

ANÁLISIS Y PROSPECTIVA DEL CAMBIO DE COBERTURA Y USO DEL SUELO EN LA CIUDAD DE MACHALA

ANALYSIS AND PROSPECTIVE OF THE CHANGE OF COVERAGE AND SOIL USE IN THE CITY OF MACHALA

Castillo Figueroa José Eduardo¹E-mail: jcastillo6@utmachala.edu.ecORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7178-2490>Ramos Hidalgo Joselyn Ariana¹E-mail: jramos3@utmachala.edu.ecORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4408-1928>Maza Maza Jaime Enrique¹E-mail: jemaza@utmachala.edu.ecORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4845-5165>¹Universidad Técnica de Machala. Ecuador

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Castillo Figueroa J. E., R., Ramos Hidalgo J. A., Maza Maza J. E. (2022). Análisis y prospectiva del cambio de cobertura y uso del suelo en la Ciudad de Machala. *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(3), 219-227. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>

RESUMEN

Desde la década de 1990, la dinámica de cambio de uso del suelo en Machala producto de la acelerada expansión urbana ha provocado modificaciones en su cobertura vegetal; la construcción de escenarios prospectivos permiten conocer los cambios que se han venido suscitando en el tiempo, prediciendo el futuro a partir de la situación actual. Esta investigación tiene como enfoque generar un modelo prospectivo del territorio urbano de la ciudad de Machala para el año 2040, a través de la probabilidad de cambio de coberturas y uso del suelo de los años 1991-2019, mediante el modelo de simulación autómatas celulares de cadenas de Markov. Durante el periodo de análisis (1991-2019) se perdieron 1587.35 ha de tierras agrícolas, mientras que las zonas urbanizadas aumentaron 1616.53 ha. En el segundo periodo (2019-2040), la extensión urbana obtuvo una ganancia de 636.17 ha, las áreas agrícolas perdieron 633.53 ha de territorio, se visualizaron nuevas condiciones, donde la tendencia de cambio de uso del suelo se mantiene, las zonas urbanizadas aumentan y las agroproductivas disminuyen. El territorio Machaleño requiere de la toma de medidas oportunas por parte de la autoridad competente, que permitan conservar los suelos productivos ante el constante crecimiento de las zonas urbanizadas.

Palabras clave:

Cambios de uso de suelo, Machala, mapa prospectivo, uso agrícola, usos antrópicos.

ABSTRACT

Since the 1990s, the dynamics of land use changed in Machala as a result of accelerated urban expansion that caused changes in its vegetation cover. The construction of prospective scenarios allow us to know the changes that have been taking place over time, predicting the future based on the current situation. The focus of this research is to generate a prospective model of the urban territory of the city of Machala for the year 2040, through the probability of change of coverage and land use from 1991-2019, through the cellular automata simulation model of Markov chains. During the analysis period (1991-2019) 1587.35 ha of agricultural soils were lost, while urbanized areas increased 1616.53 ha. In the second period (2019-2040), the urban extension obtained a gain of 636.17 ha, the agricultural areas lost 633.53 ha of territory, new conditions were visualized, where the trend of land use change is maintained, the urbanized areas derived and the agro-productive ones decrease. The Machaleño territory requires the taking of appropriate measures by the competent authority, which conserves productive soils in the face of the constant growth of urbanized areas.

Keywords:

Land use changes, Machala, prospective map, agricultural use, anthropic uses.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano en las últimas décadas ha producido cambios en los usos que se le está dando a los suelos para la construcción de casas, edificios, apertura de carreteras, etc.; este crecimiento se da a nivel mundial y se caracteriza por ser acelerado y difícilmente controlado. En Ecuador, Quito y Guayaquil son las ciudades donde la mancha urbana es más evidente (Salazar et al., 2021).

El cambio de uso del suelo en la zona urbana del cantón Machala, provincia de El Oro, ha provocado la disminución de las áreas agrícolas por el crecimiento horizontal urbanístico, estas se distribuían desde los sectores: La Primavera, Los Ceibales, Km 15, Guarumal hacia el este de la ciudad abarcando el 44,72% de la superficie productiva, sin embargo, para el año 2018 este porcentaje disminuyó al 41,77% que es equivalente a 15.570 ha, Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del GAD de Machala (PDOT, 2018).

La migración interna ha contribuido con los procesos de crecimiento urbanísticos creando parroquias en la periferia urbana, estos cambios alteran las características biofísicas de la superficie terrestre, además de ocasionar consecuencias alarmantes como: la intensificación del calentamiento global, la degradación del suelo, transformaciones de la diversidad biológica y reducción de los servicios o recursos ecosistémicos (Homer et al., 2020).

Es importante conocer los cambios que se han venido suscitando en el territorio a través del tiempo, para poder construir escenarios prospectivos que ayuden a predecir el futuro partiendo de la situación actual, en relación a la pérdida de áreas productivas y planificación del territorio.

El problema que ocasionan los asentamientos humanos se debe a que el 90% de las construcciones se expanden de manera horizontal y solo el 9,99% de viviendas en el cantón tiene una construcción vertical en casas o edificios. Hemos planteado la hipótesis de que para el año 2040 estas zonas urbanizadas seguirán presionando los sistemas productivos, lo que se evidenciará con la pérdida de tierras.

El objetivo de la investigación tiene como enfoque generar un modelo prospectivo del territorio urbano de la ciudad de Machala para el año 2040, a través de la probabilidad de cambio de coberturas y uso del suelo de los años 1991 - 2019, información que servirá para un correcto ordenamiento territorial y desarrollo sostenible de la ciudad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio, El cantón Machala pertenece a la Provincia de El Oro, se encuentra entre las coordenadas 3°15'18"S 79°57'19"W, posee una extensión territorial de 37275.23 ha, sus límites son: al Norte con el cantón El Guabo, Sur con el cantón Santa Rosa, Este con el cantón Pasaje, Oeste con el Archipiélago de Jambelí y el Océano Pacífico. La cabecera cantonal tiene una extensión de 6726.22 ha, cuenta con siete parroquias urbanas

(Machala, Jambelí, La Providencia, El Cambio, Nueve de Mayo, Puerto Bolívar, Jubones) y la parroquia rural El Retiro, (Figura 1).

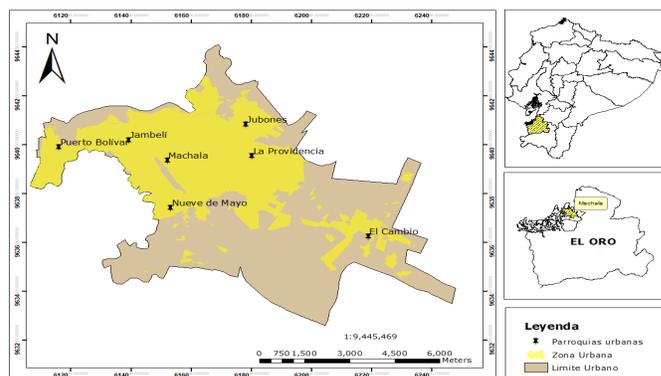


Figura 1. Localización del área de estudio

El tipo de suelo predominante en el cantón es el Entisol, su textura es media (limo-arcilloso), sus terrenos son de baja pendiente, llegando a 5%. La temperatura anual que presenta el cantón se encuentra alrededor de los 24 - 26 °C, con una precipitación media de 102 mm y multianual de 621,8 mm; estas condiciones son favorables para que las actividades productivas se desarrollen correctamente.

Es la quinta ciudad más poblada del Ecuador con 286.120 habitantes, de los cuales el 94% se encuentran asentados en el área urbana, ocupando el 17,95% del territorio cantonal. De acuerdo al primer censo en 1990, Machala ha tenido un crecimiento demográfico constante hasta las proyecciones del 2020 con una tasa de crecimiento poblacional de 2,78% entre 1990 - 2001 y de 1,1% entre 2010 - 2020 (PDOT, 2018).

Recopilación de información cartográfica. Del Catálogo de Datos del IGM referente al Mapa de Conflictos de Uso de las Tierras y Urbano de la ciudad de Machala, escala 1:5000, año 2018, adicionalmente se descargaron imágenes satelitales del Servicio Geológico de Estados Unidos USGS Earth Explorer por sus siglas en inglés (United States Geological Survey) correspondientes a los sensores Landsat 5 (TM) y 8 (OLI-TIRS) de los años 1991 y 2019, los datos que proporciona Landsat se han utilizado en investigaciones de detección de cambios en la cobertura y uso de la Tierra.

Para estimar e identificar los cambios en el uso del suelo a través del tiempo, se elaboraron dos mapas cartográficos de cobertura y uso del suelo en la zona de estudio, mediante la interpretación y clasificación de dos imágenes de satélite Landsat tomadas en junio de 1991 y en abril del 2019. Para que las imágenes satelitales cuenten con las características adecuadas se realizó un procesamiento previo a la elaboración de la clasificación supervisada y la prospección, para Alawamy et al. (2020) seguir este proceso es importante para reducir errores en la obtención de datos cartográficos del área de estudio.

Para los análisis, las imágenes fueron procesadas digitalmente en el software de IDRISI Selva 17.0 mediante la composición de bandas BGR 2,3,4 y 3,4,5 para Landsat 5 y 8 respectivamente. La composición resultante es denominada "Falso color", donde la vegetación (tierra agrícola) se mostró en tonos rojizos, el agua se tornó color negro, las áreas urbanas presentaron tonalidades celestes y los bosques y manglares de color rojo intenso. En la figura 2, a) corresponde a la imagen satelital Landsat 5 capturada en junio de 1991; b) imagen satelital Landsat 8, capturada el 26 de abril del 2019, siendo esta la imagen con menor presencia de nubes (color blanco) para el estudio. Adicionalmente, se empleó un proceso de clasificación supervisada y de acuerdo a la categoría de uso fueron reclasificados como: Urbano, Agrícola, Camaronero y Bosque (Figura 2).

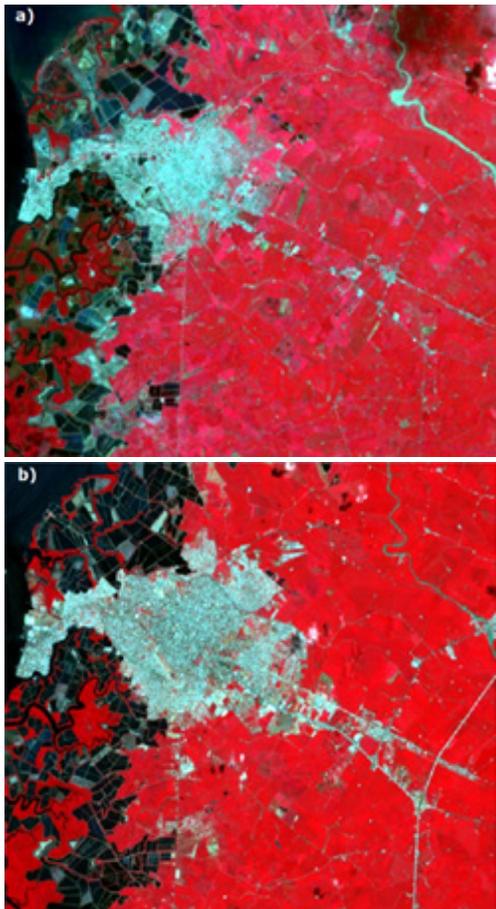


Figura 2. Composición de imágenes satelitales; a) Landsat 5 y b) Landsat 8

Para realizar el análisis multitemporal se empleó el modelo de simulación autómatas celulares de cadenas de Markov CA_MARKOV de IDRISI Selva 17.0, en base al análisis histórico o multitemporal

en el uso del suelo de la ciudad de Machala empleado en la investigación de Guo et al., (2020); esta herramienta toma dos imágenes con lapsos de tiempo distintos y genera una simulación del estado de los suelos en un futuro, su utilidad se centra en la planificación urbana y gestión de los suelos.

Los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta eficaz en la evaluación de los cambios de cobertura del suelo durante un determinado período de tiempo, que permiten planificar y gestionar los recursos naturales y urbanos. En base a esto se compararon los mapas de uso de suelo de los períodos 1991- 2019 y 2019 - 2040 mediante una superposición cartográfica en Spatial Analyst de ArcGis 10.5; posteriormente se generó una matriz de tabulación cruzada donde se asignaron códigos a las categorías de usos del suelo, las filas representan las categorías del primer año (t1) y las columnas el segundo año (t2), las áreas que no han sufrido cambios, es decir, se han mantenido entre t1 y t2 están representadas diagonalmente, mientras que las que están fuera de la diagonal corresponden a las transiciones.

Los valores asignados fueron agregados en los raster como códigos para ser sumados por la herramienta álgebra de mapas de ArcGis y según la intersección de la categoría, el suelo presentó cambios o se mantuvo (Hasan et al., 2020). De esta manera se generaron mapas de cambio para cada período de estudio y se determinaron las superficies en hectáreas y porcentajes que presentaron alguna alteración o se mantuvieron. Finalmente se obtuvo una matriz de las Pérdidas/Ganancias en hectáreas, se calculó el cambio neto, cambio total y el intercambio de superficies entre las categorías de suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cambios de superficie de cobertura y uso del suelo. Se evidencia mayor cambio de superficie en las coberturas de urbano y agrícola. En el año 1991 el uso de suelo urbano tenía una superficie de 2101.17 ha, que posteriormente pasaron a 3572.63 para el año 2019, correspondiendo a un valor de cambio neto de 1471.47 ha, y una tasa de cambio de superficie del 70%. Para el uso de suelo agrícola fue todo lo contrario, reduciéndose la superficie de 4294.70 ha en el año 1991 a 2803.24 ha para el año 2019, correspondiendo a un cambio neto de -1491.46 ha con una tasa de cambio de -65%. Con respecto a la cobertura de bosque la superficie tuvo un aumento significativo, debido en gran parte a la dominancia del remanente manglar dentro de la zona, con un cambio neto de 48.81 ha y una tasa de cambio del 66%, la cobertura de camaróneras no tuvo mayor significancia en el cambio de la superficie, lo que significó un cambio neto de -30.13 ha con una tasa del -12% (Tabla 1).

Tabla 1. Cambios de superficie de cobertura y uso de suelo para el periodo 1991-2019

N°	Uso/ cobertura	1991		2019		Cambio neto	Tasa de cambio en la superficie
		ha	%	ha	%	ha	%
1	Urbano	2101.17	31.23	3572.63	53.12	1471.47	70
2	Agrícola	4294.70	63.84	2803.24	41.68	-1491.46	-65
3	Camaronero	258.12	3.84	227.99	3.39	-30.13	-12
4	Bosque	73.46	1.09	122.27	1.82	48.81	66
TOTAL		6727.46	100	6727.46	100		

En la figura 3, se evidenció un notable cambio en el uso de la tierra principalmente por la transformación de suelo agrícola a urbano, el territorio machaleño posee suelos francos y fértiles, propiedades ideales para el desarrollo de esta actividad. Las camaroneras fueron reemplazadas por asentamientos humanos en la periferia urbana, mientras que el bosque se encuentra dominado por especies de manglar, su crecimiento se debe a campañas de reforestación que se han realizado, adicionalmente, dentro

del área urbana se observan pequeñas zonas de bosque debido a la construcción de áreas verdes destinadas a la recreación y embellecimiento urbanístico; en los parques de la ciudad se encuentran plantadas especies forestales y herbáceas, sin embargo el más representativo a pesar de que sus especies aún se encuentran en la etapa de crecimiento es el parque Zoila Ugarte, otro sector representativo de bosques se encuentra en la Granja Santa Inés de la Universidad Técnica de Machala.

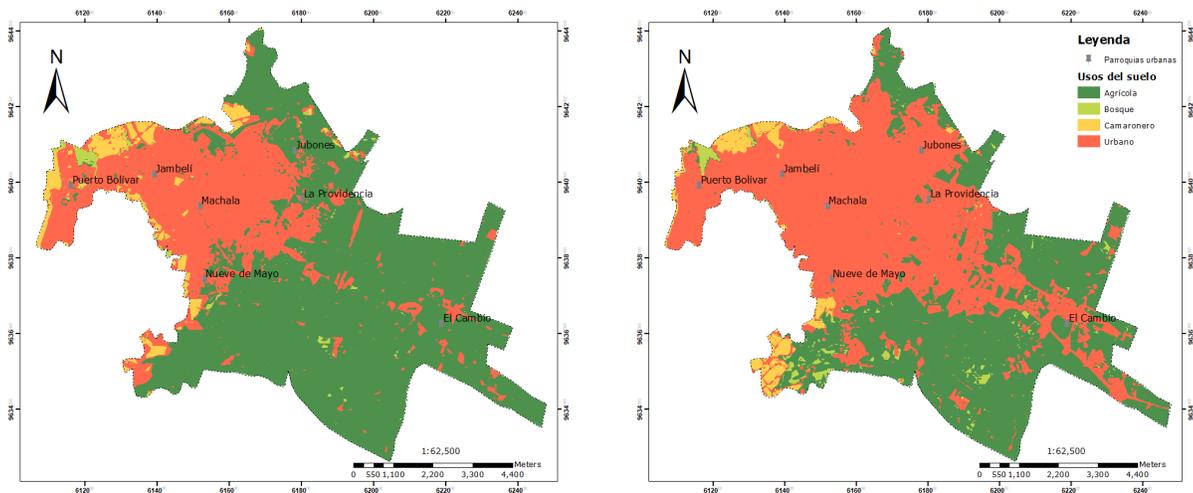


Figura 3. Mapa de la cobertura y uso del suelo del periodo 1991-2019

Análisis de los cambios, Cuando se elabora el análisis territorial de las zonas urbanizadas en una ciudad, se visualiza la transición en la cobertura y uso del suelo por determinados lapsos de tiempo, que han alterado no sólo

la forma de los asentamientos humanos, sino también la cubierta agrícola. En la zona ocurrieron 12 transiciones de ganancias y pérdidas (Tabla 2).

Tabla 2. Matriz de tabulación cruzada de uso del suelo del periodo 1991-2019 en hectareas

1991	2019				Total 1991	Pérdidas
	Urbano	Agrícola	Camaronero	Bosque		
Urbano	1908.89	84.53	82.6	18.31	2094.33	185.44
Agrícola	1487.23	2699.35	28.2	71.92	4286.7	1587.35
Camaronero	129.3	2.88	110.09	6.56	248.83	138.74
Bosque	35.08	18.89	3.17	13.42	70.56	57.14
Total 2019	3560.5	2805.65	224.06	110.21	6700.42	
Ganancias	1616.53	106.3	113.97	96.79		

El cambio más significativo es la transformación de suelo agrícola a urbano con 1487.23 ha, evidenciando una reducción en los suelos destinados a la producción de cultivos, seguido de la transición de suelo camaronero a urbano con 129.30 ha de superficie, mientras que 71.92 ha agrícolas cambiaron a bosque; evidenciando que la ciudad de Machala presenta una dinámica de cambio considerable, principalmente por las ganancias de territorio de suelo urbano; estos datos pueden apreciarse mediante el mapa de cambio de uso del suelo donde el 71% de la superficie no presentó cambios (Persiste), mientras que el 29.4% presentó cambios en el uso de la tierra (Figura 4).

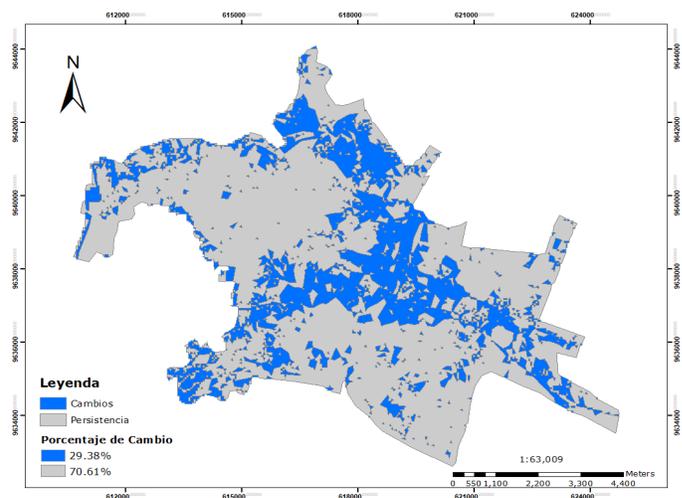


Figura 4. Mapa de cambio de cobertura y uso del suelo del periodo 1991-2019

Los resultados obtenidos con el cambio neto nos dieron un valor aproximado de los cambios ocurridos en la ciudad de Machala, sin embargo, no son suficientes para demostrar la dinámica en la superficie del territorio, en referencia a que no expresan datos de los intercambios ocurridos entre los cuatro usos de suelos, ni el cambio total durante los 28 años de estudio, en el sentido de que se

puede conocer el total de superficie que cambió en cada año, pero no indica si los usos de suelo han presentado transformaciones positivas y negativas en relación con los otros usos. Es por ello que se ha optado por realizar un cálculo de las pérdidas, ganancias y el intercambio de cada cobertura. (Tabla 3)

Tabla 3. Matriz de pérdidas y ganancias periodo 1991-2019

Coberturas de suelo	Cambios de uso del suelo del período 1991-2019 superficie (ha)						
	1991	2019	Cambio neto	Pérdida	Ganancia	Cambio Total	Intercambio
Urbano	2101.17	3572.63	1471.47	185.44	1616.53	1801.97	330.5
Agrícola	4294.7	2803.24	-1491.46	1587.35	106.3	1693.65	202.19
Camaronero	258.12	227.99	-30.13	138.74	113.97	252.71	222.58
Bosque	73.46	122.27	48.81	57.14	96.79	153.93	105.12

Al ser producto de la diferencia entre las categorías de 1991 - 2019, el cambio neto es menor al cambio total en todas las coberturas de suelo, debido a que este último, es calculado de acuerdo a la suma de las pérdidas y ganancias; como se puede observar la categoría que mayor cambio tuvo fue la Urbana, con un cambio total de 1801.97 ha y un intercambio de 330.5 ha, seguida de la agrícola con 1693.65 ha de cambio total y 202.19 ha correspondientes al intercambio, mientras que la categoría camaronero presentó 252.71 ha referentes al cambio total, con un intercambio de 222.58 ha de superficie, finalmente el bosque evidencio un cambio total de 153.93 ha y 105.12 ha de intercambio en usos y coberturas del suelo. En lo que respecta a las pérdidas de superficie del suelo agrícola es el que mayores transformaciones presentó, a diferencia del urbano cuyas ganancias son las más elevadas (Figura 5)

Prospectiva de uso del suelo 2019 - 2040, Para el año 2040, las coberturas del suelo de Machala presentaron 12 transiciones (Tabla 4), los suelos muestran una tendencia al cambio, principalmente por la transformación de suelo agrícola a urbano con 629.16 ha del territorio, mientras que las transiciones de superficie entre las coberturas Bosque, urbano y camaronero, no fueron significativas,

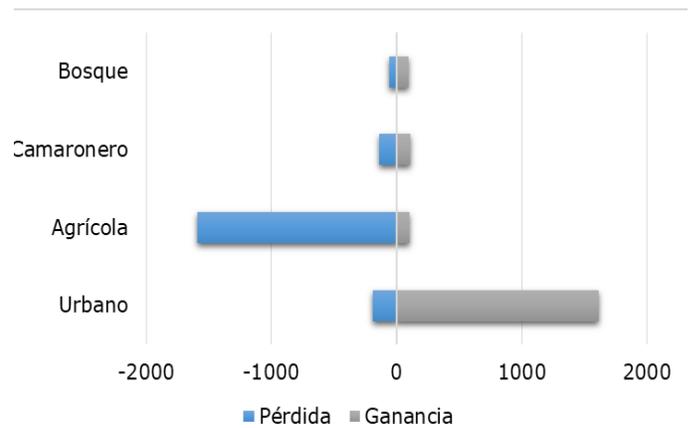


Figura 5. Pérdidas y Ganancias del período 1991-2019

siendo mayor la de suelo Urbano - camaronero con 51.32 ha, seguido de las coberturas Bosque - Agrícola con 19.71 ha; según Brandolini & Carrer (2020, citado en Brandolini et al., 2020) mencionan que *“El cambio de uso del suelo es un proceso dinámico que vincula los sistemas naturales y humanos”*(p. 212)

Tabla 4. Tabulación cruzada de uso del suelo del periodo prospectivo 2019-2040 en hectareas

2019	2040				Total 2019	Pérdidas
	Urbano	Agrícola	Camaronero	Bosque		
Urbano	3509.80	6.61	51.32	2.39	3570.12	60.32
Agrícola	629.16	2164.31	0.34	4.03	2797.84	633.53
Camaronero	3.47	0.01	222.64	0.24	226.36	3.72
Bosque	3.54	19.71	0.57	98.12	121.94	23.82
Total 2040	4145.97	2190.64	274.87	104.78	6716.26	
Ganancias	636.17	26.33	52.23	6.66		

El suelo urbano se mantiene y ocupa 3509.80 ha, en el sector agrícola ha persistido 2164.31 ha mismas que son importantes para el desarrollo económico del cantón por ser la base para la producción agrícola (Qian et al., 2020, p. 1). Se han mantenido 222.64 ha de camaroneras, mientras que los bosques únicamente se han conservado 98.12 ha de superficie.

El crecimiento urbano se encuentra caracterizado por el acelerado incremento de la población, desarrollo de actividades y una estructura que no se encuentra definida, lo que denota como resultado un cambio en la cobertura y uso del suelo (Choy et al., 2020). Como se puede observar (Figura 6), este proceso de expansión es acelerado, debido a la construcción horizontal en la periferia urbana derivada del bajo costo de tierras que son vendidas y ofrecidas en el mercado inmobiliario. Según Buzai, (2018), analizar la prospectiva es importante debido a que capta la dinámica del territorio para establecer escenarios futuros posibles que permitan la toma de acciones correctivas.

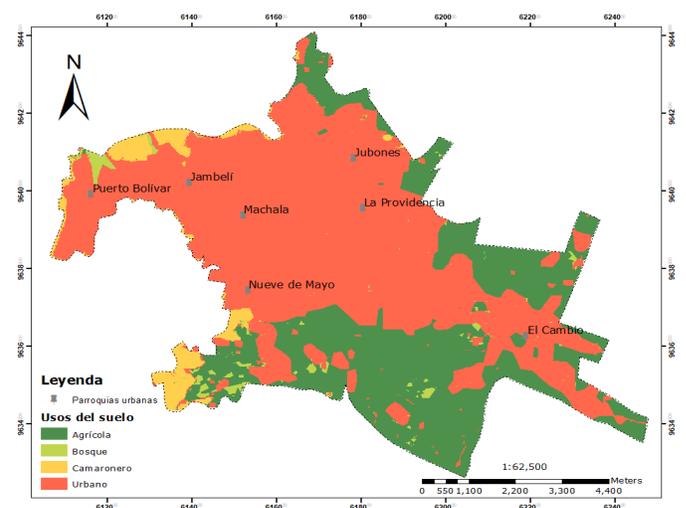


Figura 6. Modelo predictivo al año 2040 del cambio de uso del suelo de la ciudad de Machala

A continuación, se desarrolló una matriz de pérdidas y ganancias referente a la prospección del período 2019-2040, de la superficie en hectáreas de cada cobertura de suelo (Tabla 5) y su respectiva representación gráfica (Figura 7).

Tabla 5. Matriz de pérdidas y ganancias del periodo prospectivo 2019-2040

Coberturas de suelo	Prospección del período 2019-2040 superficie (ha)						
	2019	2040	Cambio neto	Pérdida	Ganancia	Cambio Total	Intercambio
Urbano	3572.63	4148.98	576.35	60.32	636.17	696.49	120.14
Agrícola	2803.24	2193.37	-609.87	633.53	26.33	659.86	49.99
Camaronero	227.99	278.91	50.92	3.72	52.23	55.95	5.03
Bosque	122.27	104.95	-17.32	23.82	6.66	30.48	13.16

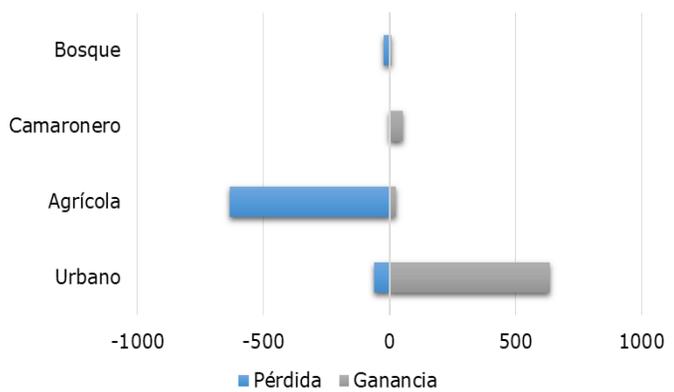


Figura 7. Pérdidas y Ganancias del período prospectivo 2019-2040

Urbano, esta cobertura de suelo presentó una pérdida de 60.32 ha, siendo considerado como un componente de uso neutro, es decir, presenta propiedades útiles para el cambio de uso y cobertura de suelo con la obtención de un valor agregado (Gudiño, 2018). Además alcanzó una ganancia de 636.17 ha, demostrando que el crecimiento urbanístico reduce la cobertura vegetal y agrícola, en consecuencia la absorción de radiación solar en el hormigón y pavimento aumenta, conduciendo a la formación de una isla de calor urbana, finalmente el suelo urbano obtuvo un intercambio total de 120.14 hectáreas en superficie, lo que denota una mayor variabilidad de esta cobertura con otras. **Agrícola**, este uso de suelo obtuvo una pérdida de 633.53 ha, en la actualidad esto representa pérdidas de rentabilidad y rendimiento productivo de las coberturas de suelo agrícola provocando variaciones en los usos que se le da al recurso, lo que da como resultado una reducción o extensión frente a otros tipos de usos que contribuyen a una búsqueda constante de nuevas alternativas productivas (Camacho-Sanabria et al., 2017). Por otro lado, presentó una ganancia de 26.33 ha, el intercambio total obtenido por parte del suelo agrícola fue de 49.99 hectáreas de superficie, lo que demuestra una menor variabilidad de cambio en relación a la cobertura de urbano. Cabe destacar, que la progresiva pérdida de estos suelos por su inadecuado manejo provocará afecciones directas a las garantías de seguridad alimentaria y a su vez, dará como resultado conflictos de uso (Burbano-Orjuela, 2016).

Camaronero, en lo que respecta a este uso de suelo se presentó una pérdida de 3.72 ha, resultado favorable debido a que la pérdida de suelo camaronero es una de las consideraciones y puntos más importantes para la protección de manglares, conociendo las afecciones que permiten plantear alternativas para mitigar cualquier impacto que se desarrolle por el uso de este tipo de suelos, lo que permitirá que las autoridades competentes busquen sancionar los daños generados hacia el ecosistema natural. En cuanto a la ganancia, esta fue de 52.23 ha, demostrando que el crecimiento de los suelos camaroneros ha ocasionado una preocupación constante sobre el cuidado del medio ambiente, esto provocado por la rápida transición del entorno que tiene como efecto el desarrollo de actividades económicas, y producto de esa situación se degrada el medio reemplazando ecosistemas naturales con acciones productivas como la instauración de camaroneras; su intercambio total fue de 5.03 hectáreas, lo que muestra una baja variabilidad de cambio con otras coberturas.

Bosque, esta categoría de uso obtuvo una pérdida de 23.82 ha, hecho que confirma la pérdida de la cobertura arbórea, a la hora de ocasionarse este cambio entre coberturas de uso del suelo. Su ganancia fue de 6.66 ha, demostrando que dentro de la zona de estudio, se identificó una variación de hectáreas en cuanto a la cubierta boscosa durante los períodos que han sido analizados desde el año 2019-2040, incluso en líneas de tiempo anteriores a la presentada. Finalmente el intercambio total presentado por el uso de suelo bosque fue de 13.16 ha en superficie, lo que demuestra una variabilidad baja seguida de la cobertura agrícola. La reducción de la cobertura boscosa en las zonas urbanas, implica la pérdida de servicios ecosistémicos como: capturar carbono, presencia de especies faunísticas, regulación de los recursos hídricos y clima, acciones que contribuyen al mantenimiento de una calidad ambiental alta que mejora el bienestar de la población (Arroyave-Maya et al., 2019). El bosque de manglar, además de brindar protección costera contra la erosión eólica y el oleaje, son almacenes de carbono azul, por lo que ayudan en la regulación del CO₂ atmosférico (Velázquez-Pérez et al., 2019).

El área urbana continúa expandiéndose y gana terreno a la agricultura; el banano y camarón son consideradas las industrias más importantes, debido a que no solo contribuyen en la producción de fuentes de trabajo dentro de sus instalaciones, también aportan en el incremento de inversionistas, compradores (nacionales y extranjeros), hospedaje, construcción y manufactura, situación que los hace fundamentales para el desarrollo económico en la zona. El modelo por cadenas espaciales de Markov aplicado, brindó información visual acerca del incremento de la mancha urbana, misma que se encuentra adherida a las construcciones previamente establecidas, este patrón de crecimiento es el más recurrente en este tipo de análisis (Jiménez, 2019).

Estos procesos de expansión urbana producto del desarrollo de las ciudades generan impactos irreversibles en los suelos donde se desarrolla vegetación natural y la agricultura (Zhang et al., 2020). Debido a este fenómeno demográfico han incrementado las zonas urbanizadas, se han disminuido los territorios dedicados a las actividades agrícolas, además las nuevas distribuciones espaciales ubicadas en los límites de la ciudad, no son rurales, ni consideradas completamente urbanas, más bien representan un paisaje periurbano reciente.

Como consecuencia del desarrollo urbanístico, se presenta una alarmante expansión en cuanto a coberturas del suelo y afecciones al medio ambiente, además de la transformación de zonas ecológicas de gran importancia a tierras de cultivo y los suelos fértiles a zonas urbanizadas.

Los esfuerzos de conservación deberían centrarse en la eficiencia y la administración correcta de los recursos económicos con los que se cuenta (Kok et al., 2020). El crecimiento vertical urbanístico como alternativa de desarrollo y planificación territorial, desde la perspectiva de Sánchez et al., (2016, citado en Sosa et al., 2019) surge por la necesidad de ocupar menor espacio en la superficie del suelo para un desarrollo urbanístico sustentable, al momento de analizar la densificación por medio de agrupaciones de viviendas verticales es importante destacar como característica principal que permite medir y promover los crecimientos habitacionales compactos. Por otro lado, Negrón (1996, citado en Félix, 2015) indica que el crecimiento urbanístico vertical *“podría frenar los problemas de alteración del equilibrio ecológico y de destrucción del medio ambiente, aprovechando al máximo el territorio y recursos existentes en el mismo, controlando el consumo de suelo y evitando la dispersión de la población”* (p.35). Siendo esta una de las estrategias de construcción más respetuosas con el ambiente. Finalmente, estas estrategias de ordenamiento territorial están pensadas para áreas donde el crecimiento poblacional se encuentra en expansión y se quiere evitar impactos negativos sobre suelos con alto valor ambiental, buscando establecer una relación ‘suficiente’ entre la base de recursos y la población.

CONCLUSIÓN

Los cambios de uso del suelo ocurridos en la ciudad de Machala durante los períodos de 1991 - 2019, están asociados a la pérdida de 1587.35 hectáreas de cobertura Agrícola, y ganancias de 1616.53 hectáreas de la cobertura urbana, este cambio permitió conocer el constante crecimiento de las zonas urbanas y la presión que ejerce principalmente a las zonas agrícolas donde se observaron las mayores pérdidas de superficie. Con el análisis del modelo prospectivo del año 2040, se presentó una disminución del suelo agrícola por la constante tendencia al cambio de la cobertura urbana en el territorio, confirmando que las zonas urbanizadas continuarán presionando a los sistemas agroproductivos, lo que puede evidenciarse con la pérdida de tierras que son transformadas a zonas urbanas consolidadas. Es necesario aplicar un ordenamiento urbano-ambiental, para dar solución a los problemas de uso del suelo generados en el área de estudio y enfocarse en alternativas de desarrollo urbanístico sustentable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alawamy, J. S., Balasundram, S. K., Mohd. Hanif, A. H., & Boon Sung, C. T. (2020). Detecting and Analyzing Land Use and Land Cover Changes in the Region of Al-Jabal Al-Akhdar, Libya Using Time-Series Landsat Data from 1985 to 2017. *Sustainability: Science Practice and Policy*, 12(11), 1–24. <https://doi.org/10.3390/su12114490>
- Arroyave-Maya, M., Posada-Posada, M., Nowak, D., & Hoehn, R. (2019). Remoción de contaminantes atmosféricos por el bosque urbano en el valle de Aburrá. *Colombia Forestal*, 22(1), 5–16. <https://doi.org/10.14483/2256201X.13695>
- Brandolini, F., Reynard, E., & Pelfini, M. (2020). Multi-temporal mapping of the Upper Rhone Valley (Valais, Switzerland): fluvial landscape changes at the end of the Little Ice Age (18th–19th centuries). *Journal of Maps*, 16(2), 212–221. <https://doi.org/10.1080/17445647.2020.1724837>
- Buzai, G. D. (2018). Crecimiento urbano y potenciales conflictos entre usos del suelo en el municipio de Luján (Provincia de Buenos Aires, Argentina). Modelado espacial 2016-2030. In *Cuadernos Geográficos* (Vol. 57, Issue 1). <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i1.5656>
- Burbano-Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117–124. <https://doi.org/10.22267/rcia.163302.58>
- Camacho-Sanabria, R., Camacho-Sanabria, J. M., Balderas-Plata, M. Á., & Sánchez-López, M. (2017). Cambios de cobertura y uso de suelo: estudio de caso en Progreso Hidalgo, Estado de México. *Madera y Bosques*, 23(3), 39–60. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331516>

- Choy, L. K., Jaafar, M., Halime, L. A. R., Asnawi, N. H., & Rose, R. A. C. (2020). Analysis of land use and land cover change of Sidon City, Lebanon. *Malaysian Journal of Society and Space*, 16(3), 108–120. <https://www.scopus-com.basesdedatos.utmachala.edu.ec/record/display.uri?eid=2-s2.0-85071887657&origin=result-slist&sort=plf-f&src=s&sid=09a850bcc8e66867a1a-56f2a4ae9cd8&sot=b&sdt=b&sl=80&s=TI-TLE-ABS-KEY%28Analysis+of+land+use+and+land+cover+change+of+Sidon+City%2c+Lebanon%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=>
- Félix, P. A. (2015). “Impactos del crecimiento vertical en la expansión de la zona conurbada de Querétaro” [Universidad Autónoma de Nuevo León]. <https://core.ac.uk/download/pdf/76602099.pdf>
- Gudiño, M. E. (2018). Regulación del mercado para conservar suelo agrícola. Interfaz urbano-rural, zona metropolitana de Mendoza, 50(2), 155–172. <https://www.scopus-com.basesdedatos.utmachala.edu.ec/record/display.uri?eid=2-s2.0-85057155273&origin=result-slist&sort=plf-f&src=s&sid=2df2cb2fba5e-f9edaf6cd29a9d715ef4&sot=b&sdt=b&sl=133&s=TI-TLE-ABS-KEY%28Regulaci%3%b3n+del+mercado+para+conservar+suelo+agr%3%adcola.+Interfaz+urbano-rural%2c+zona+metropolitana+de+Mendoza%2c+Argentina.%29&relpos=0&citeCnt=3&searchTerm=>
- Guo, A., Zhang, Y., & Hao, Q. (2020). Monitoring and Simulation of Dynamic Spatiotemporal Land Use/Cover Changes. *Complexity*, 2020, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2020/3547323>
- Hasan, S., Shi, W., Zhu, X., Abbas, S., & Khan, H. U. A. (2020). Future Simulation of Land Use Changes in Rapidly Urbanizing South China Based on Land Change Modeler and Remote Sensing Data. *Sustainability: Science Practice and Policy*, 12(11), 1–24. <https://doi.org/10.3390/su12114350>
- Homer, C., Dewitz, J., Jin, S., Xian, G., Costello, C., Danielson, P., Gass, L., Funk, M., Wickham, J., Stehman, S., Auch, R., & Riitters, K. (2020). Conterminous United States land cover change patterns 2001–2016 from the 2016 National Land Cover Database. In *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (Vol. 162, pp. 184–199). <https://doi.org/10.1016/j.isprs-jprs.2020.02.019>
- Jiménez, E. L. (2019). Cadenas de Markov espaciales para simular el crecimiento del Área Metropolitana de Toluca, 2017-2031. *Economía, Sociedad Y Territorio*. <https://doi.org/10.22136/est20191324>
- Kok, A., Oostvogels, V. J., de Olde, E. M., & Ripoll-Bosch, R. (2020). Balancing biodiversity and agriculture: Conservation scenarios for the Dutch dairy sector. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 302, 107103. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107103>
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Machala. (2018). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Machala Actualización 2018*. https://www.machala.gob.ec/PDF/Planes/PDOT_2018.pdf
- Qian, F., Chi, Y., Lal, R., & Lorenz, K. (2020). Spatio-temporal characteristics of cultivated land fragmentation in different landform areas with a case study in Northeast China. *Ecosystem Health and Sustainability*, 6(1), 1–11. <https://doi.org/10.1080/20964129.2020.1800415>
- Salazar, E., Henríquez, C., Durán, G., Qüense, J., & Puente-Sotomayor, F. (2021). How to define a new Metropolitan Area? The case of Quito, Ecuador, and contributions for urban planning. *Land*, 10(4), 413. <https://doi.org/10.3390/land10040413>
- Sosa, M. R., Flores, E. S., & Moreno, y. G. G. (2019). Vivienda vertical social vertical social housing en la frontera norte on the northern border de México: criterios of Mexico: criteria para una densificación for sustainable sustentable1 densification. s), *inforavit Eco*, 2, 000. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-83582019000100167>
- Velázquez-Pérez, C., Tovilla-Hernández, C., Romero-Berney, E. I., & De Jesús-Navarrete, A. (2019). Estructura del manglar y su influencia en el almacén de carbono en la Reserva La Encrucijada, Chiapas, México. *Madera y Bosques*, 25(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531885>
- Zhang, Y., Hu, Y., & Zhuang, D. (2020). A highly integrated, expansible, and comprehensive analytical framework for urban ecological land: A case study in Guangzhou, China. *Journal of Cleaner Production*, 268, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122360>