

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**



**“REPRESENTACIÓN DE LOS PATRONES DINÁMICOS DEL PAISAJE  
DEL CAMPUS DE LA UNALM COMO SISTEMA SOCIO-ECOLÓGICO  
MEDIANTE MODELOS DE ESTADO-TRANSICIÓN ENTRE LOS AÑOS  
1970, 1976, 2011 Y 2014”**

**Presentado por:**

**Denis Franss Malpartida Ramos**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO**

**DE BIÓLOGO**

**Lima – Perú**

**2015**

Registro de firmas del jurado y patrocinador.

-----  
Maest. Cs. Juan Torres Guevara

PRESIDENTE

-----  
Mg. Sc. Zulema Quinteros Carlos

MIEMBRO

-----  
Mg. Aldo Ceroni Stuva

MIEMBRO

-----  
Dr. Edgar Sánchez Infantas

PATROCINADOR

## DEDICATORIA

*Al amor: que me hizo crecer (el de mi familia), que me hizo corresponder (el de mis amigos) y el que me hace seguir soñando (el de mis maestros).*

## AGRADECIMIENTOS

Al Vicerrectorado de Investigación de la UNALM.

Al Laboratorio de Planeamiento Ambiental y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ingeniería Agrícola.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
2.1. ECOLOGÍA DEL PAISAJE.....	5
2.2.1. LA CIENCIA DEL PAISAJE .....	5
2.2.2. MODELAMIENTO DEL PAISAJE .....	6
2.2.3. ÍNDICES DE CONFIGURACIÓN, COMPOSICIÓN Y FORMA. ....	7
2.3. SISTEMAS SOCIO-ECOLÓGICOS .....	7
2.3.1. SISTEMAS COMPLEJOS ADAPTATIVOS.....	7
2.3.2. SISTEMAS SOCIO-ECOLÓGICOS.....	8
2.3.3. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS .....	11
2.4. MODELO DE ESTADO-TRANSICIÓN (STM).....	13
2.4.1. BASES DEL MODELO STM .....	13
2.4.2. REGÍMENES DINÁMICOS .....	14
2.4.3. CONSIDERACIONES DEL STM .....	15
2.4.4. DEFINICIONES DEL MODELO STM.....	16
2.5. HISTORIA DE LIMA Y LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA.....	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1 MATERIALES .....	19
3.2 ÁREA DE ESTUDIO .....	19
3.3 METODOLOGÍA .....	20
3.3.1. GENERACIÓN DE LOS MAPAS .....	20
3.3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS MAPAS.....	21
3.3.3. ÍNDICES DE FORMA Y CONFIGURACIÓN.....	23
3.3.4. ÍNDICES DE COMPOSICIÓN .....	24

3.3.5. ELABORACIÓN DE LAS MATRICES DE PROBABILIDADES DE CAMBIO.....	24
3.3.6. ELABORACIÓN DE LOS MODELOS DE ESTADO-TRANSICIÓN .....	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1. CARACTERÍSTICAS DEL PAISAJE DEL CAMPUS UNALM.....	29
4.1.1. MATRIZ DEL PAISAJE DEL CAMPUS UNALM .....	29
4.1.2. VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LAS CLASES DE 1970, 1976, 2011 Y 2014.....	30
4.2. EVALUACIÓN DE LAS TENDENCIAS DE CAMBIO DE 1970 A 1976.....	32
4.2.1. VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS ESTADOS DE 1970 A 1976 .....	32
4.3. EVALUACIÓN DE LAS TENDENCIAS DE CAMBIO DEL 2011 AL 2014 ...	35
4.3.1. VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS ESTADOS DEL 2011 AL 2014.....	35
4.3.2. MODELO DE ESTADO-TRANSICIÓN DE 2011 AL 2014 .....	36
4.4. EVALUACIÓN DE LAS TENDENCIAS DE CAMBIO DE 1970 AL 2014.....	38
4.4.1. VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS ESTADOS DE 1970 AL 2014.....	38
4.6. ÍNDICES DE CONFIGURACIÓN DE FORMA (MSI) Y CONECTIVIDAD (PC) .....	41
4.6.1. VARIACIÓN DEL ÍNDICE DE FORMA (MSI).....	41
4.7. EL CAMPUS UNALM COMO SISTEMA SOCIO-ECOLÓGICO.....	45
4.7.1. DEFINICIÓN DEL SISTEMAS SOCIO-ECOLÓGICO DEL CAMPUS UNALM .....	45
4.7.2. EL ENTORNO EN UNA ETAPA DE CONSERVACIÓN “K” .....	46
4.7.3. EL SSE-CAMPUS EN UNA ETAPA DE CRECIMIENTO “I” .....	48
4.7.4. LA PANARQUIA EN UN SENTIDO DE SOSTENIBILIDAD DEL SSE-CAMPUS .....	49
4.7.5. GESTIÓN DE LA RESILIENCIA DE LOS SISTEMAS SOCIO-ECOLÓGICOS DEL CAMPUS. ....	50
V. CONCLUSIONES.....	54
VI. RECOMENDACIONES .....	56
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58
VIII. ANEXOS .....	65

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resoluciones de las imágenes satelitales. ....	21
Cuadro 2. Descripción de las clases, resumido de Arnao (2014). ....	22
Cuadro 3. Matriz de probabilidades de cambio para el primer periodo (1970-1976). ....	26

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imagen satelital del campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima-Perú), referenciando su ubicación en Lima. Fuente: Laboratorio de Planeamiento Ambiental y Ordenamiento Territorial. Tomado de Arnao (2014). .....	20
Figura 2 . Formula del MSI. ....	23
Figura 3. Fórmula de cálculo del índice PC (Saura y Rubio 2010). ....	24
Figura 4 . Determinación de las probabilidades de cambio de la clase Suelo Descubierta a partir del número de pixeles que se convierten en otra clase o permanecen en la misma... ..	25
Figura 5. Modelos de Estado-transición 1970-1976, donde cada polígono representa un estado (una clase) y cada flecha las probabilidades de transición. ....	27
Figura 6. División de zonas del campus para la evaluación de las tendencias de cambio. Tomado de Castillo (2013). ....	28
Figura 7. Porcentaje del área ocupada en el paisaje por cada clase. Desataca la Vegetación Cultivada como matriz del paisaje. ....	29
Figura 8. Tendencia del incremento de la Estructura Humana (en m <sup>2</sup> ). ....	30
Figura 9. Tendencia decreciente del Suelo Descubierta (en m <sup>2</sup> ). ....	31
Figura 10. Aumento de la Fuente de Agua en el campus (en m <sup>2</sup> ). ....	31
Figura 11. Variación de la composición de la Estructura Vegetativa en m <sup>2</sup> . ....	32
Figura 12. Variación de la composición de los estados de 1970-1976. ....	33
Figura 13. Modelo de Estado-transición de 1970-1976. ....	35
Figura 14. Variación de la composición de los estados del 2011 al 2014. ....	36
Figura 15. Modelo de Estado-transición de 2011 al 2014. ....	37
Figura 16. Variación de la composición de los estados desde 1970 al 2014. ....	39
Figura 17. Modelo Estado-transición de 1970 al 2014. ....	40
Figura 18. Variación del índice de configuración de forma (MSI) desde 1970 al 2014. ...	42
Figura 19. Umbral de conectividad ecológica en el año 2014 donde el punto de inflexión es 48 m, esto es la distancia de dispersión máxima para individuos dependientes de la conectividad ecológica (Bodin y Zetterberg 2012). ....	43



Figura 20. Variación del índice PC desde 1970 al 2014, este es adimensional, cuya definición es la probabilidad de encontrar al azar dos parches conectados entre sí (Pascual-Hortal y Saura 2007). .....	44
Figura 21. La panarquía es definida mediante las interacciones de los ciclos adaptativos como propone Holling (2001). .....	46
Figura 22. Variación del entorno en los años de 1970, 1976, 2011 y 2014. ....	47
Figura 23. Las dimensiones que definen la etapa de un ciclo adaptativo: el potencial, la conectividad y la resiliencia. Tomado de (Gunderson y Holling 2001).....	49
Figura 24. Descripción de los servicios ecosistémicos disponibles para el diseño del Campus Resiliente de Albano, Estocolmo. Tomado de los principios para el urbanismo social-ecológico (Barthel <i>et al.</i> 2013).....	51
Figura 25. Controladores exógenos, variables de cambio rápido y lento de un sistema socio-ecológico (Chapin <i>et al.</i> 2009).....	52

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Fotografía aérea digitalizada de 1970.....	65
Anexo 2. Fotografía aérea digitalizada de 1976. ....	65
Anexo 3. Imagen satelital de alta definición del 2011. ....	66
Anexo 4. Imagen satelital de alta definición del 2014. ....	66
Anexo 5. Mapa de transiciones del periodo de 1970 a 1976.....	67
Anexo 6. Mapa de transiciones del periodo de 2011 al 2014.....	68
Anexo 7. Mapa de transiciones del periodo de 1970 al 2014.....	68
Anexo 8. Mapa de la Estructura Vegetativa en el 2014. ....	69
Anexo 9. Mapa del campus del año 1970.....	70
Anexo 10. Mapa del campus del año 1976.....	71
Anexo 11. Mapa del campus del año 2011.....	72
Anexo 12. Mapa del campus del año 2014.....	73
Anexo 13. Matriz de cambio y permanencia del periodo 1970-1976. ....	74
Anexo 14. Matriz de cambio y permanencia del periodo 2011-2014. ....	74
Anexo 15. Matriz de cambio y permanencia del periodo 1970-2014. ....	74
Anexo 16. Transiciones más importantes del periodo 1970-1976 .....	75
Anexo 17. Transiciones más importantes del periodo 2011-2014. ....	75
Anexo 18. Transiciones más importantes del periodo 1970-2014 .....	76
Anexo 19. Número de ingresantes por año de la UNALM. Tomado de Arnao (2014) .....	76
Anexo 20. Mapa de red de canales para regadío usada en las haciendas coloniales. Tomado de Arnao (2014). ....	77
Anexo 21. Línea de tiempo de la historia de la universidad.....	78

## RESUMEN

Se evaluó las tendencias de cambio del paisaje del campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina como sistema socio-ecológico, así se analizó la evolución de los patrones generados por la interacción de los procesos sociales y ecológicos en el campus; esta dinámica se modeló y cuantificó mediante Modelos de Estado-transición (para los periodos de 1970 a 1976, de 2011 al 2014 y de 1970 al 2014) e índices del paisaje de configuración, composición y forma. Se reflexionó sobre la *sostenibilidad* del campus desde el concepto de *panarquía*, basada en las evidencias cuantitativas y cualitativas generadas; considerando la dinámica y las influencias cruzadas de las escalas por encima y por debajo del sistema socio-ecológico del campus. Obteniéndose que el entorno del sistema socio-ecológico del campus se encontró en una fase de conservación “K” caracterizada por una urbanización intensa, definiendo el contexto de la evolución del paisaje estudiado. A la escala de interés, el sistema socio-ecológico del campus se encontró en una etapa de crecimiento “r”, por tener tasas de urbanización cada vez mayores, que han disminuido los ecosistemas desérticos y la matriz del paisaje, fragmentado la conectividad ecológica, e interrumpiendo con la dinámica de sucesiones de los ecosistemas, limitando su capacidad de proveer servicios al ser aproximados a fases de colapso “ $\Omega$ ”. Así, se identificó la oportunidad de poder difundir innovaciones, hacia las escalas mayores, a partir de la gestión de la resiliencia del sistema socio-ecológico del campus, que debe buscar un aprendizaje continuo de cómo evitar los colapsos y fomentar la capacidad de sus ecosistemas de proveer servicios.

**Palabras Clave:** Paisaje, Cambio, Campus UNALM, Modelos de Estados-transición, Sistemas socio-ecológicos, Panarquía, Resiliencia, Sostenibilidad, Urbanización.

## ABSTRACT

Changing trends campus landscape of the Universidad Nacional Agraria La Molina as socio-ecological system. This was evaluated and the evolution of the patterns generated by the interaction of social and ecological processes; These dynamics are modeled and quantified by state-transition models (for the periods 1970 to 1976, 2011 to 2014 and from 1970 to 2014) and indices of landscape configuration, composition and form. They reflected on the *sustainability* of the campus from the concept of *panarchy*, based on quantitative and qualitative evidence generated; considering the dynamic and cross-influences of the scales above and below the socio-ecological system of the campus. Obtaining that the environment of socio-ecological system of the campus was in a conservation phase "K" characterized by intense urbanization, defining the context of the evolution of the landscape studied. The socio-ecological system of the campus was in a growth phase "r" to have increasing rates of urbanization, which have fallen desert ecosystems, the landscape matrix, fragmented ecological connectivity, and interrupting the successional dynamics of ecosystems, limiting their ability to provide services to be approximate to phase collapse "Ω". Thus, the opportunity to spread innovations to higher scales based on the management of socio-ecological resilience campus system to look for continuous learning how to avoid collapses and building the capacity of ecosystems to provide services.

**Keywords:** Landscape, Change, Campus UNALM, State-transition models, Socio-ecological systems, Panarchy, Resilience, Sustainability, Urbanization.

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel del *conocimiento científico* existe un acercamiento precognitivo que repiensa el conocimiento, permitiendo su discusión y análisis (Martínez y Rios 2006); así, desde las recomendaciones de Karl Popper se reflexiona sobre su “meta-Teoría” dimensionada en tres mundos. Esta tesis supone tres *realidades*: el mundo de las cosas objetivas (“mundo 1”, donde está todo lo que captamos con nuestros sentidos); luego, el mundo de los contenidos subjetivos (“mundo 2”, que incluye los contenidos de conciencia y de la vida interior del sujeto); y en tercer lugar, el mundo de las construcciones simbólico-culturales que trascienden al individuo para colocarse en el dominio de las sociedades (“mundo 3”, el de las ideas y representaciones colectivas, tal como la lengua, la religión, el arte, la ley, la ciencia, etc.) (Padrón 2007). Para este tercer mundo, en cuanto a su progreso, el mismo autor plantea el marco falsacionista donde: “toda discusión comienza con un problema (P1), al que ofrecemos algún tipo de solución tentativa, una teoría tentativa (TT); ésta es entonces sometida a crítica, en un intento de eliminación de error (EE); y su revisión crítica da lugar a nuevos problemas (P2)” (Popper 1977). Las teorías tentativas (TT) pueden comprenderse desde la propuestas de Thomas Kuhn (Jaramillo y Aguirre 2004); quien introdujo la famosa idea de paradigma, que se refiere a la teoría general o el conjunto de ideas sostenidas por una generación de científicos, y de la ciencia revolucionaria (Hernández *et al.* 2005).

Un investigador asume un paradigma cuando hace uso de las metodologías de su comunidad científica; sin embargo, se insiste en que, es necesario que los científicos sean conscientes de ello, que posean un pensamiento crítico respecto a su quehacer científico: “... visión epistemológica en la que yo, como investigador, soy capaz de *darme cuenta* (pensar y reflexionar) del alcance de mis observaciones...” (Jaramillo y Aguirre 2004). Para Popper una ciencia poco crítica es petrificada y agonizante; que asume los paradigmas de forma ingenua, sin someterlos a procesos de conjetura y refutación permanentemente y quien construye este tipo de conocimiento científico es *digno de compasión*; capaz de conducir la ciencia e incluso la civilización al aniquilamiento (Popper

1977). Para Lakatos su profesional es muy poco crítico, inexperto, no pone en duda el dogma dominante y acepta el nuevo paradigma según impulsos de la moda; este *científico normal* es un hombre mal formado profesionalmente, ya que ha sido educado con un espíritu dogmático y acrítico (Padrón 2007).

En ese sentido, se reconoce que la presente investigación se ubica en el marco del paradigma complejo. Por muchos años, bajo el paradigma científico clásico, se vivió un proceso de especialización de las ciencias que llevaron al aislamiento de cada una de las disciplinas, lo que hace la ciencia de la complejidad es revertir este proceso y juntar a todas las disciplinas en la búsqueda de principios universales de funcionamiento de la realidad como sistemas, sin importar que sean sociales, biológicos, químicos, etc. (Earls 2006). Sin embargo, el uso formal del término *sistema* implica aproximarse a la Teoría General de Sistemas (TGS) cuyos fundamentos muestran su ontogenia en estudios de sistemas naturales y artificiales, pero cuando se aplica a fenómenos humanos, sociales y culturales muestran sus limitaciones, recomendándose encontrar más equivalencias entre los sistemas sociales y ecológicos desarrollando mejor el enfoque de la TGS (Arnold y Francisco 1998). Así, el término *sistema socio-ecológico* (Chapin *et al.* 2009), se presenta en esta investigación como una mejor aproximación a la realidad compleja, que permite una mejor comprensión de las problemáticas científicas contemporáneas.

Esta realidad compleja ha estado frente al hombre siempre, inclusive nuestra capacidad de su comprensión habría permitido, hace 40 mil años, prosperar sobre los neandertal cuyas estrategias de sobrevivencia se basaron en actividades operativas dirigidas a problemas complicados mas no complejos (Wynn 2008). Más adelante, 30 mil años después, las características climáticas permitieron el desarrollo de la agricultura, manteniendo desde las primeras civilizaciones hasta nosotros (Steffen *et al.* 2011). Sin embargo, los 7 mil millones de habitantes actuales se han convertido en una fuerza geofísica que, lamentablemente, nos dirige a regímenes climáticos con alta incertidumbre (Folke *et al.* 2011), impulsados por un proceso de gran aceleración desde el siglo pasado (Rockstrom *et al.* 2009), abriéndonos las puertas a lo que se empieza a llamar como el Antropoceno (Steffen *et al.* 2011). Esta nueva problemática compleja nos plantea: ¿Qué características podrá tener este nuevo estado, este nuevo régimen? uno, nada hospitalario, donde no podamos tener acceso a los servicios ecosistémicos de los que dependemos, u otro donde

no exista el hambre y la injusticia social global (Rockstrom *et al.* 2009). Así, es fundamental comprender los procesos críticos que permiten sostener a la humanidad (Steffen *et al.* 2015). Estos procesos fueron definidos por científicos de tres grupos: los interesados en la biogeoquímica global, los de la ecología económica y los que estudian la dinámica no lineal de los ecosistemas de donde nacen las propuestas de manejo de la resiliencia, manejo adaptativo, etc. un trabajo conjunto y durante años les permitió proponer nueve procesos que interrelacionados determinan la sostenibilidad de nuestras sociedades (Rockstrom *et al.* 2009).

Para esta investigación conviene fijarnos en cuatro: el mantenimiento de la integridad de la biosfera, el uso de agua dulce, los flujos biogeoquímicos y los cambios de uso de suelo. Entre ellas existen interacciones de retroalimentación positiva que desestabilizan el sistema o negativas que fortalecen la tendencia a la estabilidad (Chapin *et al.* 2009). Por ejemplo, la integridad de la biosfera permite la regulación de los flujos de carbono, nitrógeno y fósforo dependiendo de la diversidad funcional y genética de las especies; particularmente las plantas proveen mediante la evapotranspiración el agua de los ríos y lluvias (Rockstrom *et al.* 2009). Y en retroalimentación, la distorsión del ciclo del agua afecta la diversidad biológica y las funciones ecológicas incrementando la vulnerabilidad de los ecosistemas locales y regionales (Rocha *et al.* 2015). El cambio de uso del suelo en el mundo posee rangos de seguridad que evitan desencadenar otros procesos de alta incertidumbre; el 15% de la superficie terrestre son tierras cultivables, ya se usaron 12% quedando solo un 3% (400 millones de hectáreas), y extender este umbral implica normalmente tomar áreas forestales de alta diversidad (Rockstrom *et al.* 2009), por ello este límite planetario se cuantifica mediante el espacio de los biomas forestales de importancia en la regulación biofísica mundial (Steffen *et al.* 2015) cuya pieza clave es la Amazonia (Foley *et al.* 2007). Para no sobrepasar este límite se necesita un uso adecuado de las áreas más productivas y no desperdiciarlas, controlando los procesos de pérdida de suelo, erosión y la urbanización (Ericksen *et al.* 2009), y preocupa principalmente lo último, ya que se estima que para el 2030 el incremento de suelo urbano será de 200% (Elmqvist *et al.* 2013).

América Latina aún mantendrá la migración de las zonas rurales a las urbanas en las siguientes décadas, y aunque desacelere, constituirán el 90% de la población. Además hay un escaso conocimiento de la función de los ecosistemas urbanos y periurbanos, los científicos y políticos no están bien comunicados, así como los planificadores y los

ciudadanos. Es necesario generar la concientización de los tomadores de decisión respecto a la importancia de las funciones ecológicas para el mantenimiento de las ciudades (Elmqvist *et al.* 2013), Y situándonos en una escala propia, el distrito de La Molina también muestra un profundo proceso de urbanización (Arnao 2014). Entonces, cabe preguntarse si: ¿El campus cambio o no? y si lo hizo ¿Cuáles son las características de este cambio? ¿Cuáles son los patrones resultantes? Así, esta investigación resolvió el reconocimiento de los patrones dinámicos del paisaje del campus de la UNALM en los periodos de 1970 a 1976, de 2011 al 2014 y de 1970 al 2014 mediante Modelos de Estado-transición.



## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. ECOLOGÍA DEL PAISAJE

#### 2.2.1. LA CIENCIA DEL PAISAJE

La ecología del paisaje busca entender el desarrollo y la dinámica de los patrones fenoménicos ecológicos, la perturbación de los ecosistemas, las escalas espaciales, características temporales de eventos ecológicos, etc. (Urban *et al.* 1987). Así, es una base sólida para acercarnos a una comprensión de la dinámica del área estudiada. Carl Troll utilizó por primera vez la expresión *landscape ecology* en 1939, que definió como el estudio de toda la complejidad de relaciones causa-efecto que existen entre las comunidades de seres vivos y sus condiciones ambientales en una sección específica de paisaje, permitiendo una visión holística de la realidad que intenta integrar al máximo su extremada y dinámica complejidad (Vila *et al.* 2006).

La dinámica del paisaje surgirá de la relación entre patrones y procesos. En la actualidad el interés se muestra por la inclusión de procesos sociales, ya que los procesos naturales han sido tratados de forma aislada (Barthel *et al.* 2005). Dilucidar la relación entre el patrón de paisaje y procesos fundamentales es un objetivo primordial de la investigación ecológica en los paisajes (Turner 1989). La sociedad es, en muchas ocasiones, la variable ecológica dominante en la determinación de la configuración del paisaje y, en consecuencia, de las implicaciones funcionales que se generan, tanto en un momento dado como en su evolución a lo largo del tiempo (Vila *et al.* 2006).

## 2.2.2. MODELAMIENTO DEL PAISAJE

En términos generales el modelamiento es la representación de la realidad o una parte de ella; sencillamente es una interpretación del mundo o de una región del mundo que se basa en elementos conceptuales sólidos con frecuencia sometida a pruebas, falsaciones o refutaciones (Maldonado 2010). Los modelos ayudan a definir con mayor precisión los problemas y clarificar los conceptos, también proporcionan un medio de análisis de datos y la comunicación de los resultados (Turner *et al.* 2001). Este mismo autor señala la importancia imperante de la predicción en un modelo; sin embargo, este trabajo considera al paisaje como un sistema complejo y con ello, no se busca una predicción sino la representación de la dinámica paisajística. Finalmente, los modelos de paisajes deben ser considerados como herramientas o métodos para lograr un fin y no como objetivos en sí mismos, porque el conocimiento es incompleto, las suposiciones son siempre necesarias para llenar los espacios en blanco (Turner *et al.* 2001).

Los ecólogos del paisaje encuentran en los modelos una herramienta muy importante por varias razones; cuando se enfrentan al estudio de un paisaje amplio y complejo, es difícil, y a veces imposible, llevar a cabo experimentos en la escala apropiada; la manipulación experimental de grandes paisajes con el adecuado número de repeticiones independientes no es muy común debido a los altos costos y dificultad logística involucrada (Turner *et al.* 2001). Los modelos de paisajes ayudan a formalizar el conocimiento y desarrollar la teoría acerca de cómo los patrones espaciales y procesos ecológicos interactúan, produciendo en general conocimientos sobre la dinámica del paisaje; aportando información sobre la heterogeneidad y homogeneidad desde un punto de vista estrictamente cuantitativo, por lo que no se pueden extraer valoraciones de carácter cualitativo sobre los resultados obtenidos en un paisaje concreto (Vila *et al.* 2006). Así también, existen métodos de simulación exploradas para proyectar futuros patrones del paisaje basadas en sus probabilidades de transición (Turner *et al.* 2001), facilitando una interesante valoración de la situación y la evolución de los paisajes, con el objetivo final de suministrar información útil para la conservación de los valores naturales y culturales (Vila *et al.* 2006).

### **2.2.3. ÍNDICES DE CONFIGURACIÓN, COMPOSICIÓN Y FORMA.**

Existen distintas métricas para cuantificar las características de los paisajes que fundamentalmente pueden servir para el análisis individual de un parche, distintos parches del mismo tipo o distintos tipos en un paisaje (Farina 2010). Estas se pueden dividir en: los índices de composición que se refieren a la cuantificación de los atributos espaciales de los parches tales como el área, perímetro, variedad, riqueza, etc.; los de configuración que requieren para su cálculo la ubicación espacial de los parches tales como la intersección, la conectividad, agregación, división; y los de forma que analizan la regularidad de los parches (McGarigal y Marks 1995). Para el presente trabajo la composición se abordó junto a los modelos de Estado-transición y en cuanto a la configuración, se analizó mediante la conectividad ecológica y el índice de forma con el MSI (Mean Shape Index). La conectividad ecológica se puede evaluar mediante la teoría de redes (Albornoz y Alfaraz 2006), donde se identifica a un parche como un nodo y los enlaces como la distancia entre los mismos produciéndose un grafo que se puede cuantificar mediante índices, como por ejemplo el PC (Bodin y Saura 2010). El índice de forma MSI evalúa la regularidad de los parches buscando referenciar la complejidad de una forma y no asignarle un único valor, de manera simple un mayor valor del índice se relaciona con un alta complejidad en su relación perímetro-área y un bajo valor estará estandarizado con una forma regular, ya sea una circunferencia o un cuadrado (McGarigal y Marks 1995).

## **2.3. SISTEMAS SOCIO-ECOLÓGICOS**

### **2.3.1. SISTEMAS COMPLEJOS ADAPTATIVOS**

Una percepción sistemática posee diversos enfoques (Arnold y Francisco 1998), el presente estudio se basa en la diferencia de los sistemas lineales y complejos. Estos se distinguen como lo ejemplifica John Earls (2009): “Lo característico de un sistema simple es que es predecible. Y con un conocimiento básico, si es que las condiciones no cambian, podemos describir qué es lo que pasará: un reloj, el sistema solar, un péndulo, etc. Por su

parte, no podemos predecir qué es lo que pasará exactamente con un sistema complejo, podemos entender porque sucedieron ciertos eventos *a posteriori*, pero no predecirlas con exactitud *a priori*: una familia, el planeta, una nación, etc. Otra de las propiedades fundamentales de los sistemas complejos es que siguen -ciclos vitales-, es decir, cambian a lo largo del tiempo, crecen y se deshacen. Se trata de sistemas que se adaptan a su ambiente, que cambian en el tiempo para poder hacerlo". Desde la ecología estos "ciclos vitales" son denominados como ciclos adaptativos, cuyas etapas son: conservación (K), liberación ( $\Omega$ ), reorganización ( $\alpha$ ) y explotación (r) que interpretan la dinámica de los sistemas complejos a distintas escalas denominando los *sistemas complejos adaptativos* (Holling 2001, Holling y Gunderson 2002, Aramayo y Sánchez 2010). A un mismo nivel conviene definir el *espacio de estado* de un sistema que son las variables que constituyen un sistema; si por ejemplo, definimos al sistema campus por la cantidad de personas, áreas de cultivo y la diversidad de aves entonces el espacio de estado será el espacio tridimensional de todas las posibles combinaciones de estas tres variables. El estado será definido en un tiempo T por los valores de las variables en ese momento. Una "cuenca de atracción" es una región en el espacio de estados en los que el sistema tiende a mantenerse. Para los sistemas que tienden hacia un equilibrio, el estado de equilibrio se define como un *atractor*, y la cuenca de atracción constituye todas las condiciones iniciales que tenderán hacia ese estado de equilibrio (Walker *et al.* 2004)

### **2.3.2. SISTEMAS SOCIO-ECOLÓGICOS**

La teoría de sistemas socio-ecológicos proporciona un marco conceptual para comprender la dinámica integral de los sistemas ecológicos y sociales, donde se asume que todos los seres humanos dependen de los ecosistemas y la dinámica ecológica puede ser afectada por la sociedad (Levin *et al.* 2012, Andersson *et al.* 2014, Walker *et al.* 2004) La visión de sistema socio-ecológico permite tener una percepción integral de la realidad, incluyendo los factores físicos como la temperatura, topografía, etc.; los factores

biológicos como la vegetación, fauna, microorganismos, etc.; y los factores antropológicos como la población urbana, las costumbres, etc. Todos ellos interrelacionados mostrando propiedades emergentes (Chapin *et al.* 2009). La dinámica, en suma, es la coevolución de los subsistemas a través de sus interacciones formando el entorno socio-ecológico (Holling y Gunderson 2002). Finalmente existen algunos que son determinantes y pueden mantener o cambiar las tendencias del sistema (Chapin *et al.* 2009).

El comportamiento dinámico de los sistemas socio-ecológicos pueden considerarse estar dirigidos por controladores externos, variables de cambio lento y rápido en un rango de escalas de tiempo y espacio, como se resume de Chapin (2009). Los controladores externos son aquellos que tienen una naturaleza constante como el clima o la economía regional; las variables de cambio lento determinan los patrones de configuración interna, que no son evidentes en su variación para escalas cortas de tiempo y espacio; la cultura constituye un ejemplo para los subsistemas sociales y para un subsistema ecológico puede estar representado por el tiempo atmosférico o actividades humanas. Las variables de cambio rápido son las más evidentes tales como la abundancia de una población humana o la cantidad de nitrato en el suelo. Un cambio a nivel de las variables exógenas determina una reconfiguración de la dinámica y estructura de los sistemas socio-ecológicos (Rocha *et al.* 2015). Las variables sociales tanto lentas y rápidas pueden tener efectos importantes sobre los procesos ecológicos (Costanza y Folke 1996). Esto implica que los procesos tanto sociales como ecológicos definen y dan forma a la naturaleza de los cambios en los sistemas socio-ecológicos con los resultados sociales que queda supeditada a la dinámica ecológica y viceversa; es decir coevolucionan (Nayak 2014).

La evolución de los sistemas socio-ecológicos pueden estar descritos a través de tres atributos: resiliencia, la adaptabilidad y la transformabilidad y su dinámica puede comprenderse a través de los ciclos adaptativos (Walker *et al.* 2004), como se describen:

## **A. ADAPTABILIDAD**

La capacidad de adaptación (o adaptabilidad) define a los actores, tanto de los individuos y los grupos para responder, crear y dar forma a la variabilidad y cambio en el estado del sistema (Adger *et al.* 2005), o la capacidad de los actores del sistema de influir en la capacidad de recuperación (en un SSE, esencialmente para su gestión); puede prever los escenarios futuros en base al aprendizaje de la dinámica del sistema socio-ecológica al cual pertenece (Walker *et al.* 2004).

## **B. RESILIENCIA**

La capacidad de un sistema para absorber las perturbaciones y reorganizar mientras se somete a un cambio de modo que aún conservan esencialmente la misma función, estructura, identidad y evaluaciones (Holling y Gunderson 2002, Walker *et al.* 2004, Lin y Petersen 2013). Uno de los aspectos fundamentales de la resiliencia es que está definida por la interacción entre las escalas mayores y menores, esto es la idea de *panarquía* (Walker *et al.* 2004).

## **C. TRANSFORMABILIDAD**

La transformabilidad es la capacidad del sistema para poder cambiar su estructura y organización (Walker *et al.* 2004). Siempre habrá una tensión creativa entre la capacidad de recuperación (fijación de la sistema actual) y transformación (la búsqueda un nuevo estado potencialmente más deseable) porque los actores del sistema, por lo general, no están de acuerdo sobre cuándo se debe conservar o pasar a una nueva estructura alternativa (Walker *et al.* 2004).

## D. CICLOS ADAPTATIVOS

El comportamiento de los sistemas socio-ecológicos respecto a las perturbaciones que pueden sufrir se comprende a través de los ciclos adaptativos. Así, estos proporcionan un marco para describir la función de alteración de los sistemas socio-ecológicos (Holling 1986). Estos se suceden en etapas: liberación, renovación, crecimiento y conservación. La mayoría de los sistemas socio-ecológicos son espacialmente heterogéneos y consisten en mosaicos de subsistemas que se encuentran en diferentes etapas de su ciclo de adaptación. Las interacciones y retroalimentaciones entre estos ciclos de adaptación que operen a distintas escalas temporales y espaciales representan la dinámica general del sistema, es la idea de *panarquía* (Gunderson y Holling 2001); concepto que apunta a la integración de principios ecológicos, económicos y sociales para dar un sentido lógico al *desarrollo sostenible* como un aprendizaje continuo (Holling 2001, Gunderson y Holling 2001).

### 2.3.3. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Los servicios ecosistémicos son los puntos de interacción de los sistemas sociales y ecológicos, permitiendo evaluar su coevolución (Huntsinger y Oviedo 2014, Andersson *et al.* 2014, Barthel *et al.* 2013, 2005), cuya clasificación tomada en cuenta es (Gómez-Baggethun *et al.* 2013):

Servicios de soporte:

- Mantenimiento del suelo
- Ciclo del agua
- Ciclo del carbono y de los nutrientes
- Mantenimiento de los regímenes de perturbación
- Mantenimiento de la diversidad biológica

Servicios de aprovisionamiento

- Agua dulce
- Alimentos y fibra

- Bioquímicos
- Recursos genéticos

#### Servicios de regulación

- Regulación del clima
- La erosión, la cantidad / calidad del agua
- El control de las plagas y enfermedades
- Polinización

#### Servicios culturales

- La identidad cultural y el patrimonio cultural
- Espirituales
- Beneficios Estéticos
- Recreación y ecoturismo

Estos servicios proporcionan beneficios directos a la sociedad: nutrición, vivienda, salud, refugio, integridad, cultura, nutrición, valores morales, etc. el interés de este trabajo es evaluar a los servicios ecosistémicos de soporte ya que sostienen al amplio rango de servicios ecosistémicos; son las variables lentas las que con frecuencia controlan los procesos ecológicos (Chapin *et al.* 2009). Sin embargo, los denominados servicios ecosistémicos serán preferiblemente llamados servicios socio-ecológicos, como recomiendan Hungtsinger y Oviedo (2014), cuando sea necesario enfatizar en la naturaleza de los *servicios ecosistémicos* que posean una ontogenia marcada por procesos sociales, ya que el término *servicios ecosistémicos* fue acuñado para expresar el valor de los sistemas naturales en relación al bienestar humano. Sin embargo, los procesos de los ecosistemas son rara vez exclusivamente naturales, sino que son parte de los sistemas socio-ecológicos, donde la interacción humana con el medio ambiente da forma a los ecosistemas y la cultura (Huntsinger y Oviedo 2014). También servirá para una mejor comprensión y gestión de los recursos naturales reconociendo la complejidad y la incertidumbre respecto a las relaciones causales dentro de los sistemas ecológicos y sus respuestas a los factores externos (Paavola y Hubacek 2013) que en la actualidad cobra importancia debido a la inestabilidad de los sistemas socio-ecológicos por el cambio climático (Rocha *et al.* 2015). Los desastres naturales pueden desencadenar transformaciones repentinas y mover los ecosistemas a diferentes estados donde se



modificara la prestación de servicios de los ecosistemas. Estos cambios en los servicios de los ecosistemas afectan la capacidad de adaptación de las comunidades locales y representa un desafío para los gestores (Marin *et al.* 2014).

## **2.4. MODELO DE ESTADO-TRANSICIÓN (STM)**

### **2.4.1. BASES DEL MODELO STM**

La complejidad mediante el modelamiento trata las posibilidades, ya que la realidad es tan solo un modo de posibilidad; las ciencias de la complejidad son ciencias de posibilidades (Maldonado 2010). La representación de los sistemas complejos tiene que abarcar las distintas propiedades emergentes que ella posee, muchos de ellos escapan a nuestra capacidad de descripción y por tanto de comprensión; así un idioma probabilístico permite abarcar la dinámica de los paisajes y comprender sus procesos y patrones más importantes (Farina 2010). La tendencia de cambio del paisaje se puede representar de manera probabilística, donde a cada elemento unidad (pixel) se le asigna un estado característico, con él se puede preparar una matriz que exprese las probabilidades de transición, para unidades de tiempo, entre un estado anterior y un estado posterior, incluyendo la posibilidad de que el estado permanezca como tal (Margalef 2002). Los modelos de transición pueden ser particularmente útiles cuando los factores que provocan cambios en el paisaje (por ejemplo, la socio-económica) son difíciles de representar de manera mecánica (Turner 1989). Los modelos de transiciones tradicionalmente fueron implementados en base al análisis de píxel por píxel y reflejan adecuadamente cambios globales en el paisaje, pero no representan las cualidades espaciales de estos (Flamm y Turner 1994). Por lo cual en el presente trabajo se utilizará un modelo gráfico a través de la teledetección (Arcgis), donde se podrán visualizar espacialmente las transiciones.

## 2.4.2. REGÍMENES DINÁMICOS

A mediados de los años noventa se reanuda la discusión de la existencia de estados estables alternativos (Beisner *et al.* 2003). Desde el inicio de su planteamiento, propuesta por Lewontin en 1969, se han descrito muchos hechos empíricos que buscan demostrarlo (Holling 1973). Posteriormente las discusiones, que presuponen la existencia de los estados estables alternativos, se dirigen a la explicación de su dinámica; es decir, comprender cuáles son las fuerzas que determinan que un estado pueda tener diferentes atractores. El interés se dirigió a explicar, en el mismo sentido, la dinámica de las poblaciones y comunidades (Beisner *et al.* 2003). Un modelo heurístico que permite entender ambas propuestas es el de suponer a los estados estables alternativos como un paisaje de cuencas de atracción; donde un sistema, población o comunidad, serán dinámicamente estables cuando se dirijan al fondo de la cuenca e inestables cuando cambien de cuenca, entonces la pregunta es: ¿Cuáles son las fuerzas que determinan que un sistema se encuentre en el fondo de la cuenca o cambien a otra? (Beisner *et al.* 2003), produciéndose los siguientes planteamientos: la primera presta atención al estudio de los parámetros (refiriéndose a la estocasticidad ambiental) como los factores determinantes de los estados estables (Scheffer *et al.* 2001). Y la siguiente, resalta al cambio de las variables (componentes internos de las poblaciones y comunidades) son las determinantes de los estados estables alternativos, es decir una influencia directa sobre ellas (Sutherland 1974). Esta última presupone un “paisaje estable” donde la dinámica está determinada por las variables internas del sistema más que las condiciones ambientales. Finalmente, ambas propuestas son necesarias para entender la dinámica de las comunidades frente a la problemática actual, tales como el cambio climático, invasiones de especies exóticas, la eutrofización y otros trastornos en los patrones naturales de flujos bióticos y abióticos (Beisner *et al.* 2003).

Desde que se propuso la definición de estados estables alternativos la terminología no ha sido totalmente consensuada, conduce a la confusión entre el estado del sistema en un punto determinado en el tiempo y los dominios potenciales de atracción. Además, los estados estables alternativos pueden crear la impresión de que el sistema se mantiene *estable* dentro de un dominio particular de atracción, mientras que en realidad el sistema

puede variar considerablemente dentro de un régimen particular (Mayer y Rietkerk 2004). Para evitar esta confusión, muchos científicos ahora prefieren utilizar el término alternativo de *régimen dinámico*, así describir los diferentes dominios de la atracción y hacen hincapié en el hecho de que el estado del sistema puede variar considerablemente dentro de un régimen particular (Biggs et al. 2012, Scheffer y Carpenter 2003). Junto a ello se desarrollan una serie de conceptos a fin, por ejemplo el término *cambio de régimen*, que también se utiliza en oceanografía, describiendo los cambios repentinos en ecosistemas (Scheffer y Carpenter 2003). Finalmente, siguiendo la convención se evitara la frase *estados estables alternativos* optando por el término de *regímenes dinámicos* (Mayer y Rietkerk 2004).

### **2.4.3. CONSIDERACIONES DEL STM**

El Modelo de Estado-transición (STM) es planteado como tal en 1989 por Westoby, en un marco de discusión de las teorías ecológicas de equilibrio y no equilibrio. Debido a la necesidad de una teoría que permita representar mejor la dinámica de los ecosistemas de pastizales que la teoría de la sucesión clásica (Menghi y Herrera 1998) comúnmente criticada por tomar como principio fundamental el cambio orientado hacia un solo estado estable denominado *climax*. Sin embargo, como sugiere Margalef (2002) y se asume en el presente trabajo, lo esencial en la teoría de la sucesión es la asimetría de cambios; que se pueden clasificar en dos categorías: cambios rápidos orientados a la simplificación del sistema, como entradas violentas de energía externa; y cambios lentos mayormente endógenos que incrementan la organización del sistema. La biosfera está sujeta a un proceso generalizado de sucesión, interrumpido o puntuado por desastres aleatorios (Margalef 2002).

Sin embargo, desde el planteamiento del Modelo de Estado-transición se han realizado muchos trabajos en función de representar los múltiples estados vegetales; y los términos que emplearon no fueron completamente consensuados presentándose como problema común para las investigaciones (Stringham *et al.* 2003). Aun así, en términos generales podemos destacar: el estado, que corresponde a una estructura vegetal característica en los ecosistemas de pastizales; la transición, formaciones vegetales no definidas originadas por eventos externos (incendios, sequías, gestión, etc.); y los umbrales, límites de un estado a

partir del cual las transiciones deben sobrepasar para definirse dentro de un estado (Stringham *et al.* 2003).

El Modelo de Estado-transición, para el presente trabajo, se orienta a determinar las tendencias de cambio del paisaje del campus, esto es encontrar los patrones dinámicos valiéndose de los regímenes dinámicos; entendidos como estados (Scheffer 2009). Para ello es conveniente abordar el cambio desde una perspectiva socio-ecológica por ser un paisaje periurbano y urbano (Arnao, 2014). Los modelos dinámicos pueden servir como herramientas para explorar las interacciones socio-ecológicas (Schluter *et al.* 2014). La utilidad práctica del modelo se dirige a constituir una herramienta de gestión de los recursos con un enfoque más integral, lo cual es necesario para el manejo adaptativo (Holling 1978). Ya que un enfoque transdisciplinario de STM tiene un gran potencial para la producción de herramientas útiles y creíbles para la gestión de la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos (Kachergis *et al.* 2013), el presente trabajo aborda una base cuantitativa de la dinámica del paisaje a través del STM, para luego interpretar esta dinámica desde el enfoque de sistemas socio-ecológicos (Barthel *et al.* 2013, Andersson *et al.* 2014, Bodin y Zetterberg 2012).

#### **2.4.4. DEFINICIONES DEL MODELO STM**

En la actualidad los modelos que permitan comprender la dinámica de los ecosistemas y poder usarlos como herramientas de gestión son muy necesarios. Para ello es fundamental superar un problema común del modelo estudiado; y es una terminología clara (Stringham *et al.* 2003). Considerando ello se utilizan las siguientes definiciones en la presente investigación.

- La resistencia se define como la capacidad del sistema para permanecer como tal mientras que las condiciones externas cambian, y la resiliencia es la habilidad del sistema para recuperarse después de alguna perturbación. Por lo tanto, los ecosistemas en pleno funcionamiento son tanto resistentes al cambio y resilientes; en condiciones de recuperarse sin la necesidad de energía externa, manteniendo así la estabilidad en el tiempo y permitiendo la fluctuación de combinaciones de especies a través del tiempo (Walker *et al.* 2004).

- Un estado es reconocible, resistente y complejo. Resaltan dos componentes, la base del suelo y la estructura de la vegetación que están conectados necesariamente a través de los procesos fundamentales (hidrológicos, biogeoquímicos, etc.) integrados para producir un equilibrio dinámico que se expresa por un conjunto específico de las comunidades vegetales (Stringham *et al.* 2003), por definición, son relativamente estables (Westoby *et al.* 1989); por lo tanto, se deduce que un cambio de estado es sólo es posible cuando se cruza un umbral (Stringham *et al.* 2003).
- Los umbrales son límites en el espacio y el tiempo entre todos los estados, o a lo largo de transiciones irreversibles, de tal manera que uno o más de los procesos ecológicos primarios se han cambiado de forma irreversible y debe ser restaurado de forma activa antes del regreso a un estado anterior (Stringham *et al.* 2003).
- La transición es una trayectoria de cambio del sistema lejos del estado estable actual que es desencadenada por eventos naturales, las acciones de gestión, o ambos. Pudiendo ser: reversibles, que es la trayectoria de cambio que se produce dentro de un Estado e indica que el sistema se está moviendo hacia un umbral, y para revertirlo se requiere la eliminación de la tensión responsable de desencadenar la transición; Irreversibles, que son las trayectorias de cambio producidas después de que un umbral ha sido traspasado, donde el sistema ya no puede autorepararse, aun incluso con la eliminación del factor estresante, el sistema no se detendrá hasta hallar un nuevo equilibrio (es decir, un nuevo estado) (Stringham *et al.* 2003).

## **2.5. HISTORIA DE LIMA Y LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

Lima fue fundada en 1535 y se estableció como centro de la organización militar y religiosa de España con un dominio patrimonial y burocrático sobre el resto de las

colonias. La ciudad mantuvo el monopolio comercial hasta el siglo XVIII cuando el mercantilismo inglés y la apertura de nuevas rutas comerciales españolas con Buenos Aires, Santiago, etc. debilitó la hegemonía limeña (Panfichi y Portocarrero 2004). Desde entonces Lima nunca recuperó el esplendor de otrora, y mantuvo solamente el centro del rol político y administrativo de una república empobrecida, que hasta 1896 (en 250 años) no había crecido nada. Para el periodo de 1896 a 1920 se buscó transformar la estructura colonial que en sus inicios de damero que no conformaba más que 117 cuadras en 215 ha (Panfichi y Portocarrero 2004). Luego de la segunda guerra mundial Latinoamérica inicia un periodo de modernización económica que promueve un dramático incremento de su urbanización; sin embargo, en el Perú esto solo se desarrolló en Lima. Tal impulso sobrepasó la capacidad del estado peruano para reglamentar y planificar el crecimiento, que fue empeorando por las continuas crisis sociales y económicas en los últimos 60 años (Castellanos *et al.* 2003). Los noventa se caracterizaron por un crecimiento del sector económico informal, sobre todo en la urbanización (Panfichi y Portocarrero 2004).

En 1901 se crea La Escuela Nacional de Agricultura y Veterinaria establecida, aquel entonces, en los extensos terrenos del fundo de Santa Beatriz que se urbanizaron progresivamente, para que en 1933 se traslade al fundo de La Molina en el Valle de Ate. En 1960 se reconoce a la Escuela Nacional de Agricultura y Veterinaria como: La Universidad Nacional Agraria La Molina. Durante los años 60 la universidad pudo disponer de recursos económicos, humanos, técnicos, etc. que le permitieron distinguirse sobre las demás universidades. Así, se tenían convenios para financiar las nuevas construcciones del campus como la biblioteca y las facultades de Ciencias e Ingeniería Agrícola y otros. Además de un reconocimiento a nivel nacional que permitían proyectar a la UNALM como una de las universidades más importantes de Latinoamérica (Olcese 2002). Desde finales de los años 60 y las décadas de los 70 y 80 sucedieron distintas crisis a nivel nacional e internacional de naturaleza política, económica y social: la reforma agraria, el terrorismo de los años 80, crisis económica del Perú, el terremoto de 1974, etc. Estas determinaron cambios drásticos para la universidad produciendo reducción en su presupuesto, deterioro de políticas de desarrollo, pérdida de financiamientos, conflictos internos y externos (gobiernos militares), abandono de programas de investigación, etc. (Olcese 2002).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 MATERIALES**

- Imágenes satelitales de alta resolución de los años 2011 y 2014.
- Fotografías Aéreas Digitalizadas de la UNALM los años 1970 y 1976.
- Programas: Conefor Sensinode 2.2, Arcgis 10, IDRISI selva, Land Change Modeler (LCM), Matrixgreen y Excel.
- Laptop
- Materiales de escritorio

#### **3.2 ÁREA DE ESTUDIO**

El área de estudio corresponde al campus de la Universidad Nacional Agraria la Molina (12°06' S.; 76°57' O.), ubicada en el valle de Ate, localizado en la ciudad de Lima, a una altitud de 243.7 msnm y que corresponde, de acuerdo a Holdridge (1967), a la zona de vida llamada “Desierto desecado subtropical” (dd-S). La temperatura anual promedio es de 20° C, la humedad relativa promedio 84%, y la precipitación anual 11.9 mm según datos del Observatorio Meteorológico Alexander von Humboldt, ubicado en el campus de la UNALM. Con una extensión total de 200 hectáreas (Figura 1), como lo detalla Arnao (2014).

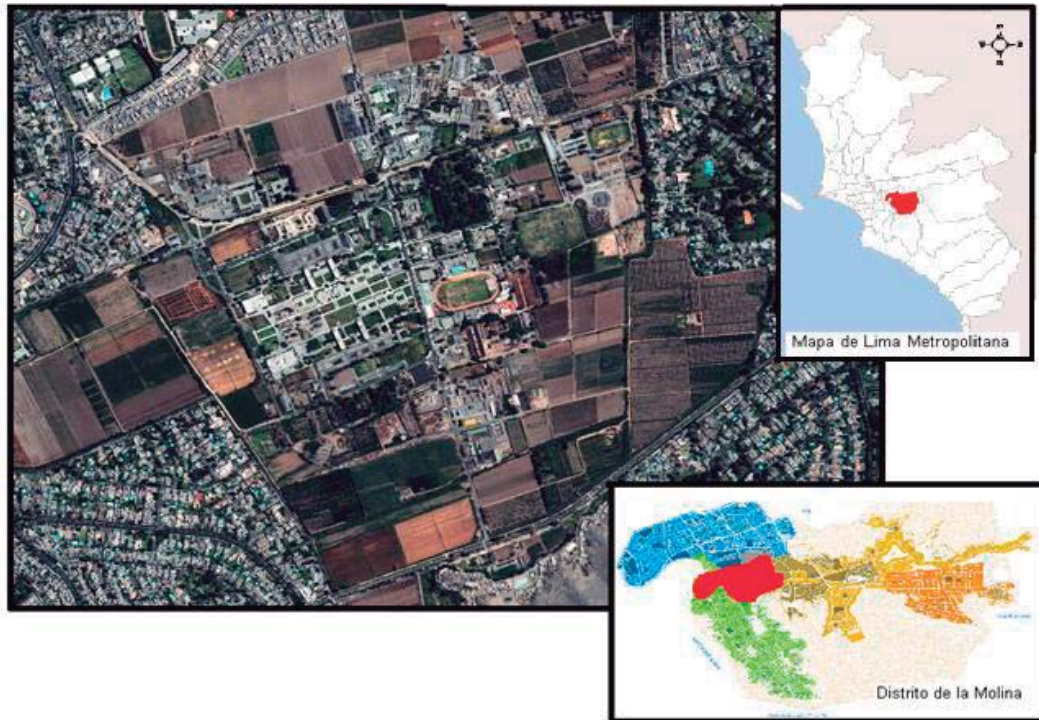


Figura 1. Imagen satelital del campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima-Perú), referenciando su ubicación en Lima. Fuente: Laboratorio de Planeamiento Ambiental y Ordenamiento Territorial. Tomado de Arnao (2014).

### 3.3 METODOLOGÍA

#### 3.3.1. GENERACIÓN DE LOS MAPAS

Las fotografías aéreas digitalizadas de 1970 y 1976 y las imágenes satélites de alta resolución del 2011 y 2014 (Cuadro 1), fueron trabajadas con procesos de ortorectificación, mosaqueo, balance y georeferenciación mediante puntos de control, como detalla Arnao (2014).



Cuadro 1. Resoluciones de las imágenes satelitales.

<b>Imagen</b>	<b>Año</b>	<b>Número de bandas</b>	<b>Radio métrica (bits)</b>	<b>Resolución pancromática (m)</b>	<b>Resolución multiespectral (m)</b>
<b>World View</b>	2011	4	16	0.5	0.6
<b>World View</b>	2014	4	11	0.5	0.6
<b>Fotografía Aérea</b>	1976	1	8	0.5	-
<b>Fotografía Aérea</b>	1970	1	8	0.5	-

### 3.3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS MAPAS

Con las imágenes generadas se procedió a realizar la poligonización de los mapas (Anexos 1, 2, 3 y 4) con el programa Idrisi Selva y Arcgis 10; en base a las anteriores investigaciones del Laboratorio de Ecología de Procesos (LEP) (Arnao 2014), tomando como estados las clases: Estructura Vegetativa (EV), Estructura Humana (EH), Vegetación Cultivada (VC), Suelo Descubierta (SD) y Fuente de Agua (FA), descritas en el cuadro 2.

Cuadro 2. Descripción de las clases, resumido de Arnao (2014).

<p>Estructura Humana (EH)</p>	<p>Áreas cubiertas por superficies impermeables como asfalto, acera, y construcciones altas. Esta clase se caracteriza por alta presencia humana, donde el impacto antrópico es dominante. En este estado se desarrollan los ecosistemas urbanos.</p>
<p>Estructura Vegetativa (EV)</p>	<p>Corresponde a las áreas que son cubiertas por los ecosistemas vegetales con poco impacto antrópico, que se reduce a limpiezas y podas; observándose según su porte: a la estructura arbórea, las herbáceas o arbustos oportunistas (cuando las condiciones lo permiten crecen de forma descontrolada).  Las especies oportunistas crecen cerca de los campos de cultivo, y las trepadoras cubren estructuras altas en época húmeda, al igual que los matorrales o juncales que se utilizaban como cercos vivos. En este estado se desarrollan los ecosistemas vegetales.</p>
<p>Fuente de Agua (FA)</p>	<p>Abarca cuerpos de agua dulce de origen antrópico. Se han descartado de este grupo los cuerpos de agua con químicos, como es el caso de las piscinas, dado que su uso es similar al de las construcciones humanas. En este estado se desarrollan los ecosistemas acuáticos.</p>
<p>Suelo Descubierto (SD)</p>	<p>Áreas sin vegetación o con presencia muy rala. Las actividades realizadas son mínimas, especialmente usadas para el desplazamiento de las personas. Aquí algunas aves se alimentan y anidan. En este estado se desarrollan los ecosistemas desérticos.</p>
<p>Vegetación Cultivada (VC)</p>	<p>Son áreas de alta densidad de vegetación homogénea, de crecimiento cíclico, constantemente es trabajada y cuidada para que se mantenga en condiciones específicas para consumo humano. Es una zona de alimentación común para las aves, pero no de refugio ni de anidamiento. En este estado se desarrollan los ecosistemas agrícolas.</p>

### 3.3.3. ÍNDICES DE FORMA Y CONFIGURACIÓN

La clasificación de los mapas en formato vectorial permitió obtener los índices, así se decidió calcular el índice de forma para todas las clases (índice de paisaje) y el índice de conectividad solo para la clase Estructura Vegetativa.

El índice de forma (Mean Shape Index- MSI) relaciona las dimensiones del perímetro con el área de un parche tratando de representar su complejidad. Este se calculó mediante la fórmula que se muestra en la figura 2:

$$\text{SHAPE} = \frac{.25 P_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}$$

Figura 2 . Formula del MSI.

Donde:

- $P_{ij}$  es el perímetro del parche  $ij$
- $A_{ij}$  es el área del parche  $ij$

El rango del índice es desde uno hacia el infinito, donde uno es la máxima regularidad pudiendo ser un círculo, y no existe un valor límite superior que pueda representar la complejidad máxima (McGarigal y Marks. 1995).

La conectividad ecológica se obtuvo mediante los programas Matrixgreen y Conefor Sensinode 2.2. Para obtener el índice de conectividad se necesita de parámetros como la distancia máxima de dispersión, interpretándose como un umbral de conectividad (Bodin y Saura 2010), así se utilizó el programa Matrixgreen con su herramienta análisis de la distancia de los parches el cual recomienda una distancia de dispersión máxima para el área estudiada (Bodin y Zetterberg 2012). Con esta distancia se pudo determinar el índice PC cuya definición muestra la figura 3 (Saura y Rubio 2010):

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i \times a_j \times p_{ij}^*}{A_L^2} = \frac{PC_{num}}{A_L^2}$$

Figura 3. Fórmula de cálculo del índice PC (Saura y Rubio 2010).

Dónde:

- ai y aj son atributos de dos nodos distintos.
- Pij\* es el producto máximo de camino más corto entre nodos.
- AL2 es el valor del atributo mayor.

Así, PC es la probabilidad de que dos puntos situados al azar en el paisaje queden ubicados en zonas de hábitat conectadas entre sí (Pascual-Hortal y Saura 2007).

### 3.3.4. ÍNDICES DE COMPOSICIÓN

Los mapas fueron transformados del formato vectorial a un formato raster; donde cada pixel posee la longitud de un metro por lado, permitiendo un análisis cuantitativo del paisaje (Vila *et al.* 2006). Este se realizó con el programa Arcgis 10 con su herramienta *Vector to Raster*. Ya en un formato raster se calculó el área de las clases para evaluar su variación en el tiempo.

### 3.3.5. ELABORACIÓN DE LAS MATRICES DE PROBABILIDADES DE CAMBIO

En cada periodo se determinó las probabilidades de cambio o permanencia de los cinco tipos de pixeles (estados/clases). Estas se obtuvieron de la división del número de pixeles que permanecen o cambian a una clase diferente en un tiempo T2 entre el número de pixeles de la clase en el tiempo T1, por ejemplo para la clase Suelo Descubierta (Figura 4):

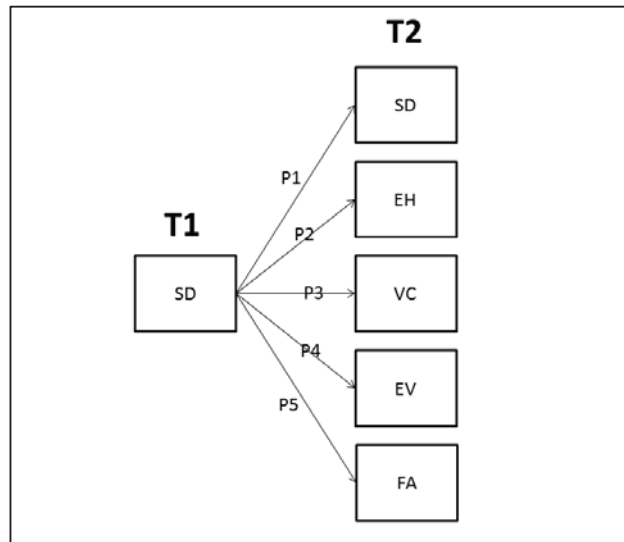


Figura 4 . Determinación de las probabilidades de cambio de la clase Suelo Descubierta a partir del número de píxeles que se convierten en otra clase o permanecen en la misma.

En la figura 4 la probabilidad P1 se determinó mediante la división del número de píxeles que permanecen en la misma clase SD en el tiempo T2 entre el número de píxeles de la clase SD en el tiempo T1, La probabilidad P2 se determinó del número de píxeles transformados a EH para el tiempo T2 entre el número de píxeles de la clase SD en el tiempo T1 y de la misma manera para P3, P4 y P5. Se repitió el proceso para las demás clases del periodo trabajado y con esta información se obtuvo una matriz de probabilidades de cambio (Cuadro 3). Esta metodología ayuda a visualizar la asimetría de cambios y la tendencia de cambio del sistema a nivel del paisaje (Margalef 2002).

Para la operacionalización de este procedimiento se utilizó la herramienta “Land Change Modeler (LCM)” del Idrisi Selva en su módulo de calibración, que corrobora los formatos,

tamaños de pixel, correspondencia de clases y sistema de georeferenciación entre los mapas a comparar. Esta herramienta generó también mapas que muestran los resultados obtenidos. Estos fueron exportados al programa Excel donde se generaron las matrices de probabilidades de cambio (Cuadro 3).

Cuadro 3. Matriz de probabilidades de cambio para el primer periodo (1970-1976).

	<b>Matriz de probabilidad de cambio (%)</b>				
	T2 - 1976				
T1 -- 1970	Estructura Vegetativa	Vegetacion Cultivada	Suelo Descubierta	Estructura Humana	Fuente de Agua
Estructura Vegetativa	59.81	16.23	18.27	5.63	0.06
Vegetacion Cultivada	1.62	96.29	1.65	0.45	0.00
Suelo Descubierta	18.21	15.88	55.06	10.83	0.02
Estructura Humana	9.80	7.97	11.96	70.27	0.00
Fuente de Agua	7.39	0.00	23.74	0.00	68.87

### 3.3.6. ELABORACIÓN DE LOS MODELOS DE ESTADO-TRANSICIÓN

De cada matriz se obtuvieron las transiciones y permanencias para su modelización (Cuadro 3). Donde se representaran a cada estado con su probabilidad de permanencia y cada flecha como la probabilidad de cambiar hacia otro estado (Stringham *et al.* 2003, Kachergis *et al.* 2013) (Figura 4). Aquí se tuvo en consideración a las transiciones más importantes en el sentido del área que abarcan en el campus y descritas en el modelo con su respectiva probabilidad de cambio como se muestra en la figura 5, resolviendo que sean las siete mayores que reflejan la dinámica del paisaje (Stringham *et al.* 2003). Este análisis facilitó la evaluación de las transiciones más importantes reconociendo los procesos ecológicos y sociales que los definen y ser considerados dentro del modelamiento (Schluter *et al.* 2014).

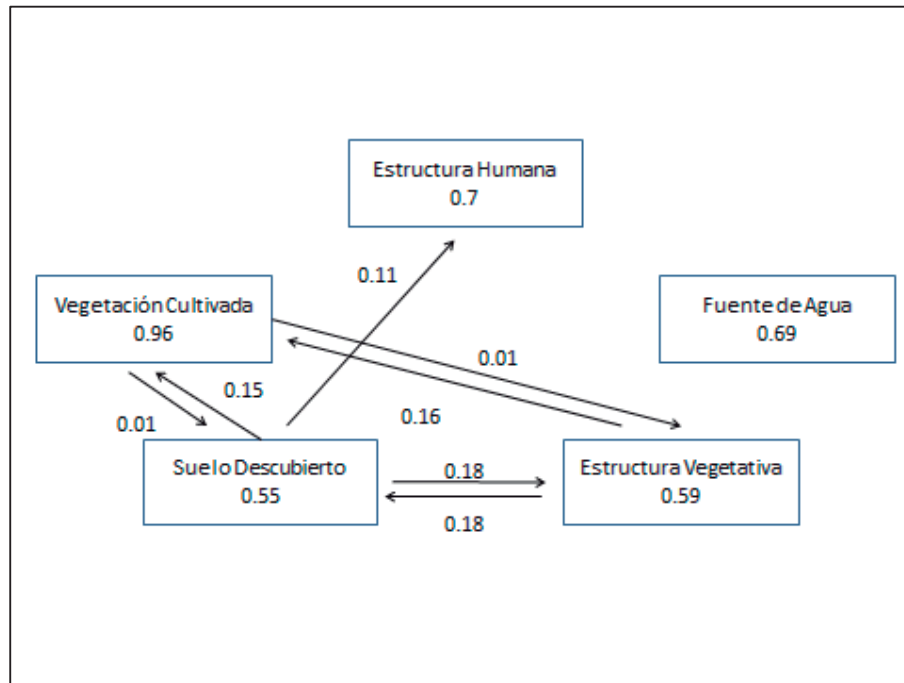


Figura 5. Modelos de Estado-transición 1970-1976, donde cada polígono representa un estado (una clase) y cada flecha las probabilidades de transición.

Finalmente, Teniendo en cuenta las clases evaluadas de la dinámica del paisaje se plantearon tres modelos de Estado-transición, uno para cada periodo y otro total (1970-1976, 2011-2014 y 1970-2014). Procediendo entonces al análisis de resultados teniendo en cuenta la clasificación por zonas propuestas en Castillo (2013), figura 6.

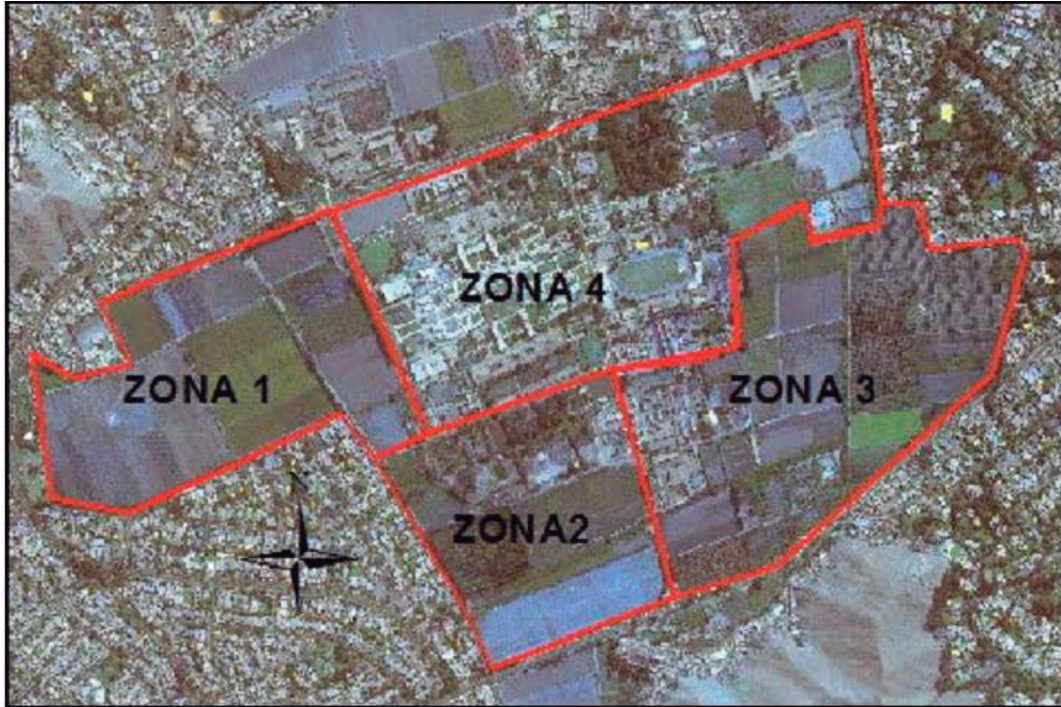


Figura 6. División de zonas del campus para la evaluación de las tendencias de cambio.  
Tomado de Castillo (2013).



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CARACTERÍSTICAS DEL PAISAJE DEL CAMPUS UNALM

#### 4.1.1. MATRIZ DEL PAISAJE DEL CAMPUS UNALM

La Vegetación Cultivada, que son los campos de cultivo, jardines, etc., constituyeron la matriz del paisaje del campus en los años 1970, 1976, 2011 y 2014 por ser la clase de mayor proporción (figura 7). Esto determinó la composición biológica como la avifauna (Arnao 2014; Castillo 2013; Quinteros 1992 y Takano 2010) y es reconocida por la comunidad universitaria (Corrales, 2012). Que se distingue de los exteriores del paisaje que han sufrido una intensa urbanización (Figura 22). Finalmente, la matriz influye en las dinámicas ecológicas del paisaje (Flamm y Turner 1994).

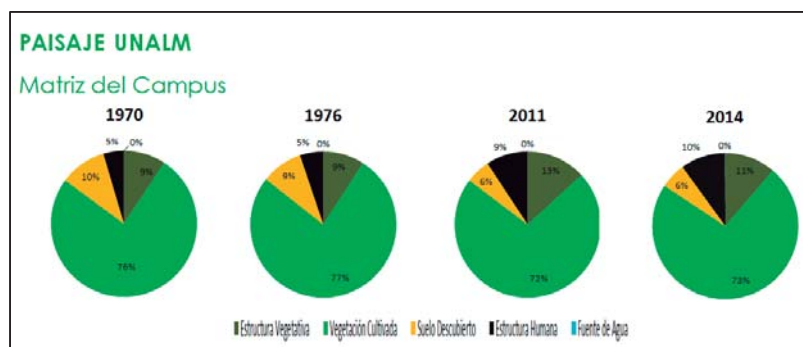


Figura 7. Porcentaje del área ocupada en el paisaje por cada clase. Desataca la Vegetación Cultivada como matriz del paisaje.

#### 4.1.2. VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LAS CLASES DE 1970, 1976, 2011 Y 2014

La Estructura Humana mostró un claro incremento desde 1970 al 2014 (figura 8). En los primeros años limitaba su distribución a la zona 4 (ver clasificación de zonas, figura 6) para tomar áreas de las zonas restantes hasta el 2014.

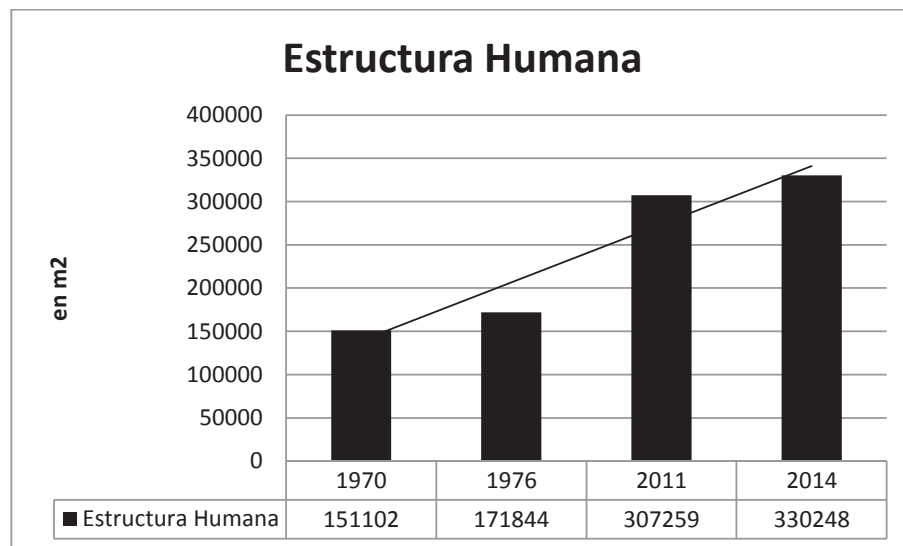


Figura 8. Tendencia del incremento de la Estructura Humana (en m2).

En sentido contrario el Suelo Descubierta disminuye notablemente (figura 9). Perdió su concentración de la zona 4, para quedar distribuida solo en las zonas 2 y 3.

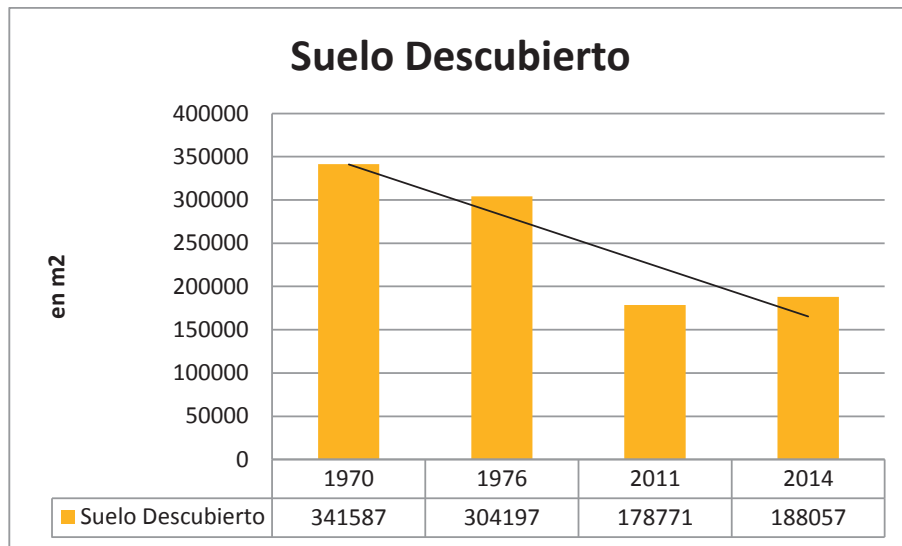


Figura 9. Tendencia decreciente del Suelo Descubierta (en m2).

Aunque no es notable la presencia de la Fuente de Agua a nivel del paisaje, esta logró aumentar en área (figura 10) y distribución, que influye en la distribución de la avifauna (Arnao 2014).

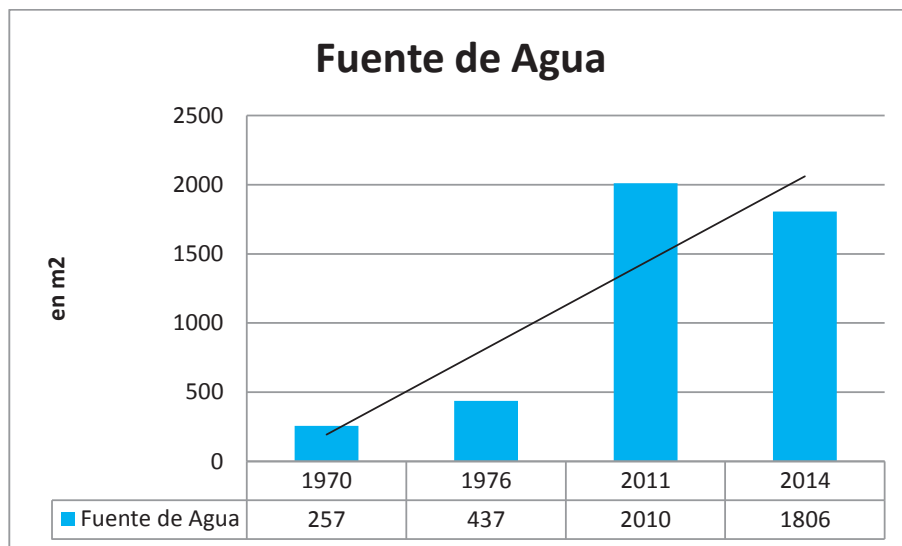


Figura 10. Aumento de la Fuente de Agua en el campus (en m2).

En una dinámica no regular la Estructura Vegetativa disminuye e incrementa en los años evaluados, para finalmente ser dominante en la zona 4 y 2 (Figura 11). Además en el periodo 2003-2011 logró un incremento mayor a las demás clases (Arnao 2014)

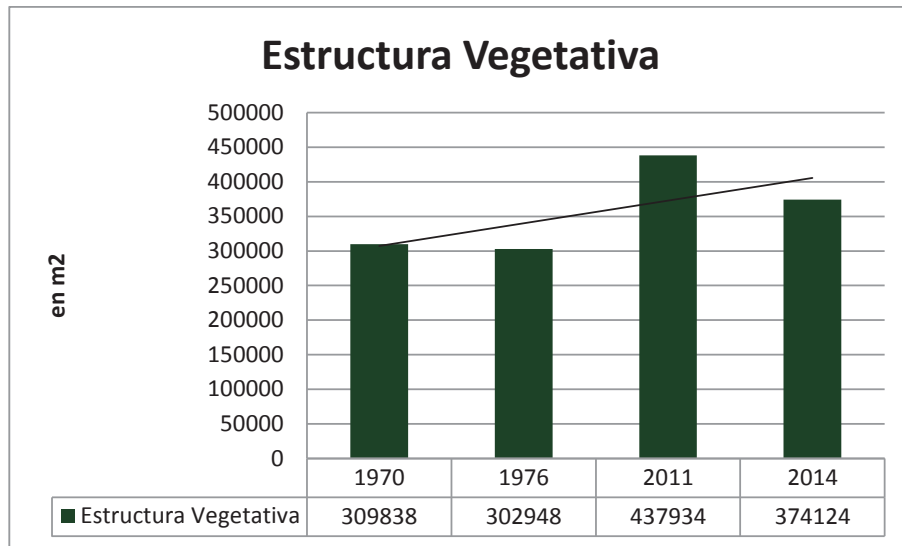


Figura 11. Variación de la composición de la Estructura Vegetativa en m2.

## 4.2. EVALUACIÓN DE LAS TENDENCIAS DE CAMBIO DE 1970 A 1976

### 4.2.1. VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS ESTADOS DE 1970 A 1976

Luego del terremoto de 1974 muchas de las instalaciones quedaron inutilizables, por lo que se instalaron aulas temporales para que se retomaran las clases universitarias (Olcese 2002). Estas se ubicaron en la zona 4 sobre las áreas de Suelo Descubierta que de 1970 al 1976 disminuyó en 37 390 m<sup>2</sup>, representando la mayor tendencia de pérdida respecto a los demás estados (Figura 12). El desastre natural puede considerarse como un ingreso violento de energía al sistema, un cambio rápido orientado a simplificar el sistema (Margalef 2002).

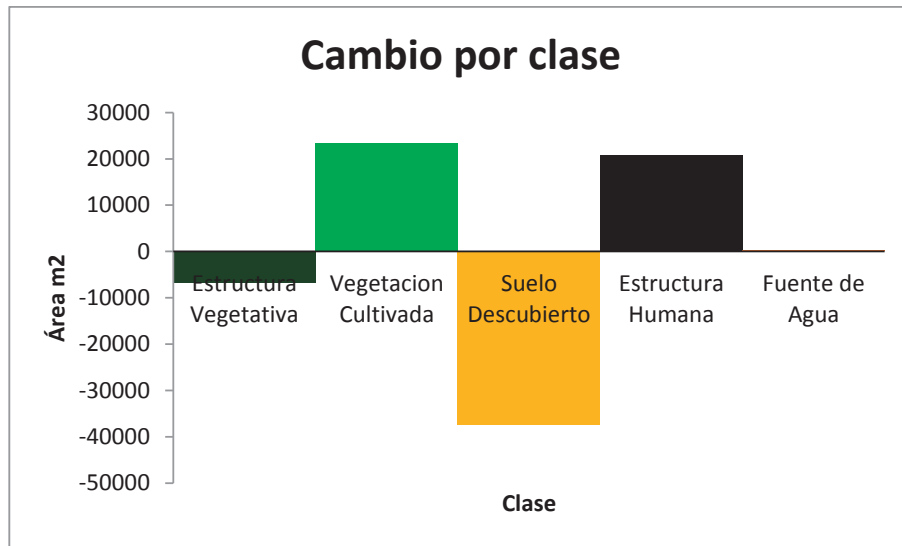


Figura 12. Variación de la composición de los estados de 1970-1976.

El traslado de las viviendas de los trabajadores fuera del campus permitió la generación de nuevos campos de cultivos en las zonas 1 y 2; así, significó el incremento de la Vegetación Cultivada en 23 358 m<sup>2</sup>, este fue el único evento donde se traspasó el umbral de Estructura Humana hacia otra clase. La Estructura Vegetativa disminuyó en 6 890 m<sup>2</sup> para este periodo, esto se explica por el proceso de limpieza de los canales de agua de los campos de cultivo se le denomina *champerizas* que se realizaron a lo largo del periodo evaluado, al igual que la limpieza de los bordes de los campos de cultivo.

A pesar del terremoto de 1974 muchos programas de investigación continuaron, con ello nuevas instalaciones se generaron manteniendo un aumento en la Estructura Humana, para esta clase significó un aumento de 20 742 m<sup>2</sup> (Figura 12). Así, ya en el periodo de 1970 a 1976 su incremento era notable.

#### 4.2.2. MODELO DE ESTADO-TRANSICIÓN DE 1970 A 1976

La dinámica del paisaje del campus de 1970 a 1976 mostró como los procesos ecológicos se mantenían entre la sucesión de distintos estados, de esta manera la Vegetación Cultivada, el Suelo Descubierta y la Estructura Vegetativa poseen transiciones unas a otras a manera de proceso cíclico (Figura 13). En el anexo 5 se puede observar estos cambios localizados en los bordes de los campos de cultivo, puesto que estas mediante las *champerizas* retiran las malezas, para luego volver a crecer.

La transición de Vegetación Cultivada a Estructura Vegetativa posee una probabilidad de 0.01 y corresponde al crecimiento de las copas de los arboles sobre los jardines, crecimiento de arbustos sobre los bordes de los campos de cultivo, el sentido inverso tiene una probabilidad de 0.16 y representa el proceso de limpiado de canales *champerizas* y poda de árboles.

Tanto el crecimiento de las copas de árboles como la revegetación de los canales afectaron, además de la Vegetación Cultivada, al Suelo Descubierta cuantificándose con una probabilidad de 0.18, el sentido inverso guarda la misma probabilidad.

La transición de Suelo Descubierta a Vegetación Cultivada (0.15) representa a que las nuevas construcciones sobre los suelos desnudos también generan jardines alrededor, y para este periodo en especial el traslado de trabajadores cuyas casas estaban rodeadas de áreas desérticas que pasaron a ser campos de cultivos también. El sentido inverso de Vegetación Cultivada a Suelo Descubierta representa a los nuevos caminos sobre los campos de cultivo que son el cambio de forma de las parcelas (Anexo 5). Finalmente, estos procesos cíclicos entre las clases de Vegetación Cultivada, Suelo Descubierta y Estructura Vegetativa se mostraron distribuidos a lo largo de los bordes de campos de cultivos y jardines en distintos estadios sucesionales.

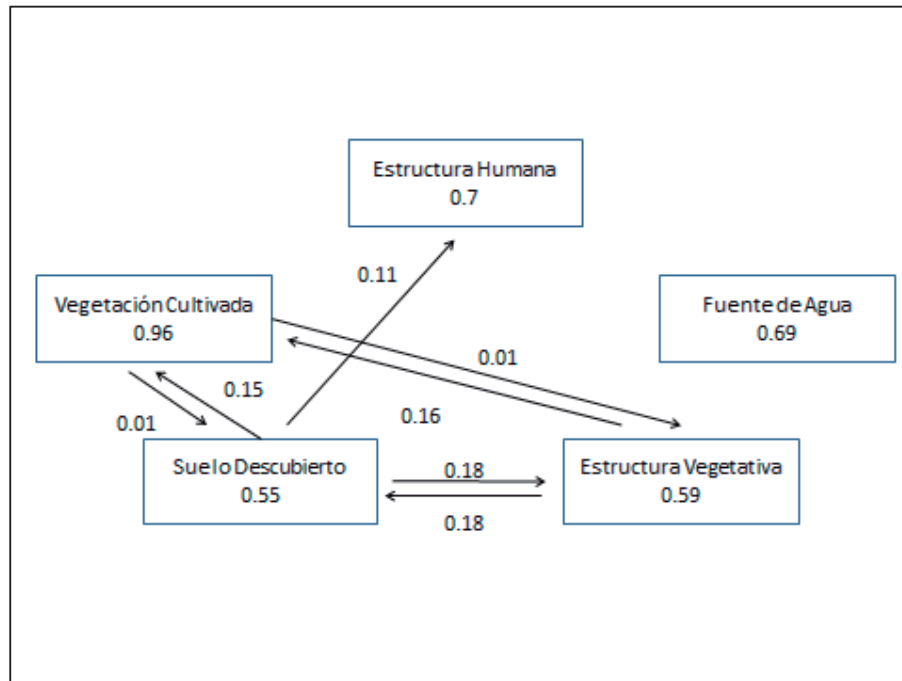


Figura 13. Modelo de Estado-transición de 1970-1976.

El 11% del Suelo Descubierta cambio a Estructura Humana, esta transición se puede considerar irreversible (Stringham *et al.* 2003). Muestra como la Estructura Humana tomo áreas del Suelo Descubierta de la zona 4 principalmente (Figura 13).

### 4.3. EVALUACIÓN DE LAS TENDENCIAS DE CAMBIO DEL 2011 AL 2014

#### 4.3.1. VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS ESTADOS DEL 2011 AL 2014.

La Estructura Vegetativa mostró la mayor disminución de área con la pérdida de 63 810m<sup>2</sup>, principalmente en la zona 4 por la poda de árboles y limpieza de arbustos de los jardines; la limpieza de bordes de chacras en la zona 2 y 3; y los bordes del campus (Figura 14). Estos eventos de limpieza generalmente no obedecen a una planificación regular, inclusive están a cargo por contratación de servicios externos, pueden comprenderse mejor como controladores externos (Chapin *et al.* 2009) que impactan sobre el estado evaluado donde habita la avifauna del campus (Arnao 2014).

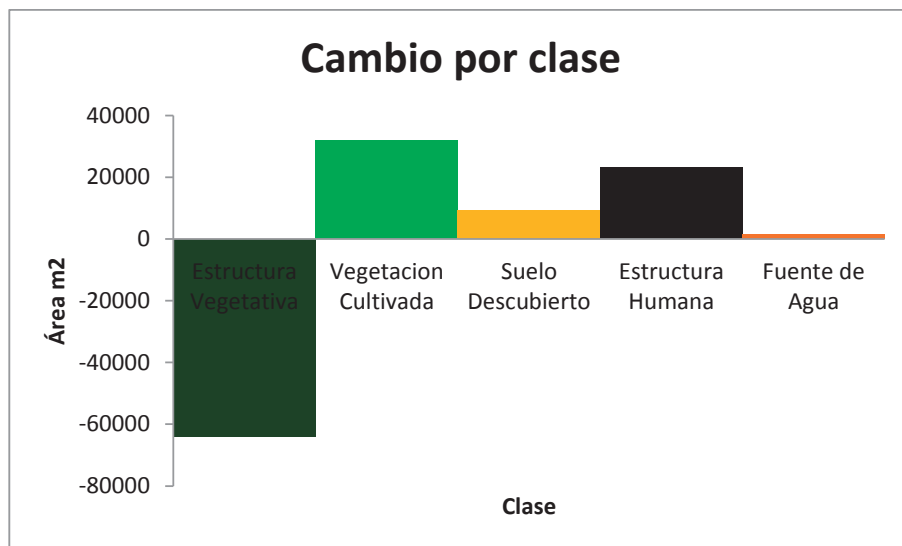


Figura 14. Variación de la composición de los estados del 2011 al 2014.

En la zona 4 la limpieza arbustos en los bordes de los jardines, así como las nuevas construcciones generan también nuevos jardines se evidenció el aumento de la Vegetación Cultivada en 31 739m<sup>2</sup>. Si bien este estado aumenta, los campos de cultivo son ocupados por construcciones siendo remplazados por jardines, es decir hay un cambio de atractor dentro de la Vegetación Cultivada (Biggs *et al.* 2012), por influencia del subsistema social. Esta disminución permitió un aumento del Suelo Descubierto de 9 286m<sup>2</sup>.

La Estructura Humana no solo se limitó a la zona 4 como en el periodo 1970-1976 sino también abarcó las zonas 2 y 3, logrando un incremento de 22 989m<sup>2</sup> que constituyó principalmente de laboratorios, aulas, invernaderos, etc. mayor a los 20 742 m<sup>2</sup> del periodo pasado; el periodo de 2011 a 2014 obtuvo una tasa de urbanización mayor.

#### 4.3.2. MODELO DE ESTADO-TRANSICIÓN DE 2011 AL 2014

El modelo Estado-transición del 2011 al 2014 mostró la tendencia de transición irreversible hacia el estado Estructura Humana (Figura 15). Desde la Vegetación Cultivada con una probabilidad de 0.01 que correspondió a las nuevas construcciones sobre los campos de cultivo (Zona 4), la toma de decisiones políticas universitarias y la urbanización son procesos poseerían una retroalimentación positiva (Chapin *et al.* 2009), pudiendo



concluir en una desestabilización del sistema socio-ecológico del campus, que implica directamente la pérdida de diversidad biológica.

La transición de Estructura Vegetativa a Estructura Humana se presentó con una probabilidad de 0.09 y representó la poda de árboles que se sobreponen sobre edificios, pistas, paredes, etc. (figura 15). Debe considerarse que hay una transición inversa de 0.09 hacia la Estructura Vegetativa que representó el incremento de la biomasa vegetal en las zonas que no se realizaron limpiezas.

En suma la Estructura Humana tiene una alta probabilidad de permanencia (0.76) solo superado por la Vegetación Cultivada (0.96), sin embargo es la más resistente puesto que las supuestas pérdidas en realidad son solo el crecimiento de arbustos sobre las edificaciones fácilmente retiradas por la poda y limpieza.

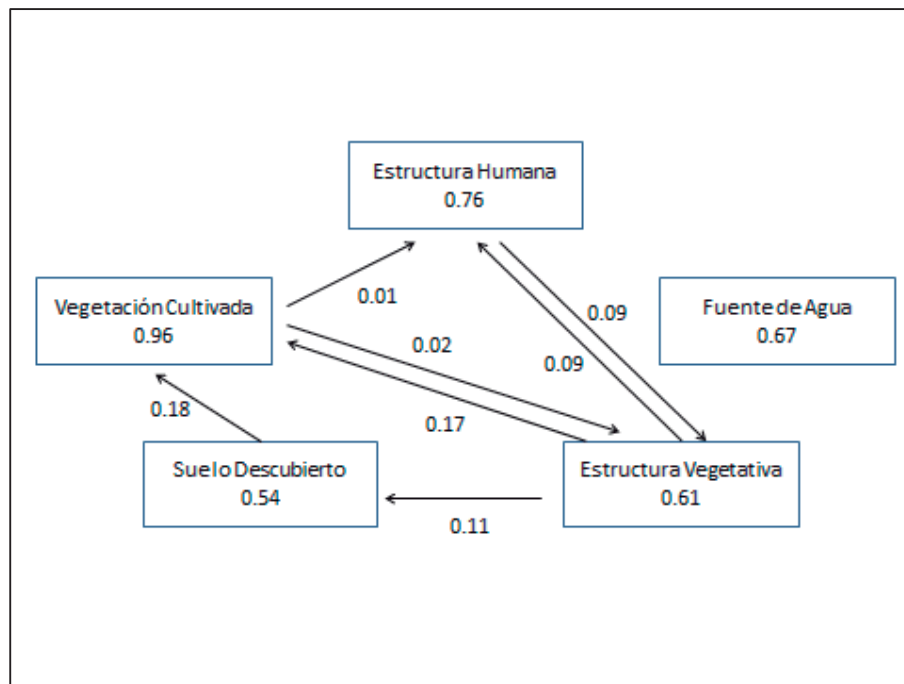


Figura 15. Modelo de Estado-transición de 2011 al 2014.

El modelo de Estado-transición de 2011-2014 también mostró como la Estructura Vegetativa tendió a la Vegetación Cultivada (0.17) en la zona 2 y 3 donde se dan los procesos de limpieza de bordes, canales, etc. y la tendencia de Vegetación Cultivada a la Estructura Vegetativa (0.02) en las zonas 1 y 4 donde se desarrollaron las copas de los árboles, y el crecimiento de vegetación en los canales (Anexo 6). Esto mostró nuevamente como la definición de los umbrales entre los estados se definió por la actividad humana;

así, la dinámica de la Estructura Vegetativa está presente en las 4 zonas del campus, principalmente la zona 4 donde hay justamente zonas de alta diversidad de la avifauna (Castillo 2013), constituyéndose de esta manera como el estado más dinámico por poseer la mayor cantidad de transiciones que se le vinculan (figura 15).

#### **4.4. EVALUACIÓN DE LAS TENDENCIAS DE CAMBIO DE 1970 AL 2014**

##### **4.4.1. VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS ESTADOS DE 1970 AL 2014**

El mayor incremento lo presentó el estado de Estructura Humana con 179 146m<sup>2</sup> (figura 16) concentrados principalmente en la zona 4, 3 y 1, representaron a las nuevas aulas, laboratorios, oficinas, auditorios, etc. Visto como un régimen dinámico (Crépin *et al.* 2012) es el más estable, puesto que salvo excepciones como el terremoto de 1964, no pierde áreas. En un sentido opuesto el estado Suelo Descubierta es el que más redujo su área con una pérdida de 153 530m<sup>2</sup>, comprendido como régimen dinámico los procesos de retroalimentación que permitiesen su estabilidad se basan en procesos naturales y no pueden contrarrestar los procesos antropológicos, determinando su gran pérdida principalmente en la zona 4.

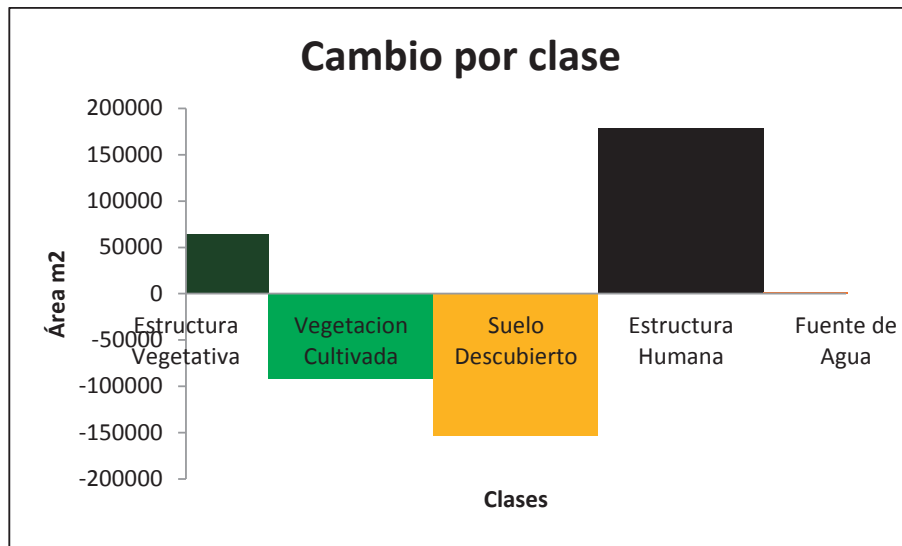


Figura 16. Variación de la composición de los estados desde 1970 al 2014.

De manera evidente en todo el campus desde 1970 al 2014 la Estructura Vegetativa no solo se incrementó (64 286m<sup>2</sup>), sino alcanzó una distribución en todas las zonas (Anexo 8), y se encontró principalmente concentrada en la zona 4, entre los jardines y edificaciones, y en las demás zonas como cercas de campos de cultivo y al borde de los canales. Particularmente este régimen dinámico presentó los sistemas ecológicos mas resilientes, puesto que ante podas, limpieza de canales, limpieza de bordes, etc. logró incrementarse desde 1970 al 2014.

La Vegetación Cultivada mostró una disminución de 91 451m<sup>2</sup> en las zonas 2, 3 y 4. Los umbrales que son definidos por la interacción de los procesos ecológicos y antropológicos se vulneraron mediante construcciones, y aquellos definidos por procesos naturales se transformaron hacia Estructuras Vegetativas. Dicho de otra manera, se perdió la matriz del campus, constituyendo un cambio en la dinámica del paisaje dirigida a un patrón de urbanización del mismo.

#### 4.4.2. MODELO DE ESTADO-TRANSICIÓN DE 1970 AL 2014

El patrón dinámico del paisaje desde 1970 al 2014 fue la urbanización del campus, como se evidencio en el modelo de Estado-transición (figura 17). Las transiciones más importantes: de Vegetación Cultivada a Estructura Humana con una probabilidad de 0.03 que representó los campos de cultivo usados para construir edificios, aulas, laboratorios,

etc. en las zonas 2, 3 y 4 (Olcese 2002). Debe destacarse que con el aumento de construcciones se incrementan también los jardines que están considerados como un mismo estado en la Vegetación Cultivada, distinguiéndose como dos atractores en el mismo estado (Scheffer y Carpenter 2003); otra transición importante correspondió de Suelo Descubierta a Estructura Humana con una probabilidad de 0.29 en la zona 4 principalmente también por el patrón de urbanización. Las áreas urbanizadas pueden identificarse como áreas donde los procesos ecológicos de los distintos estados se han afectado completamente, donde se sobrepasó el umbral (Stringham *et al.* 2003).

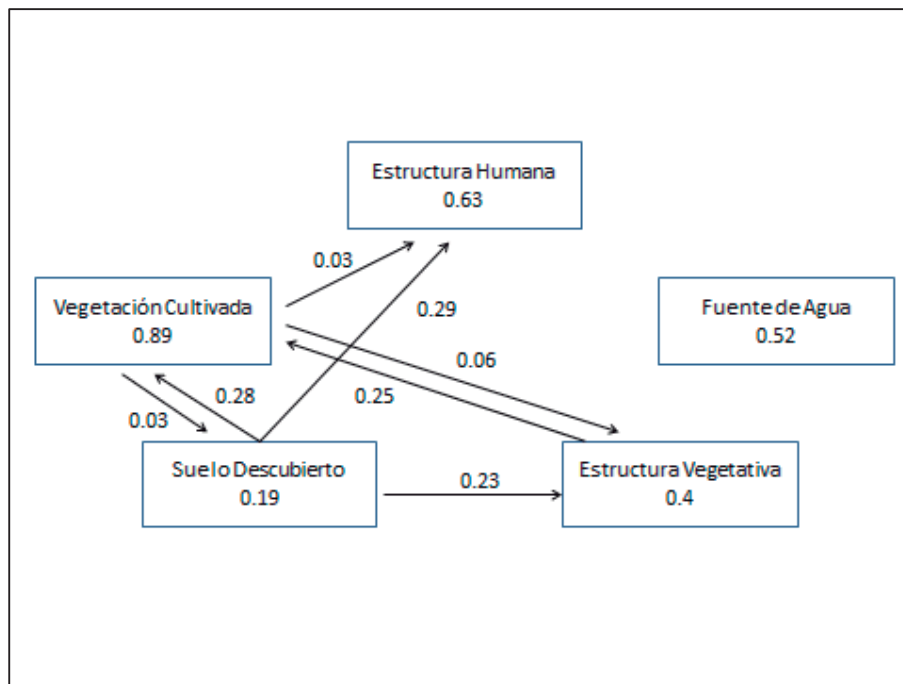


Figura 17. Modelo Estado-transición de 1970 al 2014.

El estado Vegetación Cultivada es la de mayor probabilidad de permanencia, 0.89. Y se encontró en transiciones recíprocas con los estados de Suelo Descubierta y Estructura Vegetativa, considerando los procesos antropológicos estos definieron los umbrales entre los estados. El Suelo Descubierta tendió claramente a transformarse a Vegetación Cultivada con una probabilidad de 0.28, que se dio principalmente en la zona 4, rebelando que la transición se dirigió hacia el atractor jardines y no a campos de cultivo en el mismo estado Vegetación Cultivada. La Estructura Vegetativa se transforma a Vegetación Cultivada con una probabilidad de 0.25 (76 117m<sup>2</sup>) y en viceversa con 0.06 (151 921m<sup>2</sup>),

que corresponde principalmente a la aparición de nuevas áreas forestales mostrando nuevamente que el paso de un estado a otro, el sobrepaso de los umbrales está dirigido por procesos antropológicos, es decir solo se puede comprender la dinámica del campus si se le comprende como un sistema socio-ecológico (Schluter *et al.* 2014). Otro ejemplo lo constituyó la transición Suelo Descubierta – Estructura Vegetativa (0.23) que mostró como los árboles, arbustos, malezas, etc. se superponen sobre los suelos desnudos, proceso que es fácilmente revertido por la limpieza de canales, poda de árboles.

#### **4.6. ÍNDICES DE CONFIGURACIÓN DE FORMA (MSI) Y CONECTIVIDAD (PC)**

##### **4.6.1. VARIACIÓN DEL ÍNDICE DE FORMA (MSI)**

El índice de forma varió aumentando y disminuyendo a través del tiempo (figura 18). Los incrementos de este índice de 1976 al 2011 están relacionados con el incremento de la complejidad de las formas de los parches del paisaje (McGarigal y Marks. 1995), las formas complejas están relacionadas con el crecimiento irregular de la naturaleza, contrastando con las formas circular y regulares de los paisajes altamente antropizados. De esta manera solo se puede relacionar la Estructura Vegetativa como la fuente de formas complejas en el paisaje estudiado (Anexo 8); más aún en el periodo 2011-2014 la Estructura Vegetativa sufre una gran disminución que se muestra también en el índice de forma en la figura 18.

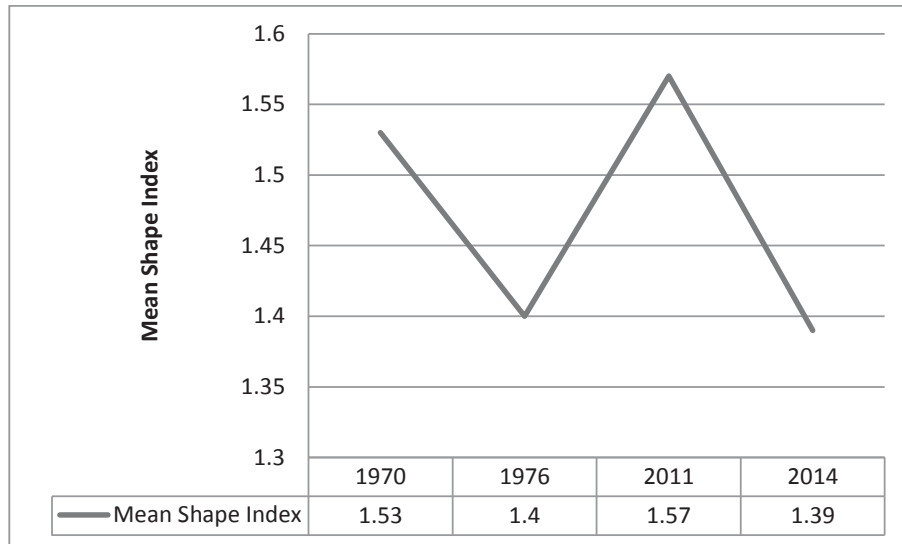


Figura 18. Variación del índice de configuración de forma (MSI) desde 1970 al 2014.

#### 4.6.2. VARIACIÓN DEL ÍNDICE DE CONECTIVIDAD ECOLÓGICA (PC).

El umbral de conectividad ecológica calculada para el área de estudio es de 48 metros (figura 19) este se puede interpretar como la máxima distancia de dispersión para los individuos sensibles a los cambios de la conectividad ecológica del paisaje (Bodin y Saura 2010) y en este caso para el campus de la UNALM, con la que se procedió a determinar el índice de conectividad PC (Pascual-Hortal y Saura 2007).

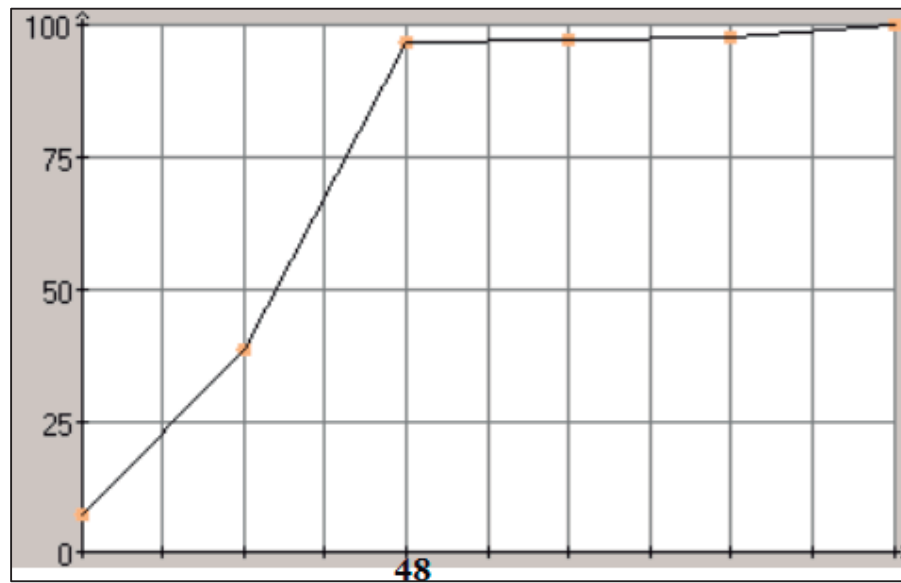


Figura 19. Umbral de conectividad ecológica en el año 2014 donde el punto de inflexión es 48 m, esto es la distancia de dispersión máxima para individuos dependientes de la conectividad ecológica (Bodin y Zetterberg 2012).

Se calculó el índice PC para todos los años observando su variación en la figura 20, teniendo en cuenta el valor del umbral de conectividad ecológica (figura 19). Para el periodo de 1970 a 1976 la pérdida de las Estructuras Vegetativas fueron de parches aislados, esto es que no son importantes para el desplazamiento de los individuos. Por otro lado el incremento del índice entre los periodos de 1976 a 2011 está directamente relacionado con el incremento de la Estructura Vegetativa entre estos años. Y finalmente, se muestra una mayor disminución del índice dentro del periodo 2011-2014 que del 1970-1976 a pesar tener menos años de intervalo, esto se debe a que las pérdidas de Estructura Vegetativa en el periodo más reciente son aquellas áreas importantes para el desplazamiento de los individuos a través del paisaje llamándoles comúnmente *teselas puente*, fragmentándose el paisaje (Saura y Rubio 2010).

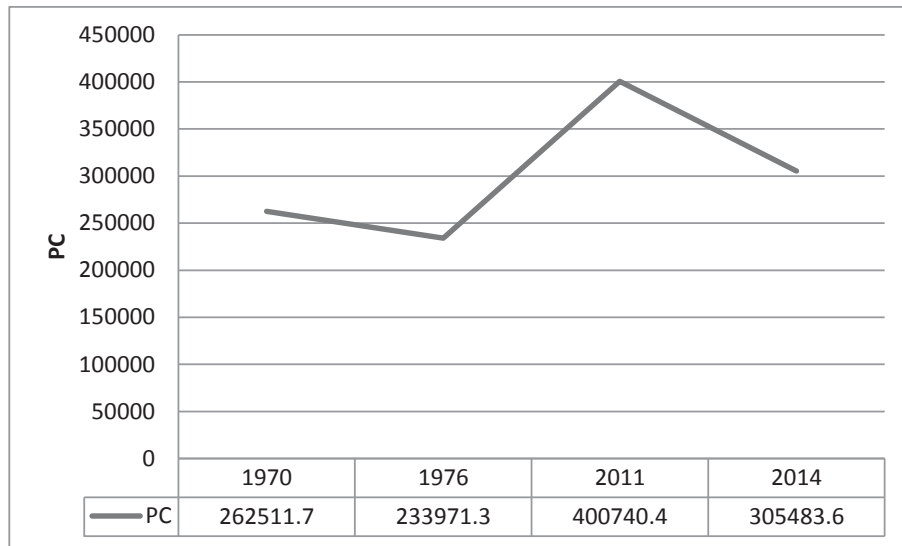


Figura 20. Variación del índice PC desde 1970 al 2014, este es adimensional, cuya definición es la probabilidad de encontrar al azar dos parches conectados entre sí (Pascual-Hortal y Saura 2007).



## **4.7. EL CAMPUS UNALM COMO SISTEMA SOCIO-ECOLÓGICO.**

### **4.7.1. DEFINICIÓN DEL SISTEMAS SOCIO-ECOLÓGICO DEL CAMPUS UNALM**

Cuando se menciona a los sistemas socio-ecológicos del campus (SSE-campus) se hace referencia al paisaje generado por la interacción de los procesos sociales y ecológicos (Barthel *et al.* 2013), cuyos patrones generados se cuantificaron para evaluar su evolución permitiendo el reconocimiento de la dinámica del paisaje en los periodos de 1970 a 1976, de 2011 al 2014 y de 1970 al 2014 mediante Modelos de Estado-transición (STM). Estos son el problema y los objetivos de la presente investigación; porque su identificación es fundamental para definir el sistema socio-ecológico estudiado (Chapin *et al.* 2009). Y aunque lo ideal, para los estudios de este enfoque, es tener tanto la escala social como la escala ecológica en la misma unidad de análisis (Ernstson *et al.* 2010), también se puede estudiar el efecto de las políticas de gestión en la dinámica de los ecosistemas del espacio evaluado (Chapin *et al.* 2009); como se plantea en este trabajo. Por lo tanto, este capítulo busca interpretar el cambio del paisaje desde el enfoque de sistemas socio-ecológicos basándose en la evidencia cuantitativa y cualitativa generada.

El cambio del paisaje no puede comprenderse sin tener en cuenta la dinámica y las influencias cruzadas de los procesos de las escalas por encima y por debajo de él (Barboza *et al.* 2013): el entorno, la escala mayor; y los sub-sistemas que contiene (ecosistemas vegetales, ecosistemas agrícolas, ecosistemas urbanos, ecosistemas desérticos y ecosistemas acuáticos), la escala menor. Así, el concepto de panarquía es la base para discutir una propuesta de *sostenibilidad* del SSE-campus mediante la interpretación del cambio como lo muestra la figura 21 (Gunderson y Holling 2001, Holling y Gunderson 2002, Gotts 2007).

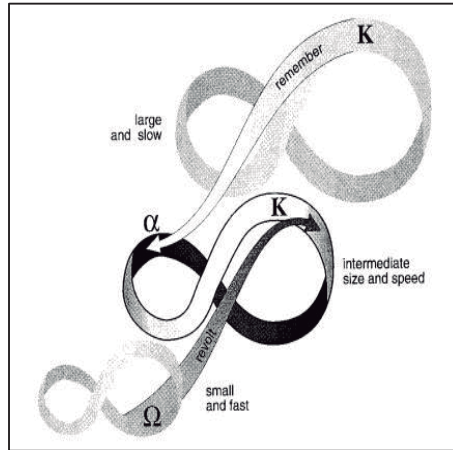


Figura 21. La panarquía es definida mediante las interacciones de los ciclos adaptativos como propone Holling (2001).

#### 4.7.2. EL ENTORNO EN UNA ETAPA DE CONSERVACIÓN “K”

En 1970 la matriz del paisaje del entorno de la universidad fueron los campos de cultivo, y para 1976 cambio hacia un paisaje eminentemente urbano (Figura, 22). Esto se debió a que el gobierno nacional facilitó la lotización de los terrenos externos a la universidad en el contexto de la reforma agraria (Olcese 2002). Entonces, hacia los años setenta este nuevo controlador exógeno social determinó las características del entorno del SSE-campus (Chapin *et al.* 2009). En adelante, el crecimiento de la infraestructura es notable, como lo evidencia el contraste de los mapas de 1976 y 2011 (anexo 10 y anexo 11).



Figura 22. Variación del entorno en los años de 1970, 1976, 2011 y 2014.

Si bien el entorno del SSE-campus ha cambiado drásticamente desde los años setenta, una comparación de los mapas del 2011 y 2014 no muestra algún cambio cualitativo distinguible (Figura 22), la matriz es la misma: áreas urbanas; en un distrito con elevado capital económico y social, pero vulnerable a eventos externos como terremotos, epidemias, etc.. Esta baja resiliencia permite definirlo, como paisaje, en un estadio de conservación “K” (Holling 2001). Así, se estableció el contexto de la evolución del campus: una escala mayor urbanizada que influyó en la dinámica del SSE-campus, sobre todo en los periodos de reorganización (Gotts 2007, Gunderson y Holling 2001, Holling y Gunderson 2002); aun así la matriz paisaje del campus al 2014 continuo siendo los campus de cultivo, que podrían funcionar como *paisajes bio-culturales* (Barthel *et al.* 2013) respecto a su entorno.

#### 4.7.3. EL SSE-CAMPUS EN UNA ETAPA DE CRECIMIENTO “r”

Para que un sistema socio-ecológico inicie una etapa de crecimiento “r” generalmente necesita de una perturbación que defina un periodo de organización y luego un crecimiento continuo, (Chapin *et al.* 2009); Existió una perturbación con el traslado de la Escuela de Agricultura y Veterinaria del fundo de Santa Beatriz al fundo de La Molina, curiosamente promovida por la intensa urbanización de las áreas experimentales del Fundo de Santa Beatriz (Olcese 2002). Entonces, la infraestructura de la universidad fue incrementando (Figura 8), a pesar de terremotos y crisis sociales, como es característico de sistemas en una fase de crecimiento “r” al continuar inclusive ante perturbaciones externas (Chapin *et al.* 2009). Esta etapa se puede caracterizar por un incremento de la abundancia de capitales o el potencial (Holling 2001); así, de 1970 al 2014 es notable el incremento de áreas urbanizadas en el campus (Figura 16), hay un mayor número de estudiantes, trabajadores y profesores (Olcese, 2002). La conectividad, esto referido a la capacidad de control interno del sistema se va incrementando en una etapa de crecimiento “r” (Gunderson y Holling 2001), y en el SSE-campus este control se manifiesta mediante políticas de gestión dirigidas a una mayor construcción de áreas urbanas de 1970 al 2014: para el periodo de 1970 a 1976 la urbanización tubo una tasa de 3 457 m<sup>2</sup>/año; y para el periodo de 2011 al 2014 la razón de crecimiento de áreas urbanas es 7 663 m<sup>2</sup>/año, más del doble respecto al periodo anterior. Finalmente, el tercer componente (Figura 23), que permitió definir la etapa de crecimiento “r” para SSE-campus, es la resiliencia que disminuye conforme el sistema se va estabilizando (Walker *et al.* 2004, Holling y Gunderson 2002, Gunderson y Holling 2001). Así, por el patrón de urbanización generado (Figura 17) desde 1970 al 2014 existió la pérdida de ecosistemas desérticos (Figura 9), la pérdida de la matriz del paisaje (Figura 7), la degradación de la conectividad ecológica verdes (Figura 20); y finalmente, al comparar las tendencias del paisaje de 1970 a 1976 y del 2011 al 2014 evidencia como la dinámica de los ecosistemas agrícolas, desérticos y vegetativos del campus se ve interrumpida por el patrón de urbanización (comparar las figuras 13 y 15). Como resultado el SSE-campus tiende hacia un atractor de urbanización (Figura 17), donde los ecosistemas son muy vulnerables a los efectos de los cambios repentinos, son menos resilientes, limitando su capacidad de proveer sus servicios al ser aproximados a fases de colapsos “ $\Omega$ ” (Elmqvist *et al.* 2013, Gómez-Baggethun *et al.* 2013, Holling 2001).

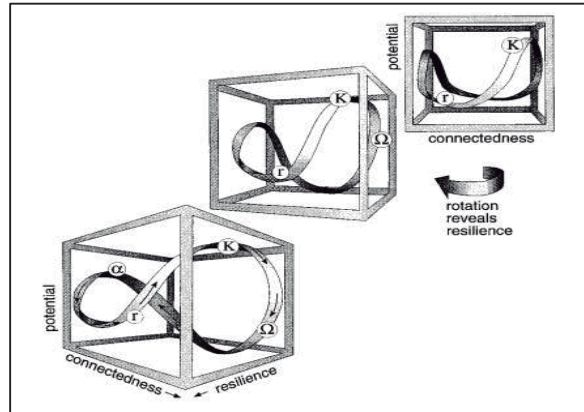


Figura 23. Las dimensiones que definen la etapa de un ciclo adaptativo: el potencial, la conectividad y la resiliencia. Tomado de (Gunderson y Holling 2001)

#### 4.7.4. LA PANARQUIA EN UN SENTIDO DE SOSTENIBILIDAD DEL SSE-CAMPUS

La idea de *panarquia* hace referencia a las interacciones entre las escalas, de manera que las escalas mayores pueden definir la organización de las escalas menores (Holling 2001); así en el primer periodo evaluado de 1970 al 1976 el país se caracterizó por crisis sociales, económicas y políticas, resultando controladores exógenos inestables (Chapin *et al.* 2009), que repercutieron en el componente social del campus como huelgas, actos violentos, desocupación de la universidad, propagación de ideologías extremistas, etc. (Olcese 2002). En contraste, en los últimos años el país se ha caracterizado por una estabilidad social, económica y política; pero dentro de un contexto de inestabilidad ecológica global (Rocha *et al.* 2015), donde desde las escalas menores, más dinámicas, se pueden difundir las revoluciones a manera de los colapsos hacia las escalas mayores, más lentas (Walker *et al.* 2004, Holling y Gunderson 2002, Gunderson y Holling 2001). De esta manera, el colapso de ecosistemas por la urbanización del SSE-campus (Figuras 16 y 17), podría significar el colapso de los ecosistemas urbanos del entorno mediante un efecto cascada (Gunderson y Holling 2001) (Figura 22), del distrito, de la ciudad, inclusive con cambios repentinos o bruscos de régimen (Biggs *et al.* 2012, Rocha *et al.* 2015). Pero también los aprendizajes de la gestión del SSE-campus pueden difundirse como innovaciones (Walker *et al.* 2004, Holling y Gunderson 2002, Gunderson y Holling 2001),

para la gestión de ecosistemas urbanos de Lima. Así, este análisis realizado de la interacción de las escalas superiores e inferiores define un aspecto fundamental de la resiliencia y el sentido de *sostenibilidad* para el SSE-campus (Walker *et al.* 2004, Holling y Gunderson 2002, Gunderson y Holling 2001), como propone Holling (2001): “... *el desarrollo sostenible se refiere al objetivo de fomentar capacidad de adaptación y la creación de oportunidades; por lo tanto, no es un oxímoron, sino un término que describe una asociación lógica: un aprendizaje con continuidad...*”. Que finalmente permite reflexionar, a manera de conjetura, sobre la gestión de la resiliencia de los SSE-campus, siempre a nivel del paisaje, sustentada en la evidencia recolectada.

#### **4.7.5. GESTIÓN DE LA RESILIENCIA DE LOS SISTEMAS SOCIO-ECOLÓGICOS DEL CAMPUS.**

La evolución del campus evidencia situaciones de impactos externos o *shocks* a nivel social hacia los años setenta (Olcese 2002) y más recientemente a nivel ecológico (Gómez-Baggethun *et al.* 2013); ya que estos cambios son inherentes en el ambiente (Margalef 2002). Así, la incertidumbre debe ser considerada en la gestión del campus (Andersson *et al.* 2014). El enfoque de la gestión de la resiliencia incorpora el cambio como una oportunidad de desarrollo (Walker *et al.* 2004), donde el componente social posee la capacidad de adaptarse, detectando los controladores externos, variables de cambio lento en un aprendizaje continuo para fortalecer la capacidad de los ecosistemas en proveer sus servicios (Figura 24) (Chapin *et al.* 2009, Andersson *et al.* 2014, Rocha *et al.* 2015, Biggs *et al.* 2015). Los mismos que en el SSE-campus se están degradando y particularmente la evidencia apunta a la pérdida de la conectividad de sus arterias verdes (Figura 20 y anexo 8), que son fundamentales para la gestión resiliente de los sistemas socio-ecológicos urbanos (Barthel *et al.* 2013).

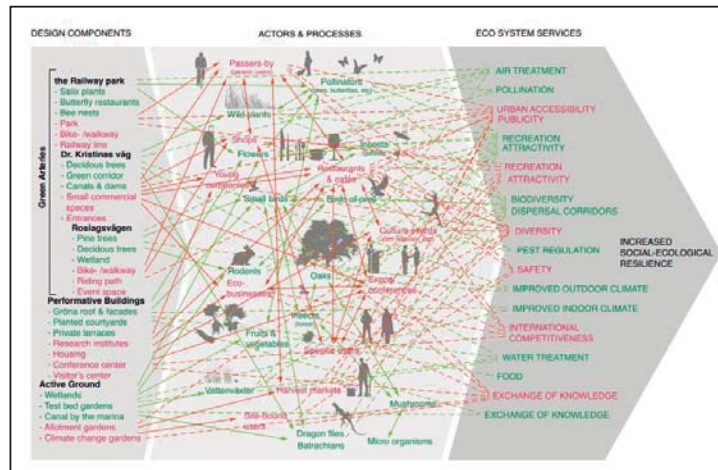


Figura 24. Descripción de los servicios ecosistémicos disponibles para el diseño del Campus Resiliente de Albano, Estocolmo. Tomado de los principios para el urbanismo social-ecológico (Barthel *et al.* 2013).

Los ecosistemas vegetales en el campus poseen una importancia particular a nivel del paisaje del SSE-campus, ya que son el sistema más *silvestre*; esto es donde los procesos ecológicos son dominantes respecto a los demás (Figura 18). En este mismo sentido, resaltan también en que:

- Son muy dinámicos (Figura 11), entonces su monitoreo podría permitir evaluar las variables de cambio lento y las retroalimentaciones positivas y negativas que configuran al sistema en su capacidad de proveer servicios ecosistémicos (Figura 25), permitiendo un aprendizaje continuo del sistema (Holling 2001, Chapin *et al.* 2009).
- Son espacios de alta diversidad biológica como el Jardín Botánico “Octavio Velarde Núñez” (Arnao 2014; Castillo 2013 y Quinteros, 1992) que proveen distintas opciones de respuesta al cambio y aprendizaje (Jayaweera 2008).
- La conectividad de su distribución a lo largo del campus (anexo 8; Figura 20), puede aumentar o disminuir la resiliencia del SSE-campus (Barthel *et al.* 2013, Ernstson *et al.* 2010, Enqvist *et al.* 2014).

- Están en contacto con las distintas unidades de administración (Anexo 12), como facultades, laboratorios, bibliotecas, áreas experimentales, campos de cultivo, jardines, etc. que permiten vincular a los distintos actores en una gestión participativa del mismo, permitiendo ensayar estructuras de gobernanza policéntrica a nivel del paisaje (Biggs *et al.* 2015, Galaz *et al.* 2014).

De esta manera, estas *arterias verdes* y otros servicios ecosistémicos son fundamentales para la gestión de la resiliencia del SSE-campus (Figura 24) (Barthel *et al.* 2013); y quizá, en la necesidad de mostrar la integración de los sistemas sociales y ecológicos (Figura 25), convenga hablar de estos como *servicios socio-ecológicos* (Huntsinger y Oviedo 2014).

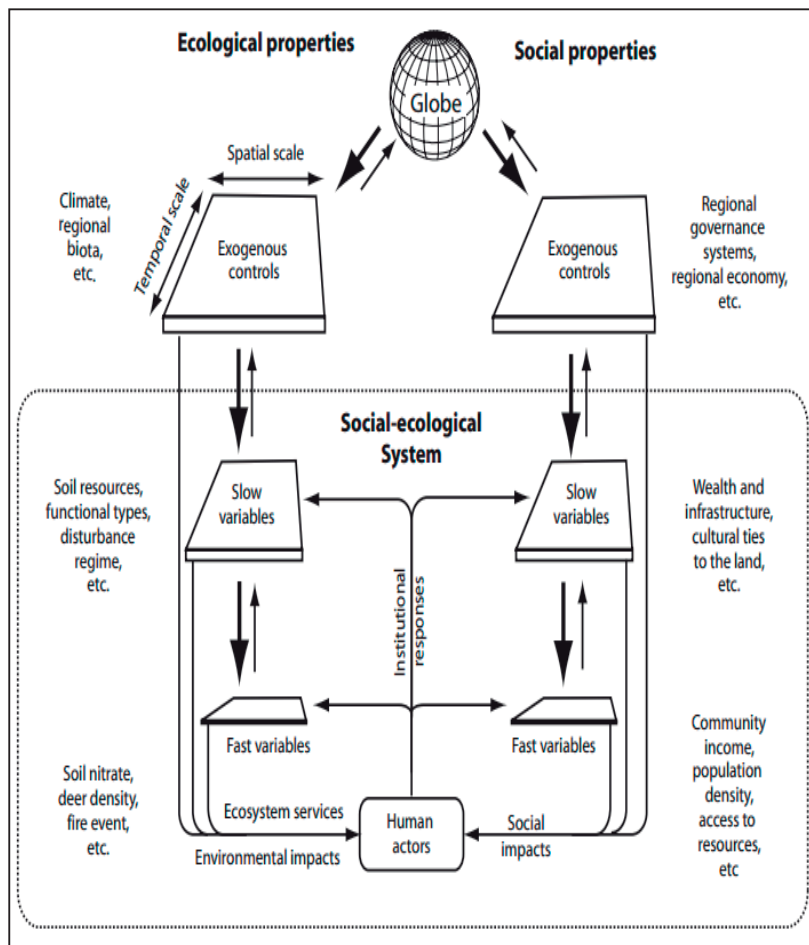


Figura 25. Controladores exógenos, variables de cambio rápido y lento de un sistema socio-ecológico (Chapin *et al.* 2009).



Finalmente, el SSE-campus constituye un espacio donde la experimentación y el aprendizaje pueden permitir reconocer la integración de los sistemas ecológicos, sociales y económicos, y se busque la reconexión de la mente humana a la biosfera (Andersson *et al.* 2014); así, se desarrolle el capital humano capaz de proponer innovaciones para afrontar los desafíos actuales de la *sostenibilidad* (Manring 2014, Steffen *et al.* 2015, Holling 2001).

## V. CONCLUSIONES

El campus presentó a la Vegetación Cultivada como matriz del paisaje, por representar, durante los años evaluados, más del 70% del área estudiada; sin embargo, dentro de este estado hay un cambio de atractor donde los campos de cultivo disminuyen y se incrementan los jardines.

El Modelo de Estado-transición de 1970 al 1976 evidenció la dinámica de sucesiones entre las clases de Estructura Vegetativa, Vegetación Cultivada y Suelo Descubierta en los bordes de campos de cultivos y jardines principalmente. Además, se observó un patrón de urbanización como tendencia del paisaje, sobretodo sobre las áreas de suelo desnudo que disminuyó notoriamente en la zona 4.

El Modelo de Estado-transición del 2011 al 2014 la tendencia a la urbanización es más intensa, sobrepasando la zona 4 ocupando inclusive áreas de la matriz del paisaje; y en una dinámica de transiciones recíprocas con la Estructura Vegetativa que presenta una gran disminución en su composición.

El Modelo de Estado-transición de 1970 al 2014 el campus tiende a un patrón dinámico de urbanización notorio y de manera irreversible se ha desarrollado en las zonas 4, 3 y 2, tomando gran parte de los suelos desnudos y la matriz del paisaje, que progresivamente fomentó el paso de suelos cultivados a jardines. Y la estructura Vegetativa se incrementó notablemente pasando a concentrarse en la zona 4 principalmente.

La Estructura Vegetativa proporciona irregularidad a la forma del paisaje, debido a que sus procesos son más ecológicos que antropológicos, resultando ser el estado más *silvestre* dentro del campus. Esta clase perdió conectividad ecológica durante los años evaluados.

El entorno del sistema socio-ecológico del campus se encontró en una fase conservación “K”; una fase de urbanización intensa que estableció el contexto de evolución del campus de 1970 al 2014. En contraste, el campus mantuvo una matriz de paisaje de campos de cultivo, lo que permite proponerlo como un *paisaje bio-cultural* en un medio urbano.

El sistema socio-ecológico del campus tiende hacia un atractor de urbanización, interpretado como una fase de crecimiento “r”, con mayores áreas y tasas de urbanización, con la pérdida de ecosistemas desérticos, la pérdida de la matriz del paisaje, la degradación de la conectividad ecológica y la interrupción de la dinámica sucesional entre los ecosistemas; limitando su capacidad de proveer sus servicios al ser aproximados a fases de colapso “ $\Omega$ ”.

Se definió la *sostenibilidad* del campus, desde el concepto de *panarquía*, a partir de evaluar la interacción de las escalas superiores e inferiores; que evidenciaron el contexto de vulnerabilidad de sus ecosistemas; presentándose la oportunidad para difundir, a las escalas mayores, las innovaciones sobre la gestión de ecosistemas urbanos, en un aprendizaje continuo.

La gestión de la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos del campus debe buscar fortalecer el aprendizaje de cómo evitar el colapso y fomentar la capacidad de sus ecosistemas de proveer servicios; en este sentido, se resaltó la función de los ecosistemas vegetales, ya que estas son fundamentales para la conectividad ecológica, monitoreo, respuesta al cambio, gestión participativa, ensayo de estructuras de gobernanza, etc.

## VI. RECOMENDACIONES

Se debe estudiar la relación existente entre los bordes del paisaje de la UNALM y cómo influyen en la dinámica del mismo.

Se recomienda un análisis de mayor detalle del campus mediante clasificaciones que reconozcan la variedad e estados dentro de la composición de la Estructura Vegetativa, y la diferenciación de los campos de cultivos y jardines.

Se debe identificar claramente los procesos antropológicos que interactúan con los ecosistemas para gestionar el campus de manera integral.

Se debe investigar las características de las especies más urbanas del campus pues se encuentran más vulnerables a las actividades humanas.

Se recomienda realizar monitoreo de los cambios del paisaje, para evaluar los impactos de las actividades humanas, sobre todo proyectos mayores dentro de la universidad.

Se deben tener en cuenta la escala de paisaje para comprender la dinámica de los ecosistemas urbanos del campus al momento de tomar decisiones que lo alteren, por ejemplo durante las construcciones de edificios, aulas, etc.

Se debe aprovechar al campus de la UNALM para comprender la integración de los sistemas ecológicos, sociales y económicos.

Se debe evaluar las influencias del contexto de la universidad a su dinámica, tales como la influencia económica, social y biológica del distrito y de la ciudad.

Se debe identificar la importancia del paisaje del campus para los ecosistemas urbanos del entorno.

Se debe buscar metodologías que correlacionen las variables ecológicas, sociales y económicas para comprender mejor los sistemas socio-ecológicos del campus.

Se debe investigar mecanismos de difusión de las innovaciones de la gestión de ecosistemas urbanas a escalas mayores.

Se debe fortalecer la capacidad de aprendizaje de la variabilidad ecológica para la gestión del campus.

Se recomienda considerar el enfoque socio-ecológico del campus para su gestión integral basado en su resiliencia.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adger, N.; Arnell, N.; Tompkins, E. . 2005. Successful Adaptation To Climate Change Across Scales. *Global Environmental Change*. 15(2): 77-86.
2. Albornoz, M; Alfaraz, C.. 2006. Redes del Conocimiento: Construcción, Dinámica y Gestión. s.l., s.e., 77-112 p.
3. Andersson, E; Barthel, S; Borgström, S; Colding, J; Elmqvist, T; Folke, C; Gren, Å. . 2014. Reconnecting Cities to the Biosphere: Stewardship of Green Infrastructure and Urban Ecosystem Services. *Ambio* 43(4): 445-453.
4. Aramayo, A; Sánchez, E.. 2010. Determinación De Las Fases De Colapso En Las Diferentes Etapas De La Evolución Histórico-Ambiental De Cerro De Pasco (1901-2008). *Ecología Aplicada* 9(2).
5. Arnold, M; Francisco, M.. 1998. Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. *Cinta de Moebio* 3: 40-49.
6. Arnao, L. 2014. Dinámica De La Estructura Del Paisaje, Su Relación Con La Riqueza De Aves Y La Dinámica De La Estructura Según Modelo Estado Transición De Las Clases Evaluadas Del Campus Universitario De La Universidad Nacional Agraria La Molina Desde 1970 Hasta 2011. 121 p.
7. Barboza, P; Alexander, E; Zulia, U.. 2013. Resiliencia y Panarquía: Claves Para Enfrentar La Adversidad En Sistemas Sociales. *Multiciencias* 13(1): 23-29.
8. Barthel, S; Colding, J; Elmqvist, T; Folke, C. . 2005. History and Local Management of a Biodiversityrich, Urban, Cultural Landscape. *Ecology and Society* 2005: 27.
9. Barthel, S; Colding, J; Erixon, H; Sara, G; Kärsten, C; Marcus, L; Torsvall, J. . 2013. Principles of Social-Ecological Urbanism - Case Study: Albano Campus, Stockholm. *Stockholm, Trita-ARK Forskningspublikationer* 2013:3, v.33, 122 p.
10. Barthel, S; Crumley, CL; Svedin, U. . 2013. Biocultural Refugia : Combating the Erosion of Diversity in Landscapes. *Ecology and Society* 18(4).

11. Beisner, B; Haydon, D; Cuddington, K. . 2003. Alternative Stable States In Ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1(7): 376-382.
12. Biggs, R; Blenckner, T; Folke, C; Gordon, L; Norstrom, A; Nystrom, M; Peterson, G. . 2012. Regime Shifts. *Berkshire Encyclopedia of Sustainability*. s.l., Berkshire Publishing, p.512. .
13. Biggs, R; Schlüter, M; Schoon, M. . 2015. Principles for Building Resilience - Sustaining Ecosystem Services in Social-Ecological Systems. s.l., Cambridge University.
14. Bodin, Ö; Saura, S. . 2010. Ranking Individual Habitat Patches As Connectivity Providers: Integrating Network Analysis And Patch Removal Experiments. *Ecological Modelling* 221(19): 2393-2405.
15. Bodin, Ö; Zetterberg, A. . 2012. MatrixGreen : Landscape Ecological Network Analysis Tool – User manual.
16. Castellanos, T; Joseph, J; Ubillús, M. . 2003. Lima: Ciudad Cada Vez Menos Pretenciosa. *Alternativa*. Centro De Investigacion Social Y Educación Popular. s.l., s.e., p.30.
17. Castillo, L. 2012. Abundancia relativa y diversidad de la avifauna como indicadores del estado del ecosistema: campus de la universidad nacional agraria la molina. Tesis título de Bióloga. Lima. Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 131 p.
18. Chapin, FS; Folke, C; Kofinas, GP. . 2009. Principles of Ecosystem Stewardship. A Framework for Understanding Change. USA, Springer Science+Business Media, p.3-29. .
19. Chapin, FS; Kofinas, GP; Folke, K. . 2009. Principles of Ecosystem Stewardship, Resilience-Based Natural Resource Management in a Changing World. Eds. C Folke; GP Kofinas; FS Chapin. New York, NY, Springer New York.
20. Corrales, M. 2012. Percepción de la Comunidad Universitaria sobre los Vertebrados Urbanos en la Universidad Nacional Agraria La Molina. Tesis Título de Biólogo. Lima. Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 105 p.
21. Costanza, R; Folke, C. . 1996. The Structure And Function Of Ecological Systems In Relation To Property Rights Regimes. s.l., Island Press, Washington, DC.
22. Crépin, A-S; Biggs, R; Polasky, S; Troell, M; de Zeeuw, A. . 2012. Regime shifts and Management. *Ecological Economics* 84: 15-22.
23. Earls, J. . 2006. Introducción a la Teoría de los Sistemas Complejos.

24. Elmqvist, T; Fragkias, M; Güneralp, B; Goodness, J; Marcotullio, PJ; McDonald, RI; Parnell, S; Schewenius, M; Sendstad, M; Seto, KC; Wilkinson, C. . 2013. Urbanization , Biodiversity and Ecosystem Services : Challenges and Opportunities. 1 ed. New York, s.e., 1-12 p.
25. Enqvist, J; Tengö, M; Bodin, Ö. . 2014. Citizen Networks In The Garden City: Protecting Urban Ecosystems In Rapid Urbanization. *Landscape and Urban Planning* 130: 24-35.
26. Ericksen, PJ; Ingram, JSI; Liverman, DM. . 2009. Food Security And Global Environmental Change: emerging challenges. *Environmental Science & Policy* 12: 373-377.
27. Ernstson, H; Barthel, S; Andersson, E. . 2010. Scale-Crossing Brokers and Network Governance of Urban Ecosystem Services : The Case of Stockholm. *Ecology and Society* 15(4): 25.
28. Farina, A. . 2010. *Ecology, Cognition and Landscape Linking Natural and Social Systems*. New York, Springer Science, Business Media .
29. Flamm, RO; Turner, MG. . 1994. Alternative Model Formulations For A Stochastic Simulation Of Landscape Change. *Environmental Sciences Div&ion* 9(1): 37-46.
30. Foley, J a; Asner, GP; Costa, MH; Coe, MT; Gibbs, HK; Howard, E a; Olson, S; Patz, J; Ramankutty, N; Defries, R; Snyder, P. . 2007. Amazonia Loss Of Amazon Revealed : Ecosystem Basin Forest Goods Degradation. The Ecological Society. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: 25-32.
31. Folke, C; Jansson, Å; Rockström, J; Olsson, P; Carpenter, SR; Stuart Chapin, F; Crépin, AS; Daily, G; Danell, K; Ebbesson, J; Elmqvist, T; Galaz, V; Moberg, F; Nilsson, M; Österblom, H; Ostrom, E; Persson, Å; Peterson, G; Polasky, S; Steffen, W; Walker, B; Westley, F. . 2011. Reconnecting To The Biosphere. *Ambio* 40: 719-738.
32. Galaz, V; Osterblom, H; Orjan, B; Crona, B. . 2014. Global Networks And Global Change-Induced Tipping Points. *International Environmental Agreements* 2014.
33. Gómez-Baggethun, E; Gren, Å; Barton, DN; Langemeyer, J; McPhearson, T; O'Farrell, P; Andersson, E; Hamstead, Z; Kremer, P. . 2013. Urban Ecosystem Services. *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities: A Global Assessment*. s.l., s.e., p.175-251. .
34. Gotts, NM. . 2007. Resilience, Panarchy, and World-Systems Analysis. *Ecology and Society* 12(1).



35. Gunderson, LH; Holling, CS. . 2001. Panarchy: Understanding Transformations In Human And Natural Systems. Washington, Island Press.
36. Hernández, L; Romero, J; Bracho, N. . 2005. Tesis Básicas del Racionalismo Crítico. Cinta Moebio 23: 193-203.
37. Holdridge, L. R. 1967. Life Zone Ecology. Tropical Science Center. San José, CR. 226p.
38. Holling, CS; Gunderson, LH. . 2002. Resilience And Adaptive Cycles. Panarchy: Understanding Transformations In Human And Natural Systems. USA, Island Press, Washington, DC, p.25-62. .
39. Holling, CS. . 1973. Resilience and Stability of Ecological Systems. Annual Review of Ecology and Systematics 4: 1-23.
40. Holling, CS. . 1978. Adaptive Environmental Assessment And Management. New York, International Institute for Applied Systems Analysis.
41. Holling, CS. 1986. Resilience of Ecosystems: Local Surprise And Global Change. Development and the Biosphere 1986: 292–317. .
42. Holling, CS. . 2001. Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. Ecosystems 4(5): 390-405.
43. Huntsinger, L; Oviedo, JL. . 2014. Ecosystem Services are Social – ecological Services in a Traditional Pastoral System : the Case of California’ s Mediterranean Rangelands. Ecology and Society 19(1).
44. Jaramillo, L; Aguirre, J. . 2004. La Controversia Kuhn – Popper En Torno Al Progreso Científico Y Sus Posibles Aportes A La Enseñanza De Las Ciencias. Cinta Moebio 20: 83-92.
45. Jayaweera, I. . 2008. Livelihood and Diversification in Rural Coastal Communities. s.l., Stockholm University. 77 p.
46. Kachergis, EJ; Knapp, CN; Fernandez-gimenez, ME; Ritten, JP; Pritchett, JG; Parsons, J. . 2013. Tools for Resilience Management : Multidisciplinary Development of State-and-Transition Models for Northwest Colorado. Ecology and Society 18(4).
47. Levin, S; Xepapadeas, T; Crépin, A-S; Norberg, J; de Zeeuw, A; Folke, C; Hughes, T; Arrow, K; Barrett, S; Daily, G; Ehrlich, P; Kautsky, N; Mäler, K-G; Polasky, S; Troell, M; Vincent, JR; Walker, B. . 2012. Social-ecological Systems As Complex Adaptive Systems: Modeling And Policy Implications. Environment and Development Economics 18(02): 111-132.

48. Lin, BB; Petersen, B. . 2013. Resilience, Regime Shifts, and Guided Transition under Climate Change: Examining the Practical Difficulties of Managing Continually Changing Systems. *Ecology and Society* 18(1).
49. Maldonado, CE. . 2010. Modelamiento y Simulación De Sistemas Complejos. Bogota, Editorial Universidad del Rosario, 34 p.
50. Manring, SL. . 2014. The Role Of Universities In Developing Interdisciplinary Action Research Collaborations To Understand And Manage Resilient Social-Ecological Systems. *Journal of Cleaner Production* 64: 125-135.
51. Margalef, R. . 2002. Teoría de los Sistemas Ecológicos. 2 ed. Mexico D. F., Alfaomega Grupo Editor, 282 p.
52. Marin, A; Gelcich, S; Castilla, JC. . 2014. Ecosystem Services and Abrupt Transformations in a Coastal Wetland Social-Ecological System: Tubul-Raqui after the 2010 Earthquake in Chile. *Ecology and Society* 19(1).
53. Martínez, A; Ríos, F.. 2006. Los Conceptos de Conocimiento, Epistemología y Paradigma, como Base Diferencial en la Orientación Metodológica del Trabajo de Grado. *Cinta de Moebio* 25: 111-121.
54. Mayer, AL; Rietkerk, M. . 2004. The Dynamic Regime Concept for Ecosystem Management and Restoration. *BioScience* 54(11): 1013-1021.
55. McGarigal, K; Marks. . 1995. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program For Quantifying Landscape Structure. USDA Forest Service 1995.
56. Menghi, M; Herrera, M. . 1998. Modelos de Estados y Trancisiones Para Pastizales Del Valle De Inundacion Del Rio Dulce. Argentina. *Ecotropicos* 11(2): 131-140.
57. Nayak, PK. . 2014. The Chilika Lagoon Social-Ecological System: An Historical Analysis. *Ecology and Society* 19(1).
58. Olcese, O. 2002. “Enfrentando la Adversidad camino a la Gloria” Historia de la Universidad Nacional Agraria La Molina 1902-2002. Lima, Perú. UNALM
59. Paavola, J; Hubacek, K. . 2013. Ecosystem Services , Governance , and Stakeholder Participation : an. *Ecology and Society* 18(4).
60. Padrón, J. . 2007. Tendencias Epistemologicas de la Investigacion Cientifica en el siglo XXI. *Cinta de moebio* 28: 1-28.
61. Panfichi, A; Portocarrero, F. . 2004. La Urbanización de Lima, 1535-1900. *Mundos Interiores: LIma*. 2 ed. Lima, Perú, Pacífico, Universidad del, p.22. .
62. Pascual-Hortal, L; Saura, S. . 2007. Integrating Landscape Connectivity In Broad-Scale Forest Planning Through A New Graph-Based Habitat Availability

- Methodology: Application To Capercaillie (*Tetrao urogallus*) in Catalonia (NE Spain). *European Journal of Forest Research* 127(1): 23-31.
63. Popper, K. . 1977. *Búsqueda Sin Termino*. Madrid, Tecnos.
  64. Quinteros, D. Z. 1992. *Determinación de los Patrones de uso Temporal y Espacial de los Cultivos de Maíz por las Aves Granívoras de la UNALM*. Tesis título de Bióloga. Lima. Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 131 p.
  65. Rocha, JCC; Peterson, GD; Biggs, RO. . 2015. *Regime shifts in the Anthropocene: Drivers, Risks, And Resilience*. *bioRxiv* abr. 2015.
  66. Rockstrom, J; Steffen, W; Noone, K; Persson, A; Chapin, FSIII; Lambin, E; Lenton, TM; Scheffer, M; Folke, C; Schellnhuber, HJ; Nykvist, B; de Wit, CA; Hughes, T; van der Leeuw, S; Rodhe, H; Sorlin, S; Snyder, PK; Costanza, R; Svedin, U; Falkenmark, M; Karlberg, L; Corell, RW; Fabry, VJ; Hansen, J; Walker, B; Liverman, D; Richardson, K; Crutzen, P; Foley, J. . 2009. *Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*. *Ecology and Society* 14(2).
  67. Saura, S; Rubio, L. . 2010. *A Common Currency For The Different Ways In Which Patches And Links Can Contribute To Habitat Availability And Connectivity In The Landscape*. *Ecography* no.July 2009.
  68. Scheffer, M; Carpenter, S; Foley, J. . 2001. *Catastrophic Shifts In Ecosystems*. *Nature* 413: 591–96.
  69. Scheffer, M; Carpenter, SR. . 2003. *Catastrophic Regime Shifts In Ecosystems: Linking Theory To Observation*. *Trends in Ecology & Evolution* 18(12): 648-656.
  70. Scheffer, M. . 2009. *Critical Transitions In Nature And Society*. New York, Princeton University Press.
  71. Schluter, M; Hinkel, J; Bots, PWG; Arlinghaus, R. . 2014. *Application of the SES Framework for Model-based Analysis of the Dynamics of Social-Ecological Systems*. *Ecology and Society* 19(1).
  72. Steffen, W; Persson, Å; Deutsch, L; Zalasiewicz, J; Williams, M; Richardson, K; Crumley, C; Crutzen, P; Folke, C; Gordon, L; Molina, M; Ramanathan, V; Rockström, J; Scheffer, M; Schellnhuber, HJ; Svedin, U. . 2011. *The Anthropocene: From Global Change to Planetary Stewardship*. *Ambio* 40(7): 739-761.
  73. Steffen, W; Richardson, K; Rockström, J; Cornell, SE; Fetzer, I; Bennett, EM; Biggs, R; Carpenter, SR; de Vries, W; de Wit, CA; Folke, C; Gerten, D; Heinke, J;

- Mace, GM; Persson, LM; Ramanathan, V; Reyers, B; Sörlin, S. . 2015. Planetary Boundaries: Guiding Human Development On A Changing Planet (En 10.1126/science.1259855). *Science* 347(6223).
74. Stringham, TK; Krueger, WC; Shaver, PL. . 2003. State And Transition Modeling: An Ecological Process Approach. *Journal of Range Management* 56(2): 106-113.
75. Sutherland, J. . 1974. Multiple Stable Points In Natural Communities. *American Naturalist* 108: 859-873.
76. Takano Goshima, F. 2010. Diversidad de aves y estimación del daño que causan sobre la producción de maíz en el campus de la UNALM. Lima. Perú. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Agraria La Molina. 83 p
77. Turner, MG; Gardner, RH; O'Neill, R V. . 2001. *Landscape Ecology In Theory And Practice - Pattern and Process*. New York, Springer-Verlag.
78. Turner, MG. . 1989. Landscape Ecology: The Effect of Pattern on Process. *Annual Review Of Ecology And Systematics* 20: 171-197.
79. Urban, DL; O'Neill, R V.; Shugart, HH. . 1987. Landscape Ecology. *BioScience* 37: 119-127.
80. Vila, J; Linde, D; Pascual, A; Palom, A. . 2006. Conceptos Y Métodos Fundamentales En Ecología Del Paisaje (Landscape Ecology). *Anàl. Geogr.* 48, 48: 151-166.
81. Walker, B; Holling, CS; Carpenter, SR; Kinzig, AP. . 2004. Resilience, Adaptability and Transformability in Social-ecological Systems. *Ecology and Society* 9(2).
82. Westoby, M; Walker, B; Noy-Meir, I. . 1989. Opportunistic Management For Rangelands Not At Equilibrium. *Range Manage* 42(4): 266-274.
83. Wynn Thomas. 2008. Evolucion De La Mente: Del Neandertal Al Hombre Moderno. *Journal Of Human Evolution*. Disponible en <http://www.smithsonianmag.com/science-nature/When-Did-the-Human-Mind-Evolve-to-What-It-is-Today-160374925.html>

## VIII. ANEXOS

Anexo 1. Fotografía aérea digitalizada de 1970.



Anexo 2. Fotografía aérea digitalizada de 1976.



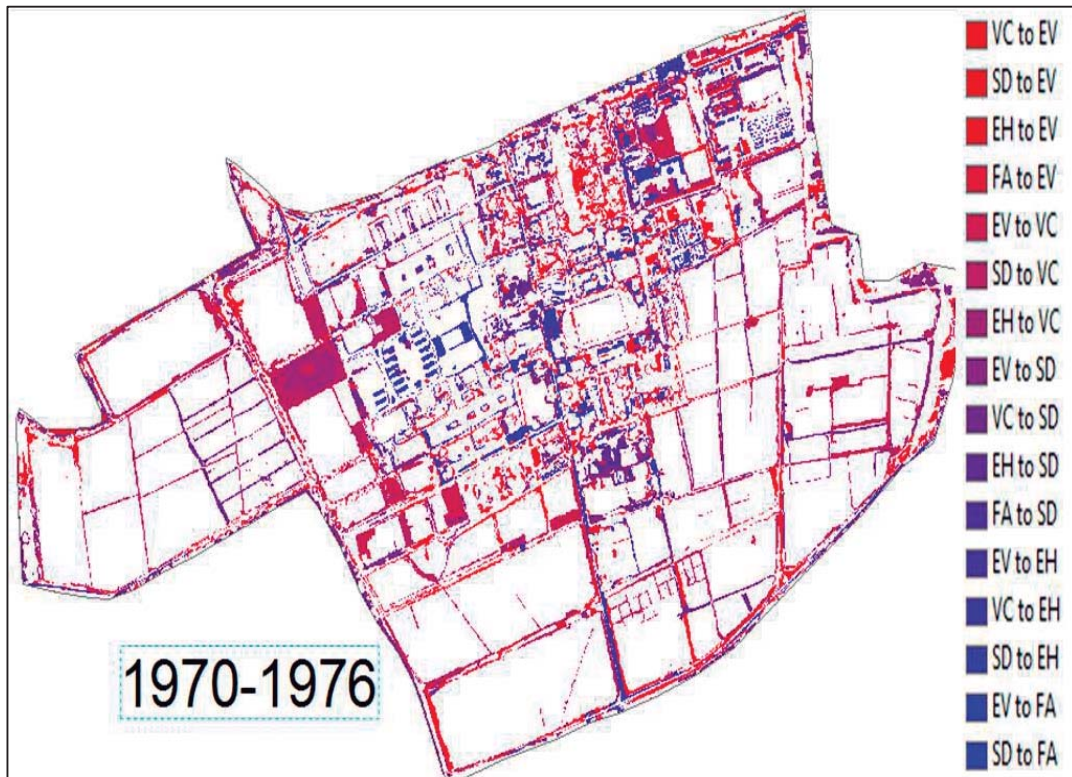
Anexo 3. Imagen satelital de alta definición del 2011.



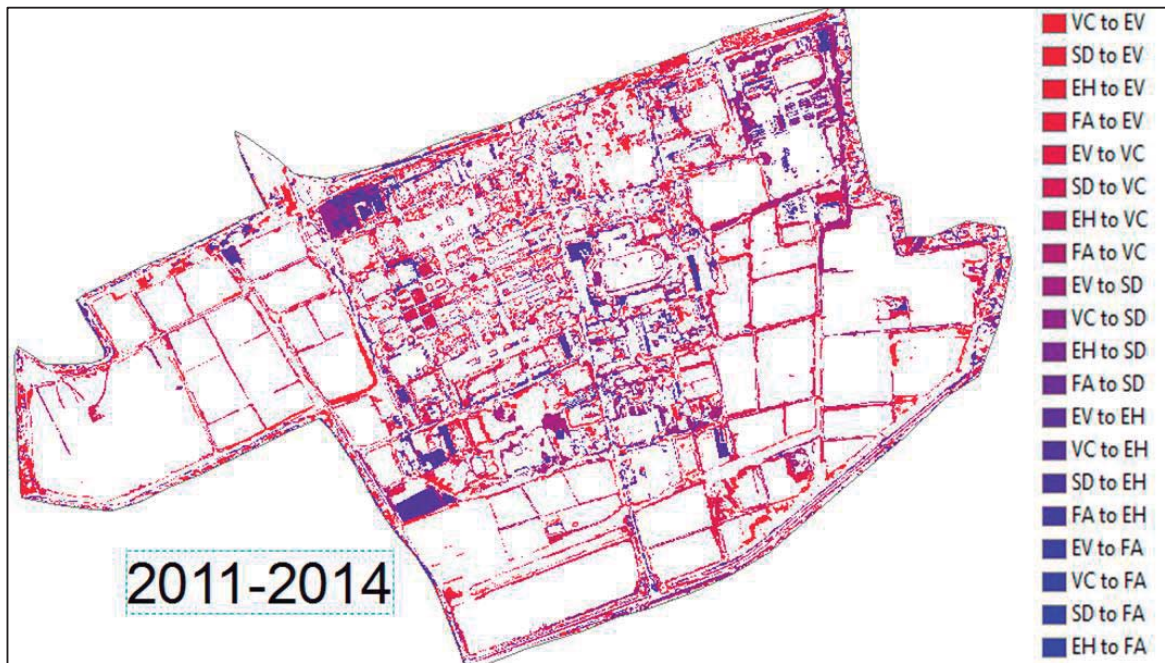
Anexo 4. Imagen satelital de alta definición del 2014.



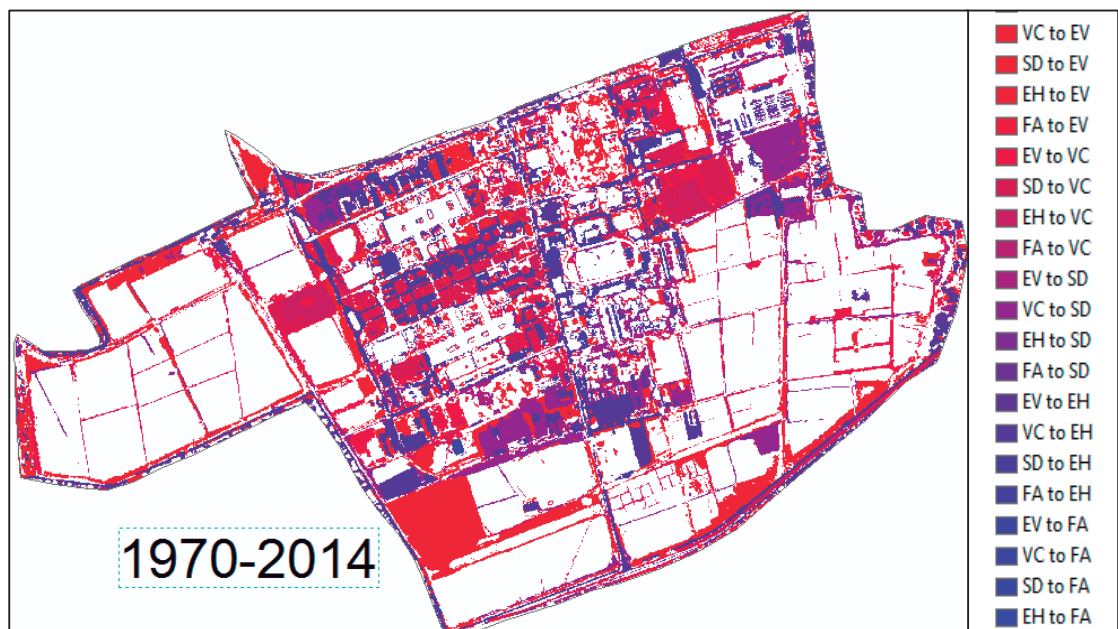
Anexo 5. Mapa de transiciones del periodo de 1970 a 1976.



Anexo 6. Mapa de transiciones del periodo de 2011 al 2014.

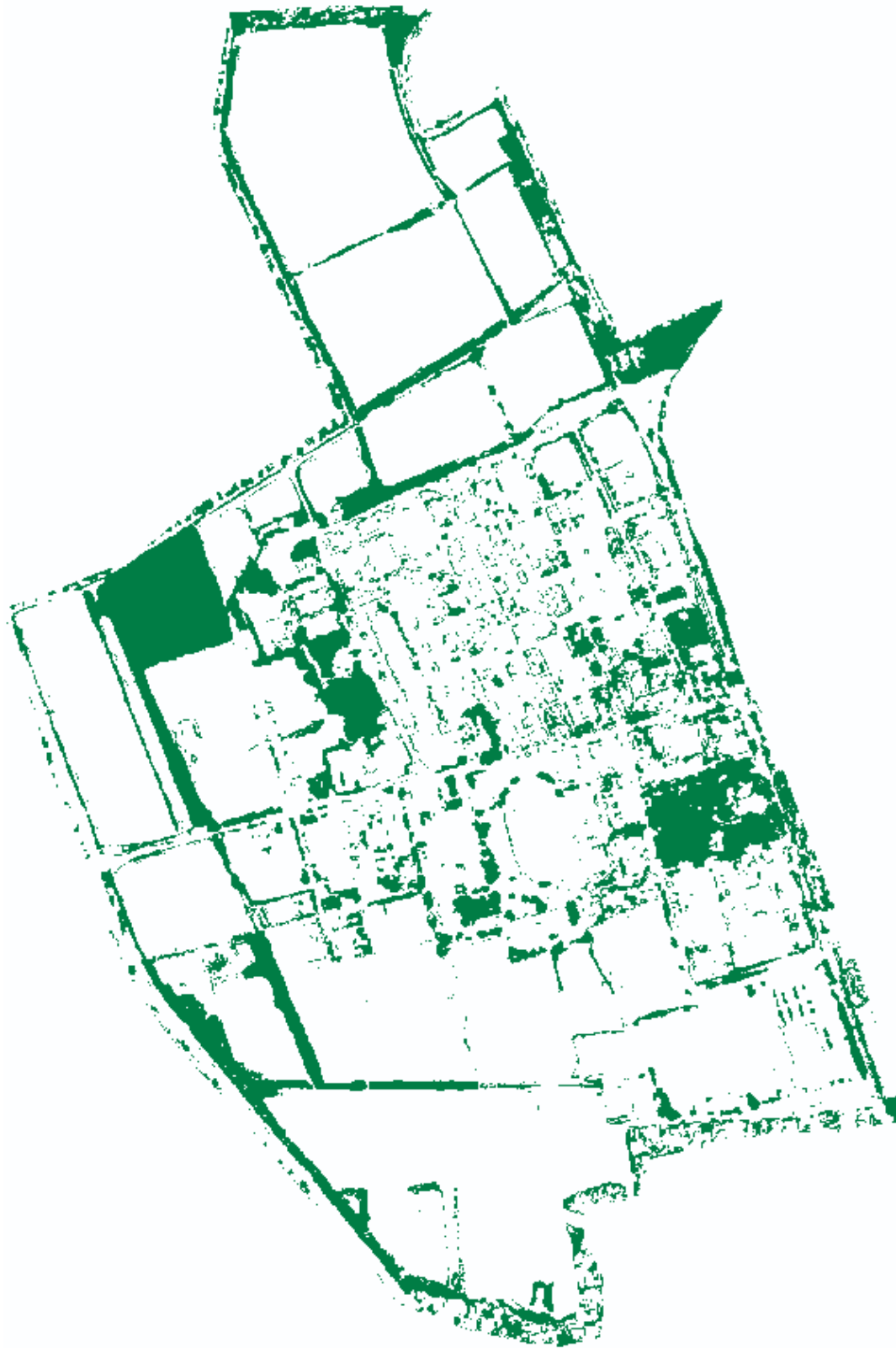


Anexo 7. Mapa de transiciones del periodo de 1970 al 2014.





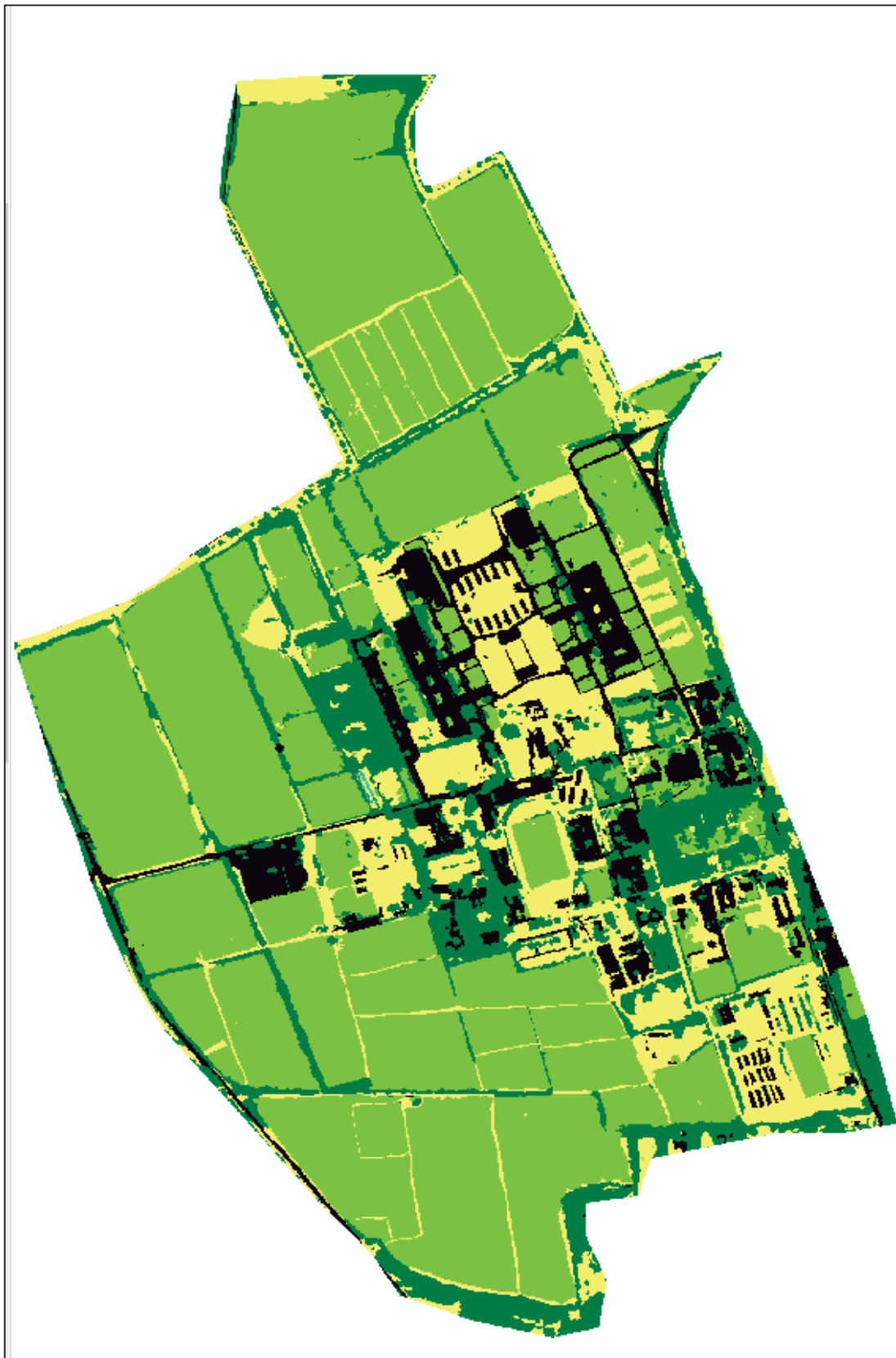
Anexo 8. Mapa de la Estructura Vegetativa en el 2014.



Anexo 9. Mapa del campus del año 1970.



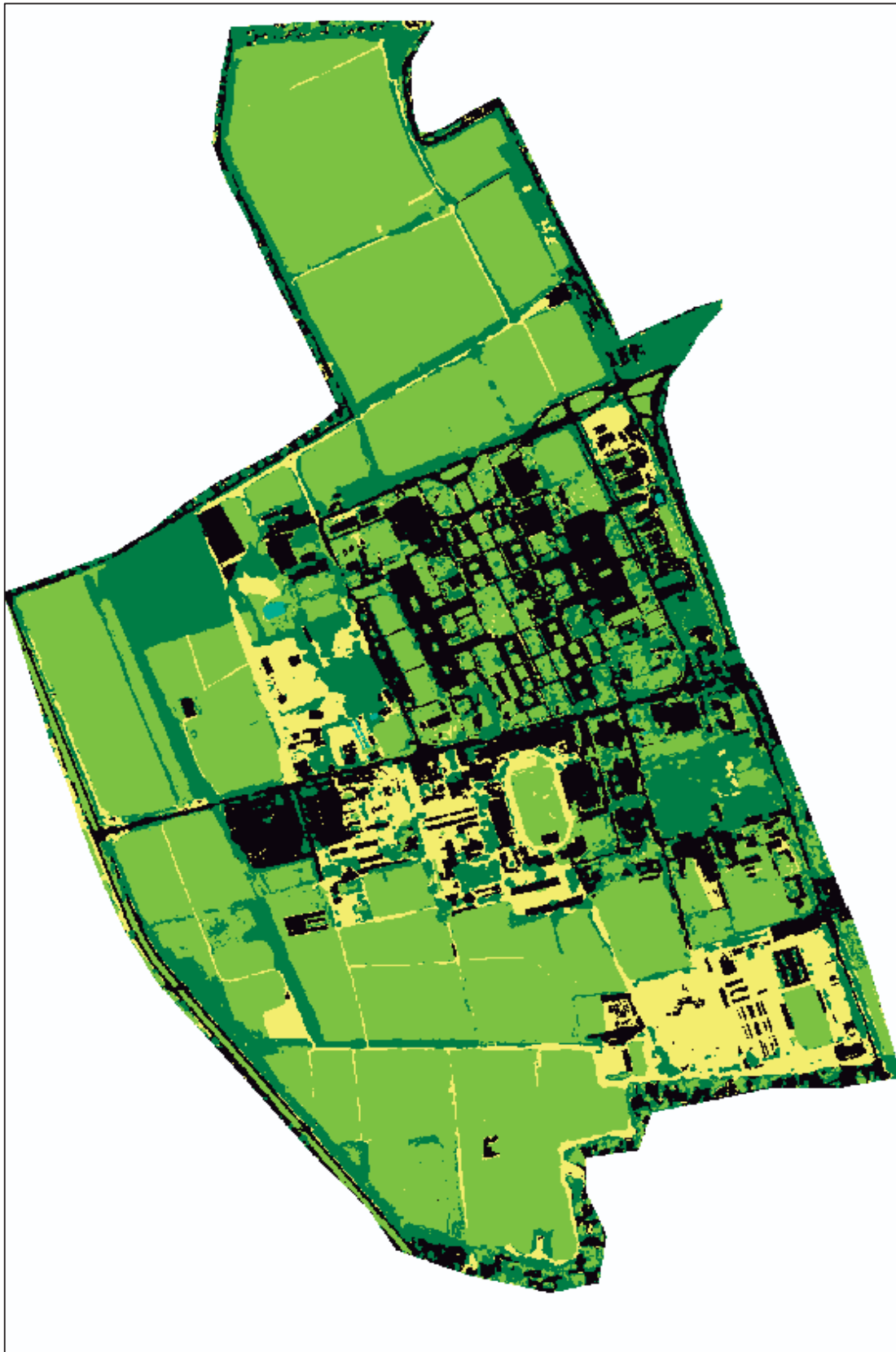
Anexo 10. Mapa del campus del año 1976.



Anexo 11. Mapa del campus del año 2011.



Anexo 12. Mapa del campus del año 2014.



Anexo 13. Matriz de cambio y permanencia del periodo 1970-1976.

	<b>Matriz de permanencias y cambios</b>						
	T2 - - 1976						
T1 -- 1970	Estructura Vegetativa	Vegetacion Cultivada	Suelo Descubierta	Estructura Humana	Fuente de Agua	suma*%	
Estructura Vegetativa	185307	50286	56605	17444	196	3098.38	
Vegetacion Cultivada	40612	2420738	41396	11210	0	25139.56	
Suelo Descubierta	62195	54252	188067	37009	64	3415.87	
Estructura Humana	14815	12038	18068	106181	0	1511.02	
Fuente de Agua	19	0	61	0	177	2.57	

Anexo 14. Matriz de cambio y permanencia del periodo 2011-2014.

	<b>Matriz de permanencias y cambios</b>						
	T2 - - 2014						
T1 -- 2011	Estructura Vegetativa	Vegetacion Cultivada	Suelo Descubierta	Estructura Humana	Fuente de Agua	suma*%	
Estructura Vegetativa	268563	78315	51494	39457	105	4379.34	
Vegetacion Cultivada	52649	2284402	20421	33205	89	23907.66	
Suelo Descubierta	23760	33962	97804	23050	195	1787.71	
Estructura Humana	29025	25524	18206	234434	70	3072.59	
Fuente de Agua	127	302	132	102	1347	20.1	

Anexo 15. Matriz de cambio y permanencia del periodo 1970-2014.

	<b>Matriz de permanencias y cambios</b>						
	T2 - - 2014						
T1 -- 1970	Estructura Vegetativa	Vegetacion Cultivada	Suelo Descubierta	Estructura Humana	Fuente de Agua	suma*%	
Estructura Vegetativa	125117	76117	41769	66525	310	309838	
Vegetacion Cultivada	151921	2226160	68175	66545	1155	2513956	
Suelo Descubierta	78216	97255	66163	99783	170	341587	
Estructura Humana	16803	28088	11646	94528	37	151102	
Fuente de Agua	5	15	58	45	134	257	

Anexo 16. Transiciones más importantes del periodo 1970-1976

Transiciones mas importantes	Área en m2	% del campus
Suelo Descubierta a Estructura Vegetativa	62195	0.15
Estructura Vegetativa a Suelo Descubierta	56605	0.14
Suelo Descubierta a Vegetación Cultivada	54252	0.13
Estructura Vegetativa a Vegetación Cultivada	50286	0.12
Vegetación Cultivada a Suelo Descubierta	41396	0.10
Vegetación Cultivada a Estructura Vegetativa	40612	0.10
Suelo Descubierta a Estructura Humana	37009	0.09

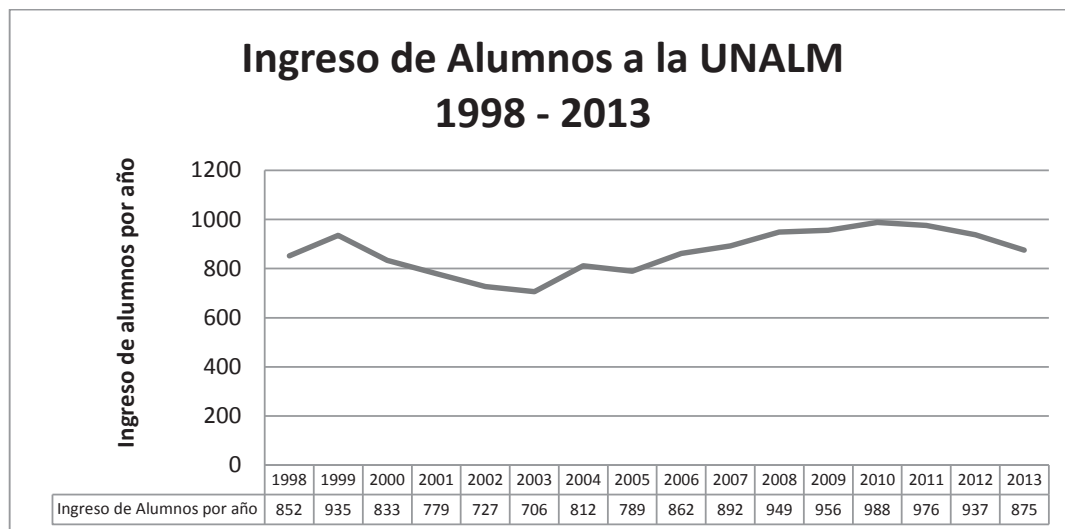
Anexo 17. Transiciones más importantes del periodo 2011-2014.

<b>Transiciones más importantes</b>	<b>Área en m2</b>	<b>% del campus</b>
Estructura Vegetativa a Vegetación Cultivada	78315	0.18204747
Vegetación Cultivada a Estructura Vegetativa	52649	0.12238546
Estructura Vegetativa a Suelo Descubierta	51494	0.1197006
Estructura Vegetativa a Estructura Humana	39457	0.09171994
Suelo Descubierta a Vegetación Cultivada	33962	0.07894651
Vegetación Cultivada a Estructura Humana	33205	0.07718682
Estructura Humana a Estructura Vegetativa	29025	0.06747019

Anexo 18. Transiciones más importantes del periodo 1970-2014

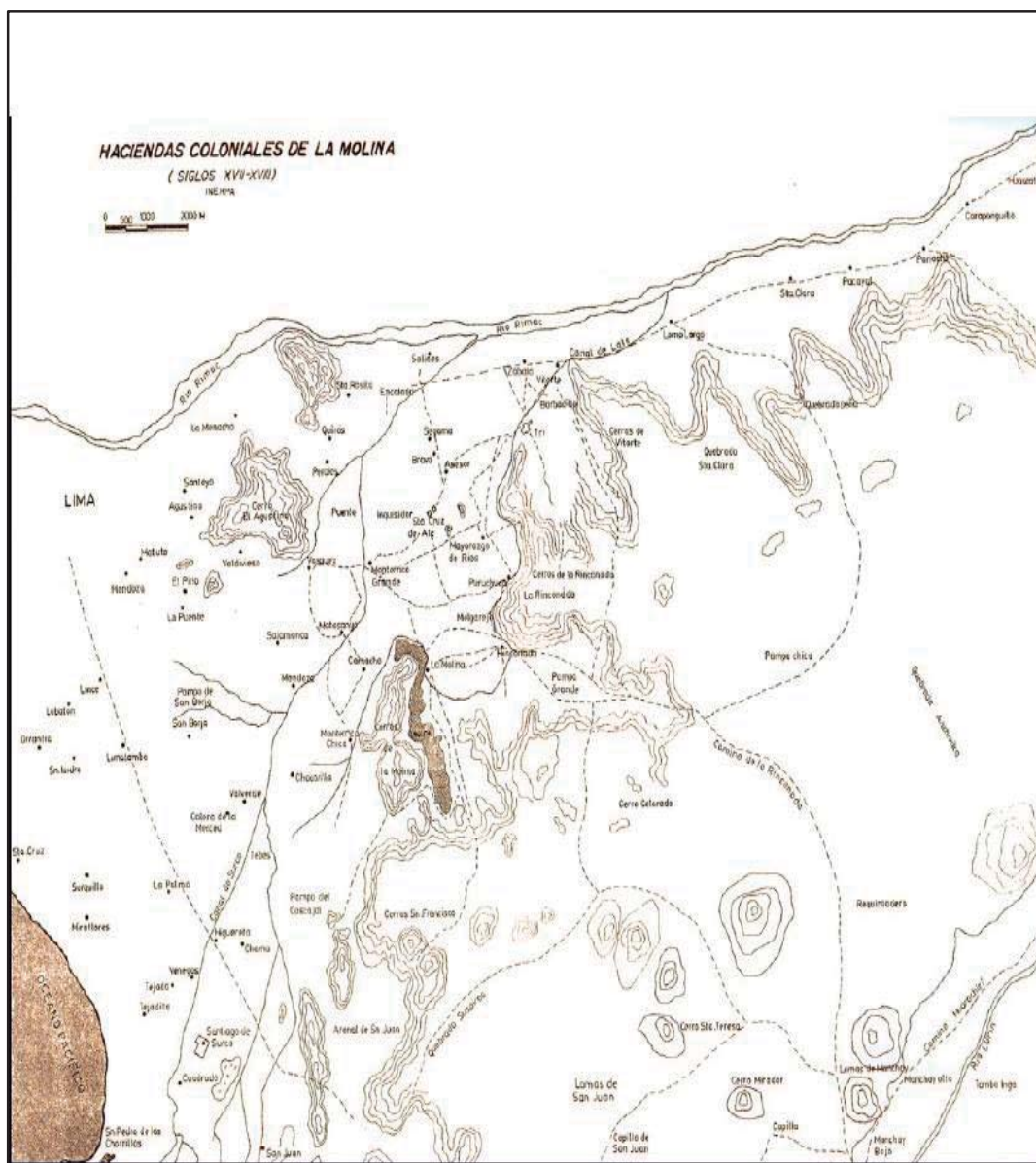
Transiciones más importantes	Área en m2	% del campus
Vegetación Cultivada a Estructura Vegetativa	151921	0.18880664
Suelo Descubierta a Estructura Humana	99783	0.1240098
Suelo Descubierta a Vegetación Cultivada	97255	0.12086802
Suelo Descubierta a Estructura Vegetativa	78216	0.09720645
Estructura Vegetativa a Vegetación Cultivada	76117	0.09459782
Vegetación Cultivada a Suelo Descubierta	68175	0.08472754
Vegetación Cultivada a Estructura Humana	66545	0.08270179

Anexo 19. Número de ingresantes por año de la UNALM. Tomado de Arnao (2014)





Anexo 20. Mapa de red de canales para regadío usada en las haciendas coloniales.  
Tomado de Arnao (2014).



Anexo 21. Línea de tiempo de la historia de la universidad.

