



Dinámica de cambios de usos de suelo mediante agentes inteligentes y cadenas de Markov en el distrito de Huancayo

Dynamic of land use change through smart agent and Markov chains in Huancayo district

Saúl Arauco Esquivel¹, Héctor Huamán Samaniego¹, Gabriel Soriano Córdova²

E-mail: searauco@uncp.edu.pe / hhuaman@uncp.edu.pe / 2013200531b@uncp.edu.pe

Cómo citar

Arauco Esquivel, S.; Huamán Samaniego, H. & Soriano Córdova, G. (2020). *Dinámica de cambios de usos de suelo mediante agentes inteligentes y cadenas de Markov en el distrito de Huancayo*. *Prospectiva Universitaria, Revista de la UNCP*. 17(1), 149-158. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2020.17.1387>

Resumen

El cambio de usos del suelo en la ciudad de Huancayo se ha incrementado de manera descontrolada, debido a la migración de población rural a la ciudad, generando la formación de anillos concéntricos y desplazamiento del suelo agrícola para el desarrollo de otras actividades. El análisis del impacto de los cambios de uso de suelo en la zona rural – urbana de la ciudad de Huancayo se produce en la zona periurbana. Este trabajo de investigación se justifica porque ayuda a comprender el comportamiento del crecimiento urbano de la ciudad, mediante el uso de los agentes inteligentes y las cadenas de Markov.

El trabajo tiene como objetivo determinar la influencia de los cambios de usos de suelo en la distribución de las actividades sociales, económicas y comerciales en el distrito de Huancayo. El método de investigación es el Corine Land Cover, a partir de la teoría del crecimiento urbano se determina el cambio dinámico de uso de suelo. El cambio de uso de suelo de las vías aumenta en un 37 %, así mismo, se evidencia que el cambio de uso de suelo para el crecimiento urbano alcanzará un 19 % y 16 % de disminución del suelo agrícola.

Palabras clave: dinámica de cambios, usos de suelo, cadenas de Markov, agentes inteligentes, migración, crecimiento urbano

Abstract

The change of land uses in Huancayo city has increased uncontrollably, due to the migration of rural population to the city, generating the formation of concentric rings, and displacement of agricultural soil for the development of other activities. Analysis of the impact of land use changes in the rural – urban area of Huancayo city occurs in the periurban area. This research work is justified because it helps to understand the behavior of urban growth in the city, through the use of smart agents and Markov chains.

The work aims to determine the influence of changes in land uses on the distribution of social, economic and commercial activities in Huancayo district. The research method is the Corine Land Cover in which the dynamic change in land use is determined from the urban growth theory. The change in land use of tracks increases by 37 %, and it is also shown that the change in land use for urban growth will reach 19 % and 16 % decrease in agricultural land.

Keywords: dynamics of changes, land uses, Markov chains, intelligent agents, migration, urban growth.

¹Docente de la Facultad de Ingeniería de Sistemas- UNCP / ²Investigador externo

Introducción

En la ciudad de Huancayo, en los últimos 30 años, se ha venido incrementando de manera abrupta el crecimiento demográfico urbano, esto ha afectado el cambio de usos del suelo para las diversas actividades económicas, comerciales y sociales. A través de la investigación, se busca determinar el cambio dinámico de los usos de suelo y ver cómo este influye en el desarrollo de las actividades económicas, comerciales y sociales.

El objetivo de este trabajo es la determinación de la influencia de la dinámica de cambio de uso de suelo en las actividades sociales, económicas y comerciales en el distrito de Huancayo, para ello se utilizó como herramienta de análisis el uso de los agentes inteligentes y las cadenas de Markov, para el análisis en el tiempo.

Según Díaz (2015), quien evalúa los cambios de usos de suelo basado en un modelo dinámico con el uso de autómatas celulares, tomando como casos de estudio la ciudad de Madrid; según el autor, las ciudades modernas tienen un crecimiento emergente producto de la interacción de la multitud de elementos que interviene en ella, esto obedece a una auto organización. Sin embargo, se piensa que el crecimiento obedece a características políticas, una planificación adecuada, la intervención de los gobiernos locales y hasta el gobierno central, esto diverge con la realidad que enfrentan las ciudades. Muchos de los modelos que se proponen obedecen a teorías económicas econométricas que no siempre se adaptan a un contexto de crecimiento urbano.

El crecimiento urbano, no siempre es el adecuado para una distribución espacial; según Damían (2017), las ciudades que están en crecimiento obedecen a tendencias, económicas, comerciales, turísticas, etc., este crecimiento es producto de la intervención del ser humano, como consecuencia de la desigualdad social en la población generando espacio físico que no siempre están de acuerdo con el desarrollo sostenible urbano, afectando de manera directa con el cambio de usos de suelo. En el caso de la ciudad de Huancayo, el gobierno local y los gobiernos distritales no ha tenido una visión de crecimiento urbano sostenido, orientado al crecimiento vertical para mitigar el crecimiento horizontal.

El estudio comprende el área urbana de la ciudad de Huancayo, en donde los usos del suelo son: Residencial, comercial, industrial, agrícola, equipamiento existente y las áreas de reserva para las vías urbanas.

Según Arana (2018), el crecimiento urbano del país es de manera desordenada y acelerada, donde los cambios de usos del suelo se han ido incrementando de manera significativa, en especial en la ciudad de Huancayo, para su análisis utiliza el método el modelo Corine Land Cover, adoptado por el Perú en el año 2015 por el Ministerio del Ambiente (MINAM); según los resultados, se observa que se ha generado en áreas artificializadas, es decir, se ha generado un tejido urbano discontinuo y disperso, produciéndose pérdidas en las áreas húmedas y superficies de agua.

Los cambios de uso de suelo han dado lugar a las actividades económicas, sociales y comerciales que viene desarrollándose en la ciudad de Huancayo.

La ciudad de Huancayo es considerada como metrópoli por las actividades económicas, comerciales y sociales que se dan de manera intensa, producto de ello ha afectado a las áreas agrícolas como consecuencia del crecimiento demográfico, la economía de mercado y el problema de la migración. Según Haller (2017), este crecimiento está impactando en el área agrícola, disminuyendo la superficie de agua en la ciudad. Si se continúa con esta tendencia a futuro, la ciudad carecerá de agua y áreas verdes para la convivencia de las personas, ello debe capturar la atención del lector.

Los agentes inteligentes son importantes para la determinación de los usos del suelo de una ciudad, por su capacidad para poder interactuar y desarrollar actividades de pronóstico para determinar tendencias de crecimiento.

Las cadenas de Markov, se utilizan para generar escenarios prospectivos, a través de ellos se ha podido determinar los cambios de usos de suelo y de las superficies, esta herramienta es útil para el análisis de la evolución espacial del paisaje que viene afectando el desarrollo urbano. Las cadenas de Markov, utilizan matrices de transición para realizar los pronósticos en el tiempo de los usos del suelo de la ciudad de Huancayo, desde el año 1995 al 2035.

Materiales y métodos

Se utiliza las imágenes del satélite Landsat 7, descargando las imágenes de los años 1995 al 2015, la resolución de las imágenes utilizadas es de 30 metros espacial. El procesamiento de las imágenes se realizó utilizando el software de Dinámica EGO; a partir de ello, se delimitado los límites del estudio. Así mismo, se han determinado los mapas temáticos para los años 1995, 2000, 2005, 2010 y 2015. Los datos de los usos de los suelos se muestran a continuación.

Tabla 1*Usos del suelo de la ciudad de Huancayo*

ACMH: área ocupada por diversos usos urbanos			
Nº	Uso	Área (ha)	%
1	Predominio residencial	2005.15	22.91
2	Predominio comercial	254.39	2.91
3	Industrial	12.89	0.15
4	Agrícola – Forestal	4078.24	46.6
5	Equipamientos existentes	455.25	5.2
5.1	Educativo	176.5	2.02
5.2	Salud	18.6	0.21
5.3	Recreación	106.62	1.22
5.4	Comerciales	15.52	0.18
5.5	Administrativos	15.64	0.18
5.6	Culturales	12.41	0.14
5.7	Seguridad	1.04	0.01
5.8	Transporte	18.12	0.21
5.9	Usos especiales	90.8	1.04
6	Área reservada para equipamiento	348.15	3.98
6.1	Educativo	30.95	0.35
6.2	Salud	6.37	0.07
6.3	Recreación	121.42	1.39
6.4	Comerciales	37.34	0.43
6.5	Administrativos	0.15	0
6.6	Culturales	3.14	0.04
6.7	Seguridad	0.01	0
6.8	Transporte	17.67	0.2
6.9	Usos especiales	131.1	1.5
7	Vías urbanas	1597.77	18.26
Total		8751.84	100

Fuente: MPH, 2015

Luego de conocer los usos de suelo hasta el año 2015, el mayor porcentaje de crecimiento fue desde el año 1995 al 2015, especialmente, en el área urbana y las vías de comunicación, producto de ello el área agrícola se ha visto disminuido. Luego de este análisis se utilizó las cadenas de Markov en base a metodología descrita por Prieto, et al. (2015), y la simulación se ha realizado usando los agentes inteligentes y las cadenas de Markov, utilizando diversos softwares como: Dinámico Ego y el Idrisi Selva para la construcción de los mapas temáticos y Python, este último es donde se ha programado los agentes. En el análisis realizado se ha simulado desde el año 1995 al 2035.

En el modelo para determinar la sensibilidad, se ha utilizado criterios que no han cambiado por más de dos décadas, esto son: la elevación, la pendiente y la distancia de las vías urbanas a los centros más poblados. La validación del modelo, ha podido comparar los resultados obtenidos de los cambios de usos de

suelo con los mapas de zonificación de la Municipalidad Provincial de Huancayo. La simulación está comprendida entre los años 1995 y 2035.

En la investigación, de acuerdo con los objetivos que es la determinación de la influencia de los cambios dinámicos de usos de suelo en las actividades: económico, social y comercial, el diseño para este estudio es correccional, según Hernández (2015), se busca la relación o grado de acercamiento que existe entre variables; por otro lado, el carácter de la investigación es longitudinal. Ver Figura 1.

Figura 1

Diseño de investigación propuesto, esta investigación corresponde a una investigación no experimental de corte longitudinal y el diseño de paneles para el muestreo de la ciudad por sectores.



El diseño de la investigación longitudinal tiene como variables:

- **Variable independiente:** Dinámica de cambios de uso de suelo.
- **Variable dependiente:** influencia en las actividades económicas, comerciales y sociales.

Figura 2

Diseño de la investigación de corte longitudinal, en él se ha recopilado información desde el año 1995 al 2035.



La población para el estudio consideró la ciudad de Huancayo, por ser la metrópoli con una población mayor a 500 mil habitantes. También se ha considerado los distritos de Huancayo, El Tambo y Chilca quienes son los que tienen mayor población.

La muestra para este análisis son los tres distritos con mayor población y la unidad de análisis es el distrito de Huancayo, porque se tiene mayor dinámica en los cambios de usos de suelos. La muestra es del tipo no probabilístico, por la elección de los elementos no dependen de la probabilidad.

El instrumento para la recolección de datos de los mapas satelitales de la ciudad de Huancayo es con la metodología Land Corine Cover, la misma que ha sido validado por el MINAM (2014) en procesamiento de los datos de las imágenes satelitales fue con el software Dinámica EGO.

Resultados

Los cambios de usos del suelo en las dos últimas décadas han sido de manera abrupta, como consecuencia se ha producido pérdidas de la superficie agrícola, así como, en la superficie de agua.

Los usos de suelo de la ciudad de Huancayo hasta el año 2015 están indicadas en la Tabla 2, expresado en sus siete dimensiones, haciendo un total de 8751.84 Ha.

Tabla 2

Distribución de los usos de suelo

Nº	Uso	Área (ha)	%
1	Predominio residencial	2005.15	22.9
2	Predominio comercial	254.39	2.9
3	Industrial	12.89	0.1
4	Agrícola - Forestal	4078.24	46.6
5	Equipamiento existente	455.25	46.6
6	Área reservada para equipamiento	348.15	4.0
7	Vías urbanas	1597.77	18.3
Total		8751.84	100

Fuente: MPH, 2015

Para los cambios de uso de suelo en la modelación, se ha utilizado en índice Kappa = 0.82 que considera los criterios de elevación, distancia, entre otros.

La matriz de transición para el cambio de usos de suelo para el año 1995. Ver Tabla 3.

Tabla 3

Matriz de transición de la cadena Markov – 1995

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Suma
P1: 1 Predominio residencial	0.2291	0.0100	0.2000	0.2000	0.2000	0.0200	0.1409	1.000
P2: 2 Predominio	0.0291	0.0300	0.4000	0.3000	0.1000	0.0200	0.1209	1.000
P3: 3 Industrial	0.0015	0.0010	0.3000	0.4000	0.2500	0.0010	0.0465	1.000
P4: 4 Agrícola – Forestal	0.4660	0.2000	0.0000	0.2000	0.0000	0.0000	0.1340	1.000
P5: 5 Equipamiento existentes	0.0520	0.0100	0.2000	0.3000	0.2000	0.1200	0.1180	1.000
P6: 6 Área reservada para equipamiento	0.0398	0.4000	0.3000	0.0000	0.2000	0.0100	0.0500	1.000
P7: 7 Vías urbanas	0.1826	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.8174	1.0000

Estado inicial para la distribución de usos de suelo, se muestra en la Tabla 04.

Tabla 4

Estado inicial de la distribución de uso de suelo.

Estado inicial							
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Suma
0.2291	0.0100	0.2000	0.2000	0.2000	0.0200	0.1409	1.000

El uso del suelo en el año 1995, indica que la zona residencial (P1), es más significativa en comparación con las demás dimensiones o áreas, seguido de las áreas agrícolas, equipamiento.

La matriz de transición para el cambio de usos de suelo para el año 2000, se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Matriz de transición de la cadena Markov – 2000

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Suma
P1: 1 Predominio residencial	0.2291	0.0100	0.2000	0.2000	0.2000	0.0200	0.1409	1.000
P2: 2 Predominio	0.0291	0.0300	0.4000	0.3000	0.1000	0.0200	0.1209	1.000
P3: 3 Industrial	0.0015	0.0010	0.3000	0.4000	0.2500	0.0010	0.0465	1.000
P4: 4 Agrícola – Forestal	0.4660	0.2000	0.0000	0.2000	0.0000	0.0000	0.1340	1.000
P5: 5 Equipamiento existentes	0.0520	0.0100	0.2000	0.3000	0.2000	0.1200	0.1180	1.000
P6: 6 Área reservada para equipamiento	0.0398	0.4000	0.3000	0.0000	0.2000	0.0100	0.0500	1.000
P7: 7 Vías urbanas	0.1826	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.8174	1.0000

El estado final de uso de suelo para el año 2000, se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6

Estado final de la distribución de uso de suelo

Estado final 2000							
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Suma
0.1832	0.0528	0.1558	0.2288	0.1408	0.0292	0.2094	1.000

En el año 2000, el uso de suelo en la parte residencial ha disminuido, mientras que el uso de las vías de comunicación esta incrementado (P7).

La matriz de transición para el cambio de los usos de suelo para el año 2005, se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7

Matriz de transición de la cadena Markov – 2005

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Suma
P1: 1 Predominio residencial	0.1832	0.0528	0.1558	0.2288	0.1408	0.0292	0.2094	1.000
P2: 2 Predominio	0.1760	0.0706	0.1638	0.2648	0.1328	0.0138	0.1782	1.000

3	P3: Industrial	0.2087	0.0832	0.1410	0.2756	0.1256	0.0304	0.1355	1.000
4	P4: Agrícola – Forestal	0.2302	0.0507	0.1732	0.1932	0.1132	0.0133	0.2262	1.000
5	P5: Equipamien- to existentes	0.1890	0.1110	0.1504	0.2134	0.1254	0.0266	0.1841	1.000
6	P6: Área reservada para equipa- miento	0.0411	0.0187	0.3010	0.3080	0.1650	0.0332	0.1329	1.000
7	P7: Vías urbanas	0.1911	0.0018	0.0365	0.0365	0.0365	0.0037	0.6939	1.0000

El estado final del uso de suelo para el año 2005, se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

Estado final de la distribución de uso de suelo

Estado final 2005								
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Suma	
0.1971	0.0624	0.1414	0.2028	0.1149	0.0221	0.2593	1.000	

Los estados de usos de suelo en la parte residencial se siguen manteniendo una tendencia a disminuir, mientras que las vías están en aumento.

La matriz de transición para los cambios de usos de suelo para el año 2010, se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9

Matriz de transición de la cadena Markov – 2010

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Suma
1 P1: Predominio residencial	0.1959	0.0545	0.1364	0.1897	0.1084	0.0193	0.2957	1.000
2 P2: Predominio	0.1995	0.0567	0.1386	0.1944	0.1101	0.0193	0.2814	1.000
3 P3: Industrial	0.1966	0.0574	0.1467	0.2030	0.1151	0.0200	0.2611	1.000
4 P4: Agrícola – Forestal	0.1969	0.0532	0.1313	0.1877	0.1074	0.0195	0.3040	1.000
5 P5: Equipamien- to existentes	0.1947	0.0559	0.1394	0.1970	0.1113	0.0194	0.2824	1.000
6 P6: Área reservada para equipa- miento	0.2025	0.0633	0.1449	0.2071	0.1119	0.0207	0.2494	1.000
7 P7: Vías urbanas	0.1910	0.0205	0.0735	0.0956	0.0664	0.0108	0.5423	1.0000

El estado final de uso de suelo para el año 2010, se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10

Estado final de la distribución de uso de suelo

Estado final 2010								
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Suma	
0.1959	0.0545	0.1364	0.1897	0.1084	0.0193	0.2957	1.000	

El uso del suelo en el año 2010, se puede observar que la zona residencial se mantiene, mientras que la zona del parte industrial ha tenido un ligero aumento.

La matriz de transición para los cambios de usos de suelo para el año 2015, se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11

Matriz de transición de la cadena Markov – 2015

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Suma
1 P1: Predominio residencial	0.1949	0.0450	0.1189	0.1647	0.0972	0.0170	0.3623	1.000
2 P2: Predominio	0.1950	0.0455	0.1198	0.1661	0.0978	0.0171	0.3587	1.000
3 P3: Industrial	0.1951	0.0462	0.1211	0.1681	0.0987	0.0173	0.3534	1.000
4 P4: Agrícola – Forestal	0.1949	0.0447	0.1183	0.1638	0.0968	0.0169	0.3646	1.000
5 P5: Equipamien- to existentes	0.1950	0.0455	0.1197	0.1660	0.0978	0.0171	0.3589	1.000
6 P6: Área reservada para equipa- miento	0.1952	0.0466	0.1218	0.1692	0.0992	0.0174	0.3505	1.000
7 P7: Vías urbanas	0.1934	0.0364	0.1029	0.1402	0.0863	0.0148	0.4260	1.0000

El estado final de uso de suelo para el año 2015, se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12

Estado final de la distribución de uso de suelo

Estado final 2015								
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Suma	
0.1955	0.0505	0.1294	0.1806	0.1043	0.0183	0.3214	1.000	

El estado final del uso del suelo en el año 2015, se puede observar que la zona residencial se mantiene, mientras que la zona industrial tiene un ligero aumento; de igual manera, el área de uso de las vías sigue en aumentado.

La matriz de transición para los cambios de uso de usos de suelo para el año 2020, se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13

Matriz de transición de la cadena Markov – 2020

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Suma
1 P1: Predominio residencial	0.1944	0.0421	0.1134	0.1563	0.0935	0.0162	0.3840	1.000
2 P2: Predominio	0.1944	0.0421	0.1135	0.1564	0.0935	0.0162	0.3838	1.000
3 P3: Industrial	0.1944	0.0422	0.1136	0.1566	0.0936	0.0163	0.3834	1.000
4 P4: Agrícola – Forestal	0.1944	0.0421	0.1134	0.1563	0.0934	0.0162	0.3841	1.000
5 P5: Equipamien- to existentes	0.1944	0.0421	0.1135	0.1564	0.0935	0.0162	0.3838	1.000
6 P6: Área reservada para equipa- miento	0.1944	0.0422	0.1136	0.1566	0.0936	0.0163	0.3831	1.000
7 P7: Vías urbanas	0.1943	0.0415	0.1124	0.1547	0.0927	0.0161	0.3882	1.0000

El estado final de uso de suelo para el año 2020, se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14

Estado final de la distribución de uso de suelo

Estado inicial								
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Suma	
0.1954	0.0481	0.1245	0.1734	0.1010	0.0177	0.3398	1.000	

El estado final del uso del suelo para el año 2020, en él se observa que la zona residencial se mantiene constante, mientras que las vías urbanas continúan en aumento del uso del suelo.

La matriz de transición para los cambios de usos de suelo para el año 2025, se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15

Matriz de transición de la cadena Markov – 2025

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Suma
1	P1: Predominio residencial	0.1944	0.0419	0.1130	0.1557	0.0932	0.0162	0.3855	1.000
2	P2: Predominio	0.1944	0.0419	0.1130	0.1557	0.0932	0.0162	0.3855	1.000
3	P3: Industrial	0.1944	0.0419	0.1130	0.1557	0.0932	0.0162	0.3855	1.000
4	P4: Agrícola – Forestal	0.1944	0.0419	0.1130	0.1557	0.0932	0.0162	0.3855	1.000
5	P5: Equipamiento existentes	0.1944	0.0419	0.1130	0.1557	0.0932	0.0162	0.3855	1.000
6	P6: Área reservada para equipamiento	0.1943	0.0419	0.1130	0.1557	0.0932	0.0162	0.3854	1.000
7	P7: Vías urbanas	0.1944	0.0419	0.1130	0.1557	0.0932	0.0162	0.3855	1.0000

El estado final de uso de suelo para el año 2025, se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16

Estado final de la distribución de uso de suelo

Estado inicial								
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Suma	
0.1952	0.0463	0.1212	0.1683	0.0988	0.0173	0.3530	1.000	

Para el año 2025, se observa que la zona residencial se mantiene, mientras que el uso del suelo de las vías continúa en aumento.

La matriz de transición para el cambio de usos de suelo para el año 2030, se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17

Matriz de transición de la cadena Markov – 2030

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Suma
1	P1: Predominio residencial	0.1943	0.0419	0.1130	0.1557	0.0932	0.0162	0.3855	1.000
2	P2: Predominio	0.1943	0.0419	0.1130	0.1557	0.0932	0.0162	0.3855	1.000

3	P3: Industrial	0.1943	0.0419	0.1130	0.1557	0.0932	0.0162	0.3855	1.000
4	P4: Agrícola – Forestal	0.1943	0.0419	0.1130	0.1557	0.0932	0.0162	0.3855	1.000
5	P5: Equipamiento existentes	0.1943	0.0419	0.1130	0.1557	0.0932	0.0162	0.3855	1.000
6	P6: Área reservada para equipamiento	0.1943	0.0419	0.1130	0.1557	0.0932	0.0162	0.3854	1.000
7	P7: Vías urbanas	0.1943	0.0419	0.1130	0.1557	0.0932	0.0162	0.3855	1.0000

El estado final de uso de suelo para el año 2030, se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18

Estado final de la distribución de uso de suelo-2030

Estado inicial								
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Suma	
0.1949	0.0450	0.1189	0.1647	0.0972	0.0170	0.3623	1.000	

Para el año 2030 el estado final del uso indica que la zona residencial se mantiene, mientras que las vías siguen en aumento.

La matriz de transición para los cambios de usos de suelo para el año 2035, se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19

Matriz de transición de la cadena Markov – 2035

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Suma
1	P1: Predominio residencial	0.1943	0.0419	0.1130	0.1557	0.0932	0.0162	0.3854	1.000
2	P2: Predominio	0.1943	0.0419	0.1130	0.1557	0.0932	0.0162	0.3854	1.000
3	P3: Industrial	0.1943	0.0419	0.1130	0.1557	0.0932	0.0162	0.3854	1.000
4	P4: Agrícola – Forestal	0.1943	0.0419	0.1130	0.1557	0.0932	0.0162	0.3854	1.000
5	P5: Equipamiento existentes	0.1943	0.0419	0.1130	0.1557	0.0932	0.0162	0.3854	1.000
6	P6: Área reservada para equipamiento	0.1943	0.0418	0.1130	0.1557	0.0931	0.0162	0.3853	0.999
7	P7: Vías urbanas	0.1943	0.0419	0.1130	0.1557	0.0932	0.0162	0.3854	1.0000

El estado final de uso de suelo para el año 2035, se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20

Estado final de la distribución de uso de suelo-2035

Estado inicial								
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Suma	
0.1948	0.0441	0.1172	0.1621	0.0960	0.0167	0.3690	1.000	

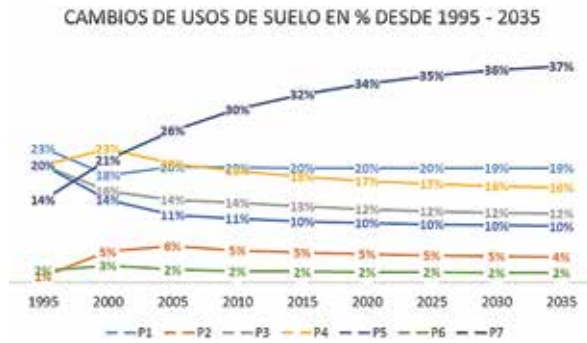
En la Tabla 20, se observa que los usos de suelo, con lo que respecta a las vías, se han incrementado

de manera significativa, mientras que el predominio residencial ha disminuido.

En la Figura 03, se muestra la evolución de los cambios de usos de suelo desde el año 1995 al 2035 y cuáles han sido los más significativos, considerando las siete dimensiones de análisis que se tiene propuesto.

Figura 3

Evolución de los cambios de usos de suelo 1995 – 2035

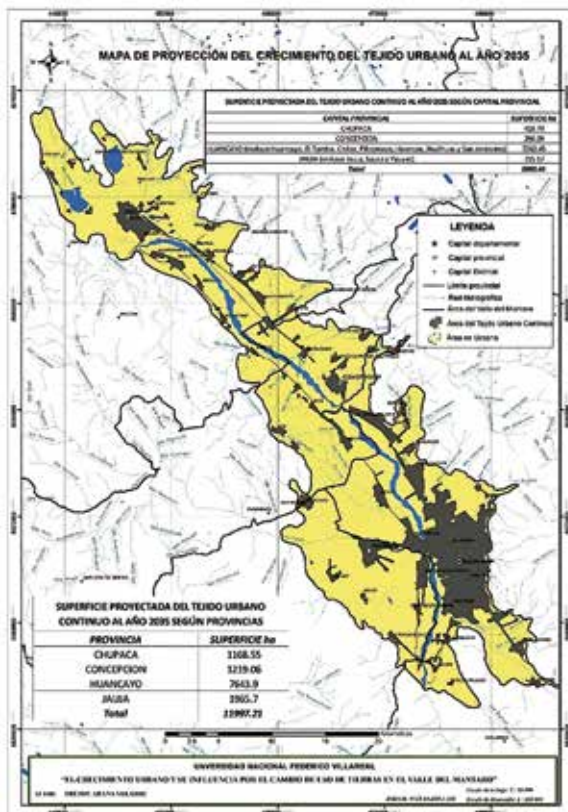


En él se puede apreciar que el mayor crecimiento se ha producido son en las vías hasta un 37 % estimado para el año 2035, seguido del crecimiento urbano que alcanza un 19 % de uso. El suelo agrícola se observa que disminuirá hasta un 16 % hasta el año 2035.

Los resultados en el mapa del cambio de usos de suelo para las diversas actividades para el año 2035 se muestran en el siguiente mapa. Ver Figura 4.

Figura 4

Mapa de cambio de usos de suelo



Los resultados del pronóstico con la cadena de Markov y las imágenes encontradas por Arana (2018), coinciden en ambos casos, nos demuestran que los cambios de usos de suelo en la ciudad de Huancayo se están dando de manera significativa y que estos están afectando a las actividades: comerciales, económica y sociales.

Discusión

Según los resultados obtenidos de la investigación, demuestra que existe concordancia con los resultados obtenidos por Arana (2018), donde los cambios de usos de suelo a afectado a la disminución de la superficie agrícola y la superficie de agua esto se puede ver en el incremento de las vías de comunicación, así como el uso en la parte residencial.

Por otro lado, Heller (2017) publica el impacto del crecimiento urbano en el cambio de uso de suelo, donde el crecimiento se produce en los dos ejes, de norte a sur y de este a oeste, creándose polos de desarrollo, uno de los medios para este desarrollo son el incremento de las vías de comunicación; por lo tanto, el estudio coincide en este aspecto al afirma del aumento de vías de comunicación y como consecuencia el aumento las áreas residenciales, comerciales y espacios para actividades sociales, que ayudan a generar polos de desarrollo y la atracción para la migración del campo a la ciudad. Ese modelo, tiene como alcance el análisis del distrito de Huancayo por ser considerada como una ciudad metropolitana.

Los cambios de usos de suelo han impactado en las actividades económicas, sociales y comerciales debido a la migración, donde la economía de mercado que atrae a la población con menos recursos.

Conclusiones

- La metodología de Markov, en esta investigación, mostró ser muy útil para el análisis de los cambios dinámicos de uso de suelo en la ciudad de Huancayo, esta ha permitido generar escenarios prospectivos desde del año 1995 al 2035. Se ha podido evidenciar que los cambios de usos de suelo, según el modelo, influyen en las actividades comerciales, económicas y sociales.
- En la dimensión comercial, se puede apreciar que tiene un crecimiento desde el 1 % hasta el 6 % y, partir de ahí, se mantiene constante.
- En la dimensión económica, debido a los cambios de usos de suelo, han generado un aumento de actividades económicas, esto se puede apreciar con la migración del campo hacia la ciudad y el aumento de las áreas residenciales en las zonas periurbana de la ciudad de Huancayo, este crecimiento para el año 2035 sería de un 16 %.

- En la dimensión social, indica que se va a producir polos de desarrollo debido a los cambios de usos de suelo apareciendo el incremento de las áreas de equipamiento para salud, educación y esparcimiento, para el año 2035 estaría representando un 35 %.
- Por lo tanto, el crecimiento en el uso del suelo es 37 % estimado para el año 2035, seguido del crecimiento urbano que alcanza un 19 % de uso para el año 2035. El suelo agrícola, se observa que disminuirá hasta un 16 % hasta el año 2035.
- El uso del modelo de las cadenas de Markov, utilizada como herramienta de pronóstico para generar escenario futuro, es muy útil; este mismo análisis, puede aplicarse a otros contextos que necesiten simular, como por ejemplo el crecimiento habitacional y determinación de los polos de desarrollo.

Referencias bibliográficas

- Aguilar Benavente, F.; Soria Lara, J. & Valenzuela Montes, L. (2014). *Explorando el crecimiento en la aglomeración urbana de Granada: Un modelo basado en Autómatas Celulares*. Obtenido de Explorando el crecimiento en la aglomeración urbana de Granada: Un modelo basado en Autómatas Celulares: http://www.age-geografia.es/tig/docs/XII_1/001%20-%20Aguilera%20Benavente%20et%20al.pdf
- Aguilera Benavente, F.; Plata Rocha, W.; Bosque Sendra, J. & Gómez Delgado, M. (2009). *Diseño de simulación de escenarios de demanda de suelo urbano en ámbitos metropolitanos*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/39061131.pdf>
- Aguilera Benavente, F. (2006). *Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos en autómatas celulares*. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica, 32.
- Aguilera Benavente, F. (2006). *Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos en autómatas celulares*. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (6), 81-112. Recuperado el 10 de febrero de 2018
- Aguilera Benavente, F. & Gómez Delgado, M. (2014). *Simulación de modelos de crecimiento urbano: Método de comparación con mapas reales*. Tecnología de la Información Geográfica, 1000 - 1013. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/228948435>
- Álvarez - Plau, E.; Barquin, R.; Macias, O.; Marti-Henneberg, J.; Morillas, M.; Ortúñez, P. P. & Solanas, J. (2015). *El factor ferroviario en el crecimiento urbano. España, 1850 - 1960*. VII Congreso de Historia ferroviaria, (pág. 29). Madrid. Obtenido de http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/74591/1/170620_FinalArticulo.pdf
- Arana Velarde, F. (2018). *Repositorio de la UNFV*. Obtenido de Tesis: <http://www.UNFV.edu.pe/repositorio-de-tesis>
- Arquitectura-UNCP. (2017). *Revista de arquitectura*. Obtenido de Revista de arquitectura: <http://www.uncp.edu.pe/?q=noticia/arquitectura-uncp-presentara-3ra-edicion-de-revista-cientifica-arquitextual>
- Banco Mundial. (2019). *Desarrollo urbano*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview>
- Barrantes Sotela, O.; Sandoval Murillo, L. & Mora Ramírez, J. (2015). *Procesos de crecimiento y renovación urbana para la propuesta para ampliación de los cuadrantes urbanos en Santa Bárbara de Heredia, Costa Rica 2014*. Revista de Geografía de América Latina, 63 - 93.
- Baxendale, C. A. & Buzai, G. D. (2011). *Dinámica de crecimiento urbano y pérdidas de suelos productivos en el Gran Buenos Aires (Argentina) 1869 - 2011*. Análisis espacial basado en Sistemas de Información. Serie Geográfica, 21.
- Buzai, G. D. (2005). *Actualización de cálculos y distribuciones espaciales a través de la cadena de Markov y autómatas celulares: Pérdidas de suelos en el área metropolitana de Buenos Aires 2001*. Jornadas de Ecología del Paisaje, 20.
- Cantergian, C.; Aguilera Benavente, F. & Gómez Delgado, M. (2015). *Instrumentos de simulación prospectiva del crecimiento urbano*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/261296148_Instrumentos_de_simulacion_prospectiva_del_crecimiento_urbano?enrichId=rgreq-112aaf8d4491670f40cb1caf6a6e-57fa-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI2MTI5NjE0ODtBUzoyOTcxOTc0NjQ3Njg-1MTNAMTQ0Nzg2ODgwNTI5Mg%3D%3D&
- Cantergiani, C. & Gómez Delgado, M. (2016). *Diseño de un modelo basado en agentes para simular el crecimiento urbano en el corredor de Henares (Comunidad de Madrid)*. Obtenido de http://www.theadgateway.com/jump/next.php?r=1811251&pub_hash=5c8fb-61d8f409523674866&sub1=1110767427
- Diaz Pacheco, J. (2015). *Ciudades autómatas celulares y sistemas complejos; Evaluación de un modelo dinámico*

- de cambio de usos de suelos urbano de Madrid. Madrid, España. Obtenido de <http://eprints.ucm.es/34202/1/T36651.pdf>
- Díaz Pacheco, J. (20 de marzo de 2015). *Ciudades, Autómatas Celulares y Sistemas Complejos: Evaluación de un modelo dinámico de cambio de usos de suelo urbano de Madrid*. Obtenido de <https://eprints.ucm.es/34202/1/T36651.pdf>
- Espínola Pérez, A. M. (2014). *Clasificación de imágenes de satélite mediante autómatas celulares*. Obtenido de https://w3.ual.es/personal/mois.espinola/datos/documentos/titulos/Diploma_de_Estudios_Avanzados.pdf
- Gómez Delgado, M.; Aguilera Benavente, F.; Barreira Gonzales, P.; Bosque Sendra, J., & Rodríguez Espinosa, V. M. (2014). *Simulación prospectiva del crecimiento urbano en la Comunidad Autónoma de Madrid a partir de Modelos basado en autómatas celulares y modelos basados en EMC*. Congreso de Tecnologías de Información Geográfica, 28 - 37. Obtenido de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/46397>
- Gonzales León, M. O. & Rojas Villalobos, H. L. (2013). *Predicción del crecimiento urbano de Ciudad de Cuauhtémoc Chihuahua 201, usando autómatas celulares*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 21.
- Granados Flores, A. S. (2019). *La expansión urbana como centro de tensión entre la normativa liberadora y la planificación urbana en Perú (1995 - 2019)*. Ciudades, Estados y Políticas, 37 - 55.
- Guido Gorostiaga, M. (2017). *Autómatas celulares y su aplicación*. Obtenido de *Autómatas celulares y su aplicación*.
- Haller, A. (2017). *Los impactos del crecimiento urbano en los campesinos Andinos. Un Estudio de Percepción en la Zona Rural - Urbano de Huancayo, Perú*. Obtenido de <https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.201701.002>
- Heller, A. (2011). *Dinámicas periurbanas: reflexiones sobre la urbanización de la periferia huancaína*. Obtenido de <http://journals.continental.edu.pe/index.php/apuntes/article/view/26>
- Huerta Nava, G. L. (2015). *Necesidad de Movilidad Urbana Derivadas del Desarrollo Habitacional y la Fragmentación Urbana en el Municipio de Metepec, Estado de México*. Obtenido de <file:///C:/Users/PC/Downloads/UNIVERSIDAD%20AUT%2093NOMA%20DEL%20ESTADO%20DE%20M%20C3%89XICO%20FACULTAD%20DE%20PLANEACI%20C3%93N%20URBANA%20Y%20REGIONAL.pdf>
- Linares, S., & Picone, N. (2018). *Modelización de la expansión urbana y su impacto en el paisaje natural mediante sistemas de información geográfica y autómatas celulares caso de estudio: Tandil, Argentina*. Revista de estudios ambientales, 1-21.
- López Ramírez, P. (2008). *Modelos Geo -Espaciales del Medio Urbano: Caso de la Contaminación Ambiental*. Obtenido de <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/35/1/14-2008-Tesis-L%20C3%B3pez%20Ram%20C3%ADrez%20C%20Pablo-Maestro%20en%20Geom%20C3%A1tica.pdf>
- Marcos Delgado, A. (2010). *Análisis de los Factores de Determinantes del Crecimiento Expansivo del Área Metropolitana de Monterrey 2000 - 2008*. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/2184/1/1080191601.pdf>
- Medina, V. d. (2017). *Crecimiento urbano y desigualdad espacial en San Carlos de Bariloche*. Bitacora 27, 101 - 1008.
- MINAM. (2014). *Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la tierra de la comunidad Andina*. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/18/2013/10/Informe-final-de-Proyecto-Dinamica-de-los-Cambios-de-la-Tierra-CAN.pdf>
- MPH. (2015). *Diagnostico Urbano - Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad Huancayo 2015 - 2025*. Obtenido de *Diagnostico Urbano - Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad Huancayo 2015 - 2025*: http://200.37.252.83/documentos/2015/gerencia_subgerencia/desarrollo_urbano/plan/DiagnosticoPDU.pdf
- Munar Suarez, O. E., & Piñeros Hernández, J. F. (2016). *Propuesta de diseño de sistemas complejos basada en autómatas celulares difusos no uniformes y algoritmos evolutivos*. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3407/1/Pi%20C3%B1erosHern%20C3%A1ndezJohnFredy2016.pdf>
- Munar Suarez, O., & Piñeros Hernández, J. (20 de enero de 2016). *Propuesta de diseño de sistema complejo basada en autómatas celulares difusos no uniformes y algoritmos evolutivos*. Obtenido de *Propuesta de diseño de sistema complejo basada en autómatas celulares difusos no uniformes y algoritmos evolutivos*: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3407/1/Pi%20C3%B1erosHern%20C3%A1ndezJohnFredy2016.pdf>
- Municipalidad Distrital de Huancayo. (2015). *Plan de Desarrollo Urbano 2015 - 2021*. Obtenido de https://www.munihuancayo.gob.pe/documentos/2015/gerencia_subgerencia/desarrollo_urbano/plan/DiagnosticoPDU.pdf

- Municipalidad Provincial de Huancayo. (2011). *Plan de Desarrollo Urbano*. Obtenido de http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_Juin/huancayo/huancayo_PDU.pdf
- Municipalidad Provincial de Huancayo. (2006). *Plan de Desarrollo Urbano 2006 - 2011*. Obtenido de http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_Juin/huancayo/huancayo_PDU.pdf
- Natasha Picone, S. L. (2018). *Modelización de la expansión urbana y su impacto en el paisaje natural mediante sistemas de información geográfica y autómatas celulares*. Obtenido de Modelización de la expansión urbana y su impacto en el paisaje natural mediante Sistemas de Información Geográfica y Autómatas Celulares: <http://www.fch.unicen.edu.ar/ojs-3.1.0/index.php/estudios-ambientales/article/view/45>
- Norte Pinto, N. E. (2015). *Multi-Scale integrated cellular modelling for the study of urban change phenomena*. Barcelona, Madrid, España.
- ONU. (2018). *Departamento de Asuntos Económicos y Sociales*. Obtenido de <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>
- PDU Municipalidad Provincial de Huancayo, M. (2011). *Plan de Desarrollo Urbano 2006 - 2011*. Obtenido de http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_Juin/huancayo/huancayo_PDU.pdf
- Pérez López, A. (2012). *Autómatas celulares*. Colombia.
- Pinos Arévalo, N. (16 de julio de 2016). *Prospectiva del uso del suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial - Caso cantón Cuenta*. Obtenido de Prospektiva del uso del suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial - Caso cantón Cuenta: <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/estoa/article/view/1019>
- Plan de Seguridad Ciudadana - MPH, M. (2018). *Plan de Seguridad Ciudadana del distrito de la provincia de Huancayo 2018*. Obtenido de http://200.37.252.83/documentos/2018/co-disec/plan_actualizado.pdf
- Pontius Jr, R. G.; Boersma, W.; Castella, J. C.; Clarke, K., de Nijs, T., Dietzel, C.; Verburg, P. et al. (2008). *Comparing input, output, and validation maps for several models of land change*. Springer - Verlag, 11-37. Recuperado el 20 de marzo de 2018, de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00168-007-0138-2>
- Prieto Amparan, J. A.; Pinedo Álvarez, A.; Morales Chávez, M.; Pinedo Álvarez, C. & Villarreal Guerrero, F. (2015). *Dinámica de crecimiento de la ciudad de Chichahua utilizando percepción remota y autómatas celulares - Markov*. Obtenido de Dinámica de crecimiento de la ciudad de Chichahua utilizando percepción remota y autómatas celulares - Markov: <https://docplayer.es/89814990-Dinamica-de-crecimiento-de-la-ciudad-de-chichahua-utilizando-percepcion-remota-y-automas-celulares-markov.html>
- Reyna Garcia, A.; Reyna Bowen, J. & Vincés Solorzano, C. (2017). *Escenarios de crecimiento urbano 2017 - 2022 de la ciudad de Portoviejo, Ecuador, a partir de autómatas celulares*. Manabí, Ecuador.
- Rojas Villalobos, H. L. (2013). *Predicción y modelación del crecimiento urbano de Chihuahua del año 2010, mediante autómatas celulares (SLEUTH)*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 1 - 21. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/265381429>
- Santiago Linares & Piccone, N. (2018). *Modelización de la expansión urbana y su impacto en el paisaje natural mediante sistemas de información geográfica y autómatas celulares. Caso de estudio: Tandil, Argentina*. Obtenido de https://www.academia.edu/14803959/Expansi%C3%B3n_urbana_mediante_tecnolog%C3%ADas_de_la_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica_y_modelos_emergentes_aplicaci%C3%B3n_a_la_ciudad_Tandil_Buenos_Aires_Argentina
- Soto Cortés, J. J. (2015). *El crecimiento urbano de las ciudades: enfoque desarrollista, autoritario, neoliberal y sustentable*. Paradigma económico (1), pp 127 - 149.
- Toro Jaramillo, I. D. (2010). *Fundamentos epistemológicos de la investigación y la metodología de la investigación cualitativo/cuantitativa*. Medellín - Colombia: Colección Académica.
- Trejos Serrato, J.; Sousa Júnior, M. & Pardi la Cruz, M. S. (2011). *Comparación de un modelo markoviano y de regresión para predicción de cambios en el uso y cobertura del suelo en la zona central del Departamento del Meta - Colombia*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/266606092_Comparacion_del_modelo_markoviano_y_de_regresion_para_prediccion_de_cambios_en_el_uso_y_cobertura_del_suelo_en_la_zona_central_del_Departamento_del_Meta-Colombia?enrichId=rgreq-b51dc65cc884d6d2e5390efaa6c