmedo templado frío, muy

influido por la altitud y la exposición a la luz y los vientos. La temperatura media anual es de 4 a 8 °C; la precipitación media anual es de 2500 mm, descendiendo hasta 900 hacia el oeste en el deslinde con la estepa. Los vientos, 8 m/seg de velocidad media, son intensos del Oeste, especialmente en los meses lluviosos de invierno (Morello, 1999).

1.1. Arqueología de la CA42

Las investigaciones arqueológicas en esta zona se iniciaron a partir del debate arqueológico actual sobre el papel que cumplieron los bosques cordilleranos patagónicos en las estrategias adaptativas de las poblaciones de cazadores-recolectores. En un principio estos estudios estuvieron orientados al relevamiento de sitios con arte rupestre y al diagnóstico de su estado de preservación (Bellelli *et al.*, 1998; Podestá *et al.*, 2000, entre otros). Luego se centralizaron en el sector Sur de la Comarca Andina, en la zona aledaña a la localidad de Cholila. En esta área se localizaron once sitios arqueológicos y diversos hallazgos aislados ([tabla 1](#)). De los sitios más visibles, seis están ubicados en superficies de deflación y corresponden a concentraciones de materiales lítico en superficie (Los Guanacos 1 a 3 y Juncal de Calderón 1 a 3) y otros tres son paredones rocosos con pinturas (Cerro Pintado, Raimapu, El Peñasco). Sólo tres están localizados en sectores de alta cobertura vegetal. Uno de ellos es un enterratorio saqueado, que es visible por la concentración de piedras que conformaban su estructura y el otro (Lili 2) corresponde a un bloque errático con pinturas rupestres en el Bosque Caducifolio. Hasta el momento sólo se excavó uno de estos sitios, Cerro Pintado (CP). Este alero se encuentra en la margen izquierda del río Blanco, en la cota de 650 msnm. En el alero, las pinturas se disponen, casi sin solución de continuidad, sobre un frente de 95 m de longitud. En este sitio se obtuvieron fechados radiocarbónicos que van desde los 1870±80 AP hasta los 680 ±60 AP (Bellelli *et al.*, 2003). Aunque los fechados han sido obtenidos en un solo sitio, la información de los conjuntos artefactuales y el estilo de las manifestaciones rupestres son coherentes con éstos y apuntan a una utilización relativamente tardía de la zona. Esta cronología coincide con la que presentan otros sitios de características ergológicas similares emplazados también en ambientes boscosos y ecotonales al sur y al norte de la CA42° (Bellelli *et al.*, 2003). En síntesis, los trabajos realizados hasta el momento en Cholila muestran que la distribución de los materiales arqueológicos se da en concentraciones puntuales separadas por grandes espacios sin evidencias, pero hay que determinar si este patrón responde al uso humano de la región o a problemas de visibilidad. Tanto el arte rupestre como los demás materiales arqueológicos presentes en el área tienen semejanzas estilísticas y técnicas con sitios de la estepa y de regiones boscosas cercanas que presentan cronologías similares, lo que hace pensar en la existencia de amplias redes de circulación que estarían integrando a esta región con otras áreas (Bellelli *et al* 2003).

1.2. SIG y arqueología

El uso de sistemas de información geográfica (SIG) en las investigaciones arqueológicas comenzó a fines de la década de los ochenta. Su aplicación en arqueología, así como en otras disciplinas humanísticas como la Historia, facilitó la identificación de patrones espaciales. Se ha usado principalmente de dos formas: por un lado para la gestión de recursos culturales al nivel local y regional, fundamentalmente en EE.UU. y Europa, y, por otro lado, se han aprovechando sus

capacidades analíticas para estudiar la conducta locacional humana intentando responder la pregunta de por qué la gente se asienta donde lo hace. Así, ha permitido generar modelos predictivos tendientes a facilitar la localización de sitios arqueológicos (Allen *et al.*, 1990; Judge y Sebastien, 1988; Kvamme, 1999) lo que era muy difícil de realizar manualmente. La generación de estos modelos parte del supuesto de que la conducta humana no es azarosa y que por lo tanto, los lugares de asentamiento o de otras actividades se distribuyen de manera no azarosa. La elaboración de estos modelos ha sido, las más de las veces, inductiva, es decir, se examinan muestras de sitios arqueológicos conocidos en una región, buscando asociaciones estadísticas con condiciones ambientales para luego indicar la probabilidad relativa de encontrar un sitio arqueológico en una zona determinada. El enfoque deductivo, utilizado con menos frecuencia, parte de un conocimiento teórico dado para predecir localizaciones de sitios arqueológicos. Nuestro trabajo, enmarcado dentro de este enfoque, se diferencia de otros en la medida en que el modelo que se planteará está orientado teóricamente por la ecología de paisajes y está basado en modelos de comportamiento humano de cazadores-recolectores.

2. Métodos

Describimos los criterios para la elaboración del modelo de comportamiento y las técnicas para la construcción del modelo espacial y su validación.

2.1. El modelo de comportamiento

Para la elaboración del modelo de comportamiento puede partirse de dos fuentes: 1) el cúmulo de información arqueológica que se conoce para los últimos momentos del Holoceno tardío; y 2) modelos que correlacionan características climáticas con datos de cazadores-recolectores actuales.

A manera de síntesis, lo que se conoce de la arqueología del área permite sostener que en los últimos tres mil años esta zona fue habitada por cazadores-recolectores. Si bien tuvieron contactos con poblaciones que practicaban la agricultura - en el Oeste de la cordillera la producción de cultígenos se extendió hasta los 42° Lat. S (Mena 1997) - al Este de la cordillera ésta no jugó un papel de importancia en la subsistencia de estos grupos. La cerámica aparece en el registro alrededor del 1000 BP. Etnográficamente las poblaciones del área fueron incluidas entre los llamados Tehuelches Septentrionales (Casamiquela, 1965; Escalada, 1949). Pero hacia principios del siglo XVI comienza un proceso que se dio en llamar de araucanización por el cual la influencia de los Mapuches, originalmente de Chile, se hace cada vez mayor, hasta que en el siglo XVIII terminan reemplazando a los habitantes originales de las Pampas. Los mapuches practicaban una horticultura incipiente, realizaban tejidos y metalurgia y controlaban también el comercio del caballo por lo que sus influencias se hicieron sentir hasta el extremo sur del continente. La incorporación del caballo, que se da a partir de la presencia de los primeros conquistadores españoles, también fue un factor que afectó en mayor o menor medida a todas las poblaciones de la Patagonia.

Si bien hay abundante información respecto de grupos etnográficos en la Patagonia a partir de las crónicas de viajeros (ver entre las más tardías: Musters, 1997; Cox, 1999; Claraz, 1988), esta información no puede ser tomada sin más para elaborar el modelo de comportamiento del cual vamos a partir. En principio, los primeros cronistas, fueron bastante confusos y poco sistemáticos por lo que las denominaciones que dieron a los indígenas en sus documentos no siempre responden a las que los distintos grupos hubieran reconocido como propias (Nacuzzi, 1998). Así, como señala Nacuzzi, muchos de los rótulos utilizados para los diversos grupos étnicos y la composición de estos grupos está siendo puesta en duda en la actualidad. Además, las crónicas más detalladas y más recientes fueron hechas en momentos posteriores a la incorporación del caballo por lo que esa información no puede ser proyectada al pasado previo a la incorporación de este animal en las economías indígenas. Por otra parte, como señala Borrero (2001), la clasificación reconocida etnográficamente debe enmascarar mucha variabilidad ya que se aplica a una situación sumamente transformada, directa o indirectamente, por la conquista europea. Pero por sobre todas las cosas, como señala también este autor, no existe una fórmula de conversión de determinadas clases de artefactos arqueológicos en indicadores de determinadas etnias (Borrero, 2001). Por ello, nos parece más confiable seguir el planteo de Binford (2001), quien propone un modelo de respuestas humanas probables a diferentes ambientes basado en datos ambientales y de cazadores-recolectores actuales (Scheinson y Matteucci, 2004).

Lo que se hizo entonces es buscar en la información aportada por este autor, aquella que es relevante a nuestra área de estudio. Partimos de la observación de que, en altas latitudes, adquieren mayor importancia los animales terrestres, hay mayor movilidad, se practican técnicas para reducir costos de movilidad y se utilizan materiales locales para protección y transporte (Binford, 1990; 2001).

Así, en el área de estudio, la población habría dependido mayormente de la caza. Es de esperar, dadas las condiciones climáticas, que la caza represente el 65% de la dieta (Binford, 2001). En esta área, las presas más importantes son los únicos animales nativos de gran porte, el huemul y el guanaco, que por otra parte fueron documentadas en el registro arqueológico de numerosos sitios.

El huemul (*Hippocamelus bisulcus*) es un cérvido robusto, de casi un metro de altura del lomo al suelo, y un máximo de 100 kilos por individuo. Los machos poseen astas. Su pelaje es grueso, denso, de color café oscuro en verano y grisáceo en invierno. Durante el verano vive en las zonas más altas, escarpadas y boscosas de los Andes australes, y en el invierno, pasa a las partes más bajas, donde están los bosques de lengas, ñires o coihues (*Nothofagus* spp). Es un animal solitario, que a veces forma grupos familiares de tres individuos: un macho, una hembra y una cría.

El guanaco (*Lama guanicoe*) es un mamífero rumiante, perteneciente al grupo de los camélidos, que vive en rebaños numerosos en la estepa patagónica y en el piedemonte de los Andes. Tiene gran talla, llegando a medir hasta 1,75 m en el lomo, la distancia entre su hocico y la base de la cola de 1,85 m y pesa hasta 120 kg. Es de forma esbelta y cabeza pequeña. Su cuerpo está cubierto de pelo pardo oscuro o gris. Constituye grupos de 4 a 10 hembras con un macho, y las crías, llegando al centenar de individuos. El macho cuida a su manada ubicándose en un lugar elevado del terreno. Es un herbívoro de hábitos diurnos; las actividades de alimentación y reproducción se desarrollan en los pastizales secos y en los mallines. Pasa las noches en los refugios, ubicados en lugares escarpados con piso pedregoso de basalto, de difícil acceso. Es un

buen trepador, que se mueve con soltura en terrenos accidentados. Se emplea su carne y su piel. Es probable que la caza se efectuara durante las horas del día, en los mallines y pastizales o en los bordes de los lagos. En crónicas de tiempos históricos se mencionan algunas de las técnicas utilizadas para cazarlos, las cuales incluyen acorralamiento con perros y fogatas y persecución a caballo con boleadoras (Mengoni Goñalons, 1995).

Toda la información disponible nos permite suponer que entre las poblaciones de cazadores-recolectores que habitaron esta zona pueden separarse dos tipos que se diferenciaban en cuanto a su tecnología del transporte. Los grupos más antiguos se movían a pie (cazadores a pie, en adelante CAP), por lo que es posible que evitaran las zonas boscosas y las muy húmedas y bajas, por lo difíciles de transitar. Preferiblemente debían moverse por las partes bajas de las laderas, evitando superficies escarpadas, o muy pedregosas tanto debido a ahorro de energía como a seguridad. A partir del siglo XVI, con la incorporación del caballo a la economía indígena, comenzaron a utilizar estos animales como medio de transporte (cazadores o pastores, según algunos autores, de a caballo, en adelante CAC). Así, sus requerimientos para la circulación debieron ser distintos ya que podían usar espacios amplios, como las partes bajas de los valles, eligiendo los de menor pendiente. Si bien no hay un registro específico de la presencia de CAC en nuestra área de estudio, si la hay en zonas vecinas, por lo que hemos decidido tomar en cuenta este grupo para nuestro análisis.

A partir de la propuesta de Binford (2001) pueden señalarse otras diferencias hipotéticas importantes en relación con la movilidad y la vivienda. Se puede sostener entonces que los CAP tenían alta movilidad residencial, con un patrón seminómádo (Binford, 1990). La inversión en vivienda era baja y se usaban materiales locales aprovechando abrigos rocosos y cuevas. Los CAC, a su vez, tenían menor movilidad residencial y debían desplazarse a mayores distancias, con sus viviendas a cuevas, consistentes en toldos de cuero y parantes de madera. Su organización logística necesariamente debía ser mayor, planificando sus recorridos en función de las pasturas para el ganado y la caza. Parte del alimento era trasladado a pie.

Así, es posible definir una serie de espacios aptos para determinadas actividades. Llamamos hábitat a los espacios que reúnen las condiciones físicas y bióticas apropiadas para estas actividades. Tanto para unos como para otros, estos hábitats presentarían cierto grado de superposición y ciertas diferencias. Por ejemplo, es posible que la obtención planificada de los alimentos se realice en los mismos lugares tanto en un caso como en otro aunque en el caso de los CAC, éstos estarían menos constreñidos tanto por las facilidades de transporte como por el hecho de que pueden hacer uso del alimento que trasladan en pie bajo la forma de ganado. Dada la necesidad de evaluar los riesgos relacionados con la planificación de recorridos y la presencia de grupos humanos vecinos, ambos tipos de cazadores-recolectores habrían utilizado los puntos altos del relieve para la obtención de información relacionada con el avistaje de animales de caza, ubicación de grupos de vecinos, comunicación entre grupos, etc. También ambos habrían buscado refugio en sitios reparados de los vientos predominantes.

En relación con los corredores, también existen diferencias. Llamamos corredores a los fragmentos alargados que reúnen las condiciones de seguridad y bajo costo para la circulación a larga distancia. Los CAP pueden circular por pendientes medias (calculamos aquellas menores a 40° teniendo en cuenta ahorro de energía y factores de seguridad) en los bordes de los bosques y

evitando las zonas bajas (mallines). En cambio los cazadores de a caballo pueden circular por espacios bajos, relativamente planos y más abiertos.

A partir de este modelo de comportamiento, muy simplificado, se eligieron las variables a tener en cuenta en la elaboración del modelo espacial: relieve, altitud, cobertura superficial del suelo, tipo de vegetación y dirección de vientos predominantes.

2.2. Etapas del trabajo

2.2.1. Preparación de las imágenes

Se usó una imagen satelital Landsat 7 ETM del 8-12-2001, ubicada en el paso 232, fila 089, provista por la CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales de Argentina). La imagen, con las bandas 1 a 8, fue provista con las correcciones sistemáticas. Con el programa PCI se recortó el área de estudio, y se almacenó cada banda en formato BMP para poder ingresarla al programa IDRISI 32 (Eastman, 1999). Se hicieron dos composiciones a partir de las bandas recordadas: una con las bandas 1, 2 y 3 que permite visualizar las superficies desnudas y resalta las carreteras; otra con las bandas 3, 4, 5 que destaca los ríos y parches de vegetación. Éstas también se almacenaron en formato BMP.

En el programa IDRISI se registró cada banda mediante la técnica de *rubbersheeting* con el módulo Resample (Eastman, 1999) empleando 4 puntos de referencia de las hojas topográficas del Instituto Geográfico Militar, en coordenadas Gauss Krüger. Los puntos usados son cruces de carreteras entre sí o con cursos de agua, fácilmente visibles en las imágenes compuestas por las tres bandas y en la carta topográfica, y distribuidos en el área de estudio. Se empleó un polinomio lineal e interpolación del vecino más cercano. El error RMS (root mean square) fue bajo (menos de 1/2 pixel). Los resultados del registro fueron corroborados en el programa ArcView 3.2 (ESRI, 1996) superponiendo la carta topográfica digitalizada sobre las imágenes compuestas remuestreadas para verificar la coincidencia de las carreteras y los ríos.

Las imágenes resultantes tienen 800 columnas y 600 filas, con un total de 480.000 píxeles de los cuales el 14% son background y no participan en la clasificación.

2.2.2. Diseño espacial de hábitat

En primer lugar se construyó un mapa de la cobertura de la tierra sobre la base del conocimiento previo del área. Se clasificó la cobertura a priori en 6 categorías: 1 = Aguas profundas (lagos y ríos); 2 = Aguas someras (lagos cubiertos de vegetación acuática; arroyos y acumulaciones de agua de deshielo); 3 = Suelo desnudo (incluye superficies cubiertas de rocas o con cobertura vegetal muy dispersa); 4 = Bosque denso (las copas o ramas de árboles vecinos se tocan); 5 = Bosque abierto (quedan espacios abiertos en los que puede haber parches de pastizal, arbustal o suelo desnudo); 6 = Mallín (vegetación baja con predominio de gramínoideas; comprende pastizales y mallines). El mapa de cobertura se obtuvo por clasificación supervisada, a partir de la firma espectral de sitios muestra.

Para la generación de la firma espectral, se delimitaron sitios de entrenamiento digitalizando 3 a 5 polígonos en cada una de las categorías, con un total por categoría de 102 a 1348 píxeles. Esto se realizó con el programa IDRISI sobre la imagen compuesta por las bandas 3, 4, 5, en sitios previamente recorridos a campo. De las 6 bandas empleadas, las bandas 1, 2, 3 y 4 fueron las que mostraron mayor grado de separación global y las bandas 2, 4, 5 y 7 separaron los mallines de los bosques. La delimitación de los sitios de entrenamiento se hizo con total independencia de la ubicación de los sitios arqueológicos conocidos ya que la persona que hizo esta tarea desconocía la ubicación de los mismos en esta etapa del trabajo.

La clasificación semiautomática (supervisada) se hizo con las bandas 3, 4, 5, 7 sin modificar, y el procedimiento de máxima probabilidad (Maximum likelihood), que se basa sobre las medias y valores de varianza/covarianza de las firmas espectrales para estimar la probabilidad de pertenencia de un píxel a cada clase.

La validación del mapa de cobertura se realizó contrastando puntos ubicados en el mapa con datos de campo y de fotos de los paisajes registradas durante trabajos de campo. Los datos de campo provienen de una investigación previa en que se realizaron observaciones de tipo de vegetación y tipo de superficie del suelo en transectas ubicadas en cada una de las distintas geoformas (ver detalles en Bellelli *et al* 2000b y Scheinsohn 2001). Como el objetivo principal de esas transectas era registrar la presencia de materiales arqueológicos, tanto los hallazgos como las observaciones vegetacionales no se consideraron con fines estadísticos. Sólo se usaron como referencia los puntos extremos de las transectas, para evitar errores por correlación espacial. Se construyó una capa de datos de campo en la cual a cada punto se le asignó la categoría de cobertura correspondiente, mientras que el resto de los píxeles tiene valor cero. Esta capa se comparó con la capa de cobertura de la tierra usando el módulo ERRMAT de Idrisi, el cual construye una matriz de error considerando sólo los píxeles que tienen valor mayor de cero en la capa de datos de campo. El programa calcula el índice Kappa de similitud (KIA), con un ajuste que da cuenta de las similitudes aleatorias. KIA que es una medida de la exactitud del mapa y varía entre 0 (disimilitud total) a 1 (similitud total).

Las extensiones de las categorías se expresan en cantidad de píxeles. El cálculo de superficie se dificulta por la inclinación del terreno. Para hacer las correcciones necesarias y obtener el área verdadera, en función del área proyectada y la pendiente, se requiere un DEM de resolución y exactitud adecuadas, del cual no se dispone. Por reclasificación se obtuvo un mapa Booleano en el cual el 1 corresponde a sitios hábitat y el 0 a sitios no aptos para las actividades humanas especificadas. Se consideraron sitios no aptos los bosques y superficies de suelo desnudo y como hábitat, los mallines, las aguas someras y las profundas. Teniendo en cuenta que las poblaciones humanas usaban sólo los bordes de los parches de agua profunda, probablemente hasta un ancho de 300 m (10 píxeles), se calculó un buffer de dicho ancho alrededor de ellos, descartando los espacios con pendientes superiores a los 40 grados, y se reclasificó como hábitat (valor 1) los bordes y como no-hábitat (valor 0) las superficies de agua. A esta capa de hábitat se superpuso la capa de los puntos de avistaje con valor 1. Los puntos de avistaje son las cumbres de cerros aislados y de filas, considerando especialmente aquellas de orientación N-S. Fueron digitalizados en pantalla (ver punto 2.2.3), a partir de la hoja topográfica y rasterizados en IDRISI.

2.2.3. Mapas de corredores

Los corredores representan los sitios de circulación de los cazadores en desplazamientos a larga distancia y fueron diseñados en función de los criterios establecidos en el párrafo sobre modelo de comportamiento. En estos criterios se consideraron diversos factores: posibilidades de practicabilidad del terreno (p. e., suponemos que no se puede circular por el bosque denso), de seguridad del grupo (se evitaría la circulación por zonas donde los accidentes fueran más probables) y ahorro de energías siguiendo líneas de menor esfuerzo.

En primer lugar se digitalizaron en pantalla las curvas de nivel con el programa CartaLinx (Clark Labs, 1998) con la carta topográfica del Instituto Geográfico Militar como base de fondo (backdrop). A partir de la capa temática de curvas de nivel se construyó un modelo digital de altitud (DEM) y un mapa de pendientes, en IDRISI. El mapa de pendientes permitió descartar los espacios con pendientes superiores a 40°.

Los corredores de los cazadores a caballo se construyeron a partir de las curvas de nivel, cerrando los polígonos rodeados por las curvas de 600 msnm, que es la que rodea las áreas relativamente planas de las planicies glaciales (Bellelli *et al.*, 2000a). En el caso de los cazadores de a pie, se usó el mismo procedimiento pero cerrando polígonos entre las curvas de nivel de 600 y 700 msnm, que representan la parte baja de las pendientes, vecinas a los mallines y comprende las morenas y rocas aborregadas. Las capas vectoriales de corredores se rasterizaron y a cada una de ellas se superpuso la capa temática de valles, obtenida por digitalización en pantalla sobre la imagen compuesta 3, 4, 5 y rasterizada. Los lagos (aguas profundas) fueron excluidos de los polígonos de corredores.

2.2.4. Validación del modelo espacial

El mapa de hábitat y los mapas de corredores superpuestos constituyen sendos modelos espaciales probables para las actividades humanas de los cazadores de a caballo y de a pie. La validación se realizó con el módulo CROSSTAB de IDRISI, que compara dos mapas de variables categóricas, para determinar la proporción de sitios arqueológicos coincidentes con píxeles de hábitat y con aquellos que forman parte de cada modelo espacial (hábitat más corredor). Para ello se generó una capa de Sitios arqueológicos. Esta capa, superpuesta con la capa de Hábitat y con los modelos espaciales de CAP y CAC, permitió identificar los sitios arqueológicos no coincidentes en cada caso.

3. Resultados

3.1. Mapa de cobertura de la tierra

La clasificación de la imagen en tipos de cobertura de la tierra ([figura 1](#)) muestra el predominio de píxeles de bosque abierto (40%), categoría que incluye en gran parte bosques nativos que han sido intervenidos y aparecen invadidos por especies exóticas (rosa mosqueta) fenómeno que se repite en otras zonas de la Patagonia Andina, con plantas escapadas de los asentamientos

humanos. Es probable que estas formaciones fueran bosques densos antes de la colonización europea. Las pocas plantaciones forestales también quedaron clasificadas como bosques, y es altamente probable que lo fueran, ya que se encuentran rodeadas de ellos. El Suelo Desnudo ocupa el 22% de los píxeles, que se encuentran muy dispersos. Al filtrar el mapa de cobertura con una ventana de 3x3 píxeles, el 19% de los píxeles de Suelo Desnudo pasan a Bosque Abierto y el 5% a Mallín, mostrando que se entremezclan con estas dos categorías. Las áreas compactas de suelo desnudo se encuentran en tierras altas y superficies inclinadas o cubiertas de roca. Por estas consideraciones, los Bosques Densos y Abiertos y el Suelo Desnudo, fueron considerados no aptos para las actividades relacionadas con la subsistencia de los cazadores-recolectores.

Los Mallines, que ocupan el 22% de los píxeles, forman parches más compactos; al filtrar la imagen sólo el 10% de los píxeles pasan a Bosque Abierto. Son lugares ideales para la caza puesto que es uno de los espacios donde se alimenta el guanaco. También, son importantes para los CAC, dada la disponibilidad de pasturas para la ganadería de origen europeo. Esta categoría, junto con Aguas someras y los bordes de Aguas Profundas, fueron consideradas como hábitat.

El modelo muestra una exactitud aceptable a juzgar por el valor de KIA = 75 %. Sin embargo, este dato requiere confirmación con un número mayor de puntos de referencia en el campo. Se tuvo especial cuidado de no emplear puntos cercanos a los sitios de entrenamiento, asegurando independencia entre los datos usados para la validación y para el desarrollo del modelo; esto redujo la cantidad de puntos de referencia a 31.

3.2. Modelos espaciales

Sólo el 27 % de los píxeles quedaron clasificados como hábitat ([figura 2](#)), incluyendo los sitios de avistaje. La tabulación cruzada del mapa original de hábitat con el mapa filtrado según la moda muestra que el 3% de los píxeles aparece suelto, a una distancia de al menos 3 píxeles de otros de hábitat. La mayor parte de los píxeles aislados corresponde a aguas someras, que por hallarse en los ríos y arroyos, quedan incluidas en los corredores. La mayoría de las celdas de hábitat se encuentra formando grandes parches de mallines.

El corredor de los cazadores de a pie ([figura 3](#)) es amplio, ocupa el 29 % de los píxeles del área de estudio, mientras que el de los cazadores a caballo ([figura 4](#)) sólo el 25 %. Éste último se superpone con los grandes parches de Mallín, de modo que en el modelo espacial de los cazadores a caballo ([figura 4](#)), que resulta de la superposición de las capas de hábitat y corredor, la superficie potencial de sitios arqueológicos es del 40 % de los píxeles. El modelo espacial de los cazadores a pie ([figura 3](#)) muestra una mayor extensión, 48 % de los píxeles porque el corredor no se superpone con los grandes manchones de Mallín.

3.2. Validación de los modelos espaciales

De los 11 puntos en los cuales se hallaron sitios en estudio previos, 9 (82%) se ubican en píxeles positivos de los modelos espaciales ([figura 5](#)). Sólo 6 de los sitios (55%) caen dentro o en el borde de parches de hábitat, específicamente, de los mallines. Los 5 restantes están en parches de

Matteucci, S. D. y Scheinsohn, V. (2004): "Procesamiento de imágenes, SIG y modelos ecológicos aplicados a la arqueología", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 93-109. ISSN: 1578-5157

bosque abierto, en las cercanías de mallines o de fuentes de agua. Cabe imaginar que es posible que los cazadores incursionaran hacia los bosques en búsqueda del huemul u otros recursos como vegetales (incluso en los bosques más húmedos se habría obtenido caña colihue para confeccionar astiles) y permanecieran cerca de sus bordes. Podría incluirse en el modelo de comportamiento el borde del bosque como hábitat; sin embargo, no existe información acerca del ancho de bosque que habría que considerar y por otra parte éstas serían incursiones puntuales que habrían dejado pocos o ningún material arqueológico.

El corredor de los cazadores a caballo contiene un solo sitio arqueológico, de modo que el Modelo Espacial CAC contiene 7 sitios, debido a la superposición del corredor y los mallines. De los 4 sitios no coincidentes, 2 se encuentran a dos píxeles de distancia de parches de hábitat y uno a tres píxeles de distancia. Por otro lado, el corredor de los cazadores a pie contiene 8 sitios, de los cuales 6 se encuentran en los mallines. De los tres sitios no coincidentes, uno se encuentra a 4 píxeles de un parche de hábitat. Existe un sitio totalmente aislado, y alejado de píxeles de hábitat y de corredor.

Como se verá, hay una cierta superposición entre el modelo espacial de los CAC y el de los CAP, pero también hay espacios diferenciados. Según los dos modelos espaciales habría sitios asignables a CAC y a CAP. Sin embargo, el estudio de los materiales presentes en el registro arqueológico no permite sostener esta diferenciación. De hecho, el único sitio que tiene fechados, Cerro Pintado, permite adscribir las ocupaciones de ese sitio a momentos previos a la adquisición del caballo, a pesar de que aparece incluido dentro del modelo espacial de los CAC. Sin embargo las características del sitio, en donde hubo muy poca sedimentación en casi 2000 años, permiten suponer que pudo haber sido ocupado en momentos bastante recientes y estos materiales podrían estar depositados junto con otros más antiguos (en lo que Binford, 1981, p. 9 dio en llamar palimpsesto). De todas formas queda en una zona que si bien es considerada no hábitat está rodeada de parches de hábitat para los CAP ([figura 5](#), [tabla 1](#)). El sitio Lili 2 presenta pinturas rupestres sin artefactos asociados, y sería lo esperable de encontrar en aquellas incursiones a zonas boscosas que mencionamos en los párrafos precedentes: hallazgos aislados y escasos. Por otro lado, no deja de ser interesante el hecho de que los sitios del Juncal de Calderón (1 a 3) aparezcan vinculados al modelo espacial de los CAP y no de los CAC. Sin embargo, no hay nada en los materiales estudiados del sitio que permitan sostener una diferencia de este tipo.

De todas formas, a pesar de que la separación entre CAC y CAP no se vea corroborada por lo que se conoce arqueológicamente, los modelos espaciales obtenidos, en conjunto, son orientativos respecto de la ubicación de los sitios arqueológicos conocidos.

4. Conclusiones

En los modelos espaciales propuestos, la posible ubicación de materiales arqueológicos (hábitat y corredores) coincide en gran medida con la información obtenida hasta el momento. Sin embargo, del análisis de la configuración espacial surge la posibilidad de que existan sitios en zonas que hasta el momento no fueron prospectadas (i.e. Río Pedregoso) y que presentan buenas condiciones de habitabilidad y circulación por lo que merecen, en consecuencia, una inspección más

Matteucci, S. D. y Scheinsohn, V. (2004): "Procesamiento de imágenes, SIG y modelos ecológicos aplicados a la arqueología", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 93-109. ISSN: 1578-5157

detallada. Tal es el caso de varios puntos de avistaje y del pastizal semiárido de la ladera en el extremo oeste del área de estudio. Visitas futuras permitirán confirmar o refutar esta hipótesis.

Cabe señalar que este tipo de modelo requiere mucha información acerca del comportamiento de las poblaciones humanas pasadas. Hasta el presente ésta no es lo suficientemente detallada y el modelo podría mejorarse. Así, continuará siendo puesto a prueba en Cholila, donde existe suficiente documentación arqueológica. Luego será aplicado en otras áreas de la CA42 (El Bolsón) y áreas vecinas (Río Manso) donde se están continuando las investigaciones arqueológicas. Asimismo, y en vista de la importancia que tuvieron para la supervivencia de estas poblaciones las especies terrestres, se establecerán modelos espaciales para huemules, para los que existen hipótesis sobre su comportamiento pasado (Fernández, 2003) y para guanacos. Estos modelos, junto con el establecido para los humanos, y otras capas temáticas referidas a otros recursos, serán cruzados para verificar su grado de congruencia.

Otra de las limitaciones del modelo es que los tipos de cobertura del presente pueden haber variado y no siempre es posible conocer cuáles fueron esos cambios. En estos momentos se están desarrollando estudios paleoambientales en el Lago Mosquito que aportarán información a este respecto.

Además, no siempre se cuenta con los niveles de detalle adecuados en todas las variables. Uno de los problemas de la zona andina argentina es que las hojas topográficas existentes tienen una escala de representación demasiado pequeña como para detectar desniveles que resultan importantes a escala humana.

Una vez superadas estas limitaciones, esta metodología permitirá generar, como producto final un modelo predictivo que facilitará el abordaje del estudio de materiales arqueológicos en zonas de baja visibilidad.

Referencias bibliográficas

- Allen, K. M. S.; Green, S. W. y Zubrow, E. B. W. (1990, Eds.): *Interpreting space: GIS and Archaeology*. London, Taylor & Francis.
- Bellelli, C., Podestá, M. M., Fernández, P. M., Scheinsohn, V. y Sánchez, D. (1998): *Imágenes para el futuro. Arte rupestre patagónico, su registro y preservación en la Comarca Andina del Paralelo 42°*. Buenos Aires, Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano.
- Bellelli, C., Pereyra, F. X., Fernández, P. M., Scheinsohn, V. y Carballido, M. (2000a): "Aproximación geoarqueológica del sector sur de la Comarca Andina del Paralelo 42 (Cholila, Chubut)", *Revista Cuaternario y Ciencias Ambientales*. Publicación Especial, 4, pp. 15-21.
- Bellelli, C., Scheinsohn, V., Fernández, P., Pereyra, F., Podestá, M. y Carballido, M. (2000b): "Arqueología de la Comarca Andina del Paralelo 42. Localidad Cholila. Primeros resultados", en *Desde el País de los Gigantes. Perspectivas arqueológicas en Patagonia*. Río Gallegos, Universidad Nacional de la Patagonia Austral, pp. 587-602.
- Bellelli, C., Carballido, M., Fernández P. y V. Scheinsohn (2003): "El pasado entre las hojas. Nueva información arqueológica del Noroeste de la Provincia de Chubut, Argentina". Presentado para publicación a la *Revista Werken*, Ms.

Matteucci, S. D. y Scheinsohn, V. (2004): "Procesamiento de imágenes, SIG y modelos ecológicos aplicados a la arqueología", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 93-109. ISSN: 1578-5157

- Binford, L. (1981): *Bones. Ancient Men and Modern Myths*. New York, Academic Press.
- Binford, L. (1990): "Mobility, housing and environment: a comparative study". *Journal of Anthropological Research*, 46, 2, pp. 119-152.
- Binford, L. (2001): *Constructing frames of reference. An analytical method for archaeological theory building using hunter-gatherer and environmental data sets*. Berkeley, University of California Press.
- Borrero, L. A. (2001): *El poblamiento de la Patagonia. Toldos, milodones y volcanes*. Buenos Aires, Emece.
- Cabrera, A. y Willink, A. (1980): *Biogeografía de América Latina*. Monografía N°13, Washington, DC., Organización de Estados Americanos.
- Casamiquela, R. (1965): "Rectificaciones y ratificaciones hacia una interpretación definitiva del panorama etnológico de la Patagonia y área septentrional adyacente", en *Cuadernos del Sur*, Bahía Blanca, Instituto de Humanidades, Universidad Nacional del Sur.
- Claraz, J. (1988): *Diario de viaje de exploración al Chubut*. Buenos Aires, Marymar.
- Clark Labs (1998): *CartaLinx: the spatial data builder*. Worcester, Ma., Clark University.
- Cox, G. (1999): *Viaje en las regiones septentrionales de la Patagonia (1862-1863)*. Buenos Aires, El Elefante Blanco.
- Dimitri, M. (1972): *La región de los bosques andino-patagónicos*. Colección Científica 10, Buenos Aires, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Eastman, J. R. (1999): *IDRISI 32. Guide to GIS and image processing*. Worcester, Ma., Clark Labs, Clark University.
- Escalada, F. (1949): *El complejo tehuelche. Estudios de Etnografía patagónica*. Buenos Aires, Coni.
- ESRI (1996): *Arc View GIS*. Redlands, California, Environmental Systems Research Institute, Inc.
- Fernández, P. M. (2003): "The huemul (*Hippocamelus bisulcus*) as a resource in the past: a case study in Andean Patagonia", en G. Barrientos, G., Gutiérrez, M, Mengoni Goñalons, G., Miotti, L y Salemme, M. (Eds.): *Zooarchaeology and taphonomy in Argentina*. Oxford, British Archaeological Reports, International Series (en prensa).
- Judge, W. J. y Sebastian, L. (1988, Eds.): *Quantifying the present and predicting the past: theory, method, and application of archaeological predictive modeling*. Denver, U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management Service Center.
- Kvamme, K. (1999): "Recent directions and developments in geographical information systems", *Journal of Archaeological Research*, 7, 2, pp. 153-201.
- Mena, F. (1997): "Middle to late holocene adaptations in Patagonia", en McEwan, C., Borrero, L. y Prieto, A. (Eds.): *Patagonia. Natural history, prehistory and ethnography at the uttermost end of the Earth*. Londres, British Museum Press.
- Mengoni Goñalons, G. L. (1995): "Importancia socio-económica del guanaco en el periodo Precolombino", en Puig, S. (Ed.): *Técnicas para el manejo del guanaco*. Gland, Grupo de Especialistas en Camélidos. Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza (UICN).
- Morello, J. (1999, Coord.): "Ambiente biológico-ecológico, Provincias Patagónicas", en: *Segundo proyecto de asistencia técnica para el desarrollo del sector minero argentino (PASMA II)*. Buenos Aires. Informe inédito presentado a Lakefield Research.
- Musters, G. (1997): *Vida entre los patagones*. Buenos Aires, El Elefante Blanco.
- Nacuzzi, L. (1998): *Identidades impuestas. Tehuelches, aucas y pampas en el norte de la Patagonia*. Buenos Aires, Sociedad Argentina de Antropología.

Matteucci, S. D. y Scheinsohn, V. (2004): "Procesamiento de imágenes, SIG y modelos ecológicos aplicados a la arqueología", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 93-109. ISSN: 1578-5157

Podestá, M., Bellelli, C., Fernández, P., Carballido, M., Scheinsohn, V. y Paniquelli, M. (2000): "Arte rupestre de la Comarca Andina del Paralelo 42°: un caso de análisis regional para el manejo de recursos culturales", en Podestá, M. M. y de Hoyos, M. (Eds.): *Arte en las rocas, arte rupestre, menhires y piedras de colores en la Argentina*. Buenos Aires, Sociedad Argentina de Antropología.

Scheinsohn, V. (2001): "Odisea del espacio. Paisajes y distribuciones artefactuales en arqueología, resultados y propuestas", *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología*. Tomo XXVI, pp. 285-301.

Scheinsohn, V. (2003): "Hunter-gatherer archaeology in South America", *Annual Review of Anthropology*, 32, pp. 339-361.

Scheinsohn, V. y Matteucci, S. D. (2004): "Spaces and species: Archaeology, landscape ecology and spatial models in Northern Patagonia", *Before Farming: the Archaeology and Anthropology of Hunter-Gatherers*, International, Quarterly Archaeology and Anthropology Journal, n° 1, article 2. Western Academic and Specialist Press Ltd, Bristol. <http://www.waspress.co.uk/journals/index.html>

TABLAS

Tabla 1. Sitios Arqueológicos en el área de estudio

Número	Nombre del sitio	Descripción
1	Cerro Pintado	Alero estratificado con arte rupestre
2	Campo Cifuentes	Enterratorio tipo chenque
3	El Peñasco	Alero con arte rupestre
4	Juncal de Calderón 1	Sitio de superficie
5	Juncal de Calderón 2	Sitio de superficie
6	Juncal de Calderón 3	Sitio de superficie
7	Los Guanacos 1	Sitio de superficie
8	Los Guanacos 2	Sitio de superficie
9	Los Guanacos 3	Sitio de superficie
10	Lili 2	Bloque errático con arte rupestre
11	Raimapu	Alero con arte rupestre

FIGURAS

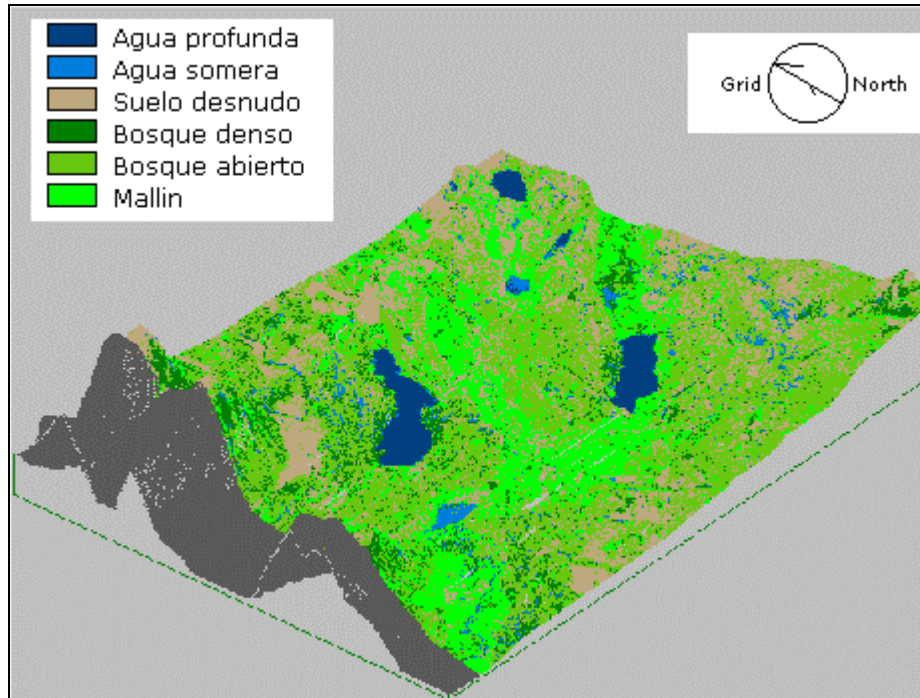


Figura 1. Mapa de cobertura de la tierra

La capa temática cobertura se representa sobre el MDE. La clasificación en 6 tipos de cobertura se obtuvo por clasificación supervisada de la imagen Landsat 7 ETM. El MDE se obtuvo a partir de las curvas de nivel digitalizadas en pantalla con la carta topográfica del Instituto Geográfico Militar como fondo.

Matteucci, S. D. y Scheinsohn, V. (2004): "Procesamiento de imágenes, SIG y modelos ecológicos aplicados a la arqueología", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 93-109. ISSN: 1578-5157

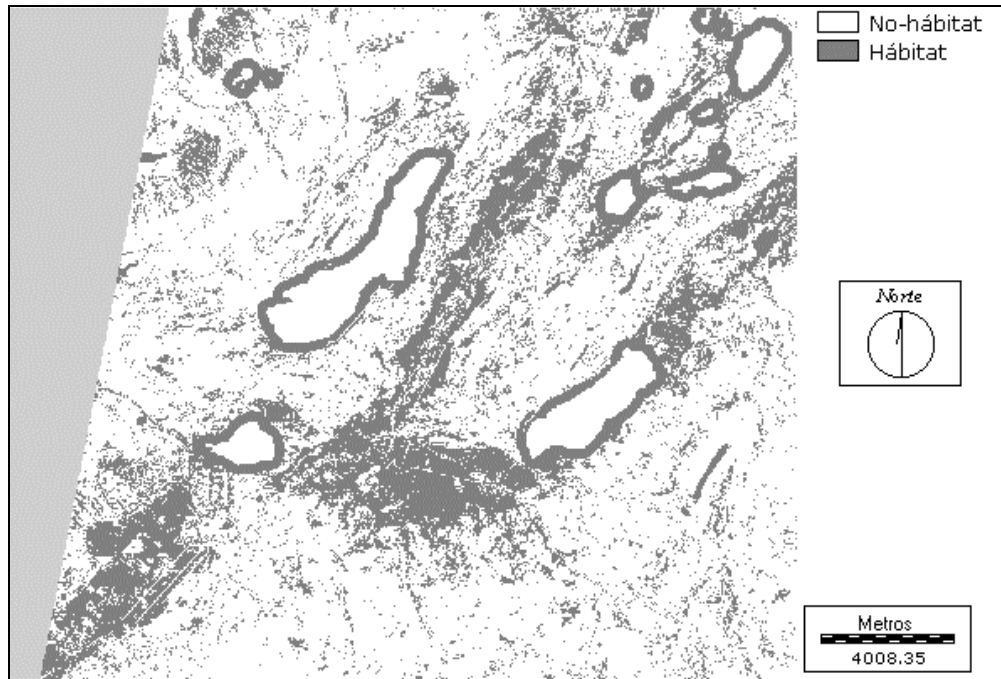


Figura 2. Mapa de hábitat

Se obtuvo por reclasificación del mapa de cobertura. Los criterios para la reclasificación se basan sobre las estrategias de comportamiento de las comunidades originales. 0= no hábitat; 1= hábitat

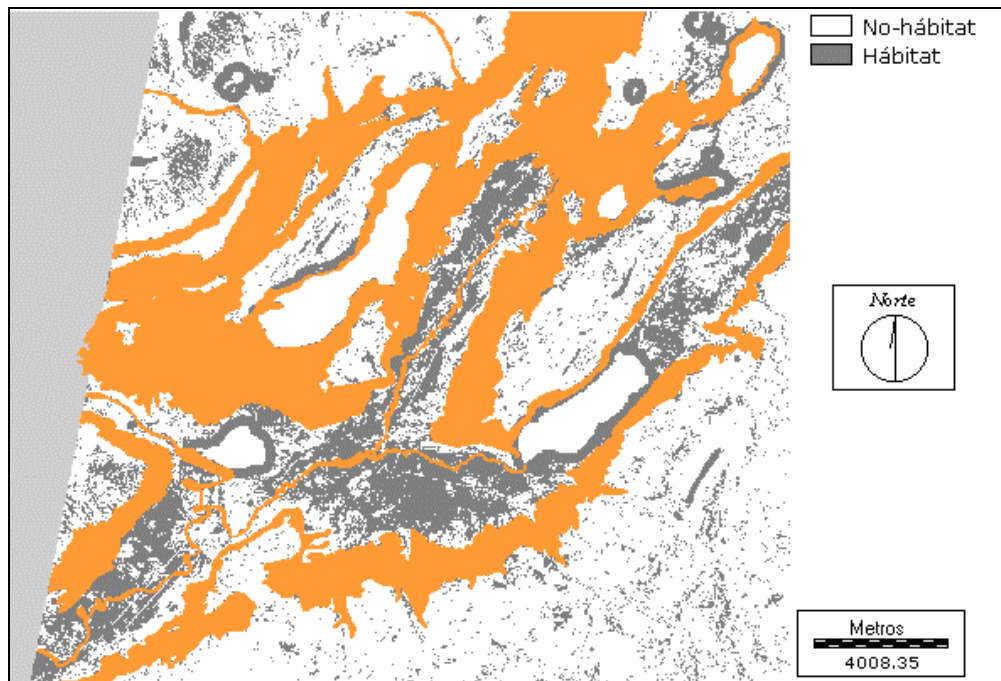


Figura 3. Modelo espacial para los Cazadores a Pie

Se obtuvo por superposición del mapa corredor (naranja) sobre el de hábitat.

Matteucci, S. D. y Scheinsohn, V. (2004): "Procesamiento de imágenes, SIG y modelos ecológicos aplicados a la arqueología", *GeoFocus (Artículos)*, n° 4, p. 93-109. ISSN: 1578-5157

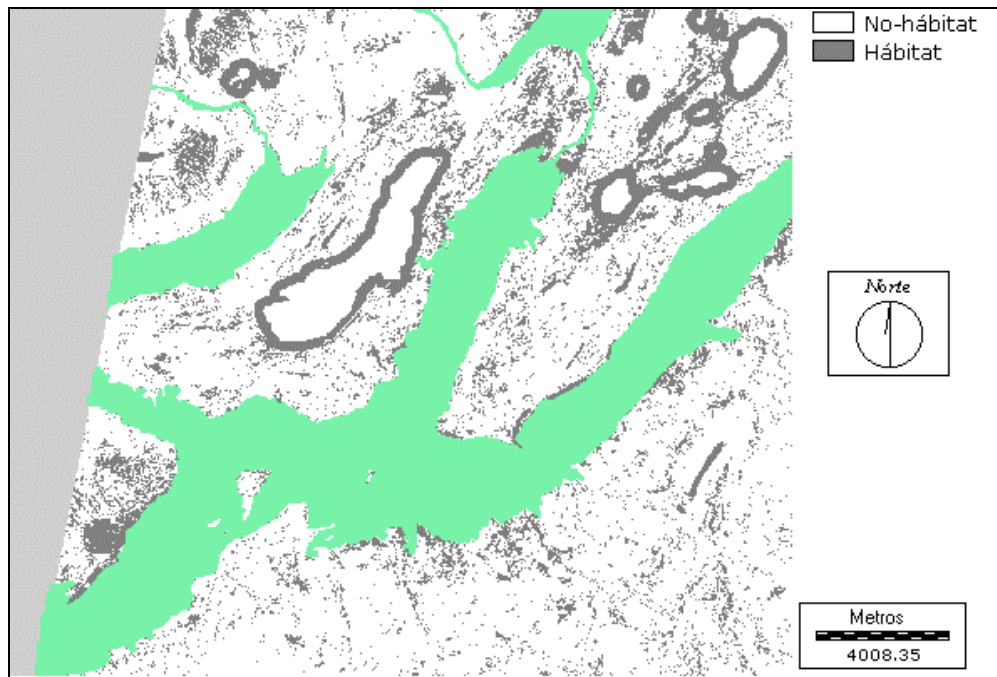


Figura 4. Modelo espacial para los Cazadores a Caballo
Se obtuvo por superposición del mapa de corredor (verde) sobre el de hábitat.

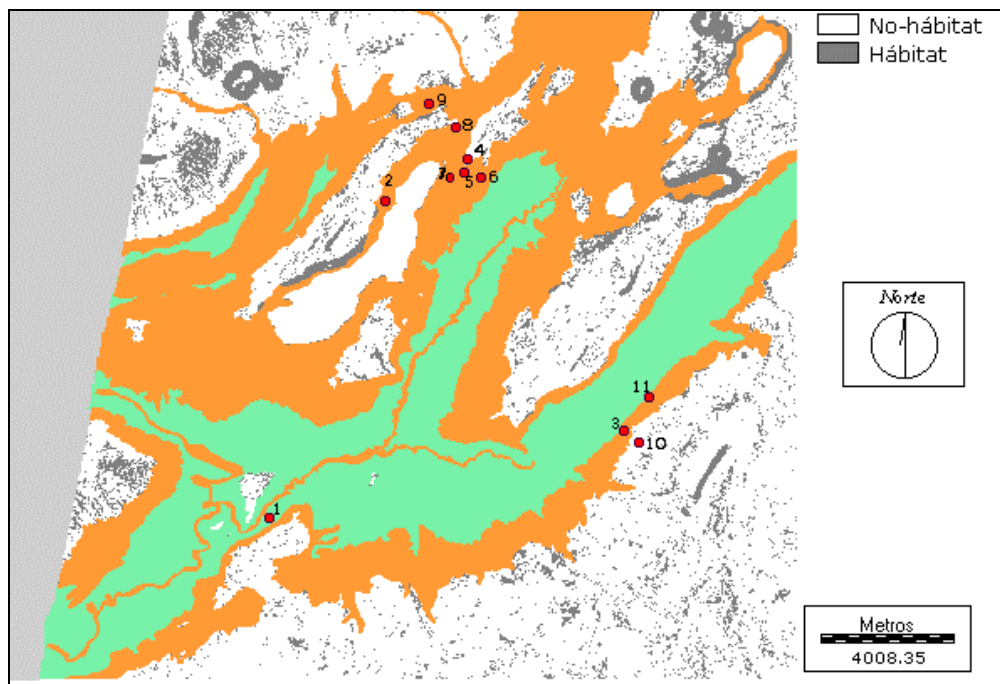


Figura 5. Validación de los modelos
El mapa se obtiene por superposición de las capas de hábitat y ambos corredores (CAP = naranja; CAC = verde). Se muestran los sitios de validación en rojo, numerados como en la [tabla 1](#).