

Estudio del estado del sellado del suelo. Impacto y posibles mejoras.

Adaptación del Urban Atlas al área de La Vega Lagunera a escala 1:5000.

Trabajo realizado por Daniel Hernández Cordobés

Daniel Hernández Cordobés

Trabajo de fin de Grado

Grado en Geografía y Ordenación del Territorio.

Estudio del estado del sellado del suelo. Impacto y posibles mejoras.

Adaptación del Urban Atlas al área de La Vega Lagunera a escala
1:5000.

Trabajo de fin de Grado tutorizado por:
José Ramón Vera Galván.

Septiembre, 2020

“Voy a recoger plantas y fósiles, y realizar observaciones astronómicas con el mejor de los instrumentos. Sin embargo, este no es el propósito principal de mi viaje. Trataré de averiguar cómo las fuerzas de la naturaleza actúan unas sobre otras, y de qué manera el entorno geográfico ejerce su influencia sobre los animales y las plantas. En resumen, debo aprender acerca de la armonía en la naturaleza.”

Alexander Von Humboldt, geógrafo alemán.

Berlín, 1769 - 1859

Resumen

La zona de La Vega Lagunera, localizada en el término municipal de San Cristóbal de La Laguna, es considerada una zona verde, rústica, de suelo agrario y poco urbanizada. Este trabajo se centrará en estudiar los efectos del fenómeno del sellado en la esta zona en particular, determinando si las construcciones que se han acometido se han erigido con respeto al ecosistema y con buenas prácticas en la planificación territorial sostenible.

Desde el año 2002, la preocupación por las consecuencias irreversibles de la pérdida del terreno y sus funciones debido al sellado o a la mala planificación territorial ha venido en aumento. Debido a ello, se han redactado distintos documentos en los ámbitos europeos, nacionales y locales, que buscan la armonía medioambiental y la perfecta coexistencia de las actividades humanas sin pérdida en la calidad de vida.

Palabras claves: sellado, suelo, desarrollo sostenible, planificación territorial, permeabilidad, medioambiente, SIOSE, Urban Atlas.

Summary

La Vega Lagunera, located in the municipality of San Cristóbal de La Laguna, is considered a green, rural, of agricultural soil and slightly urbanized land. This project will study the effects of soil-sealing phenomena in this particular area, establishing whether or not artificial constructions harness the nearby ecosystem or if they are built according to good practices of sustainable land-use planning.

Since 2002, concern about the irreversible consequences of land loss and its functionalities due to soil-sealing or poor territorial planning has grown. Because of that, multiple documents on European, national and local scopes have been elaborated, looking forward to obtaining a perfect environmental harmony and human activities coexistence without loss of life standards.

Key words: soil-sealing, soil, sustainable development, territorial planning, imperviousness, environment, SIOSE, Urban Atlas.

Contenido

Lista de figuras, tablas y gráficos.....	11
Tablas:.....	11
Figuras:.....	11
Gráficos:.....	12
Lista de abreviaturas y símbolos.....	13
Glosario.....	15
1. Planteamiento e introducción.....	17
2. Problema.....	19
2.1 Antecedentes: revisión del estado del suelo.....	20
2.1.1. Estrategias de acción para las buenas prácticas en el uso del suelo.....	20
2.1.1.1. Estrategia europea:.....	20
2.1.1.2. Estrategia nacional:.....	21
2.1.1.3. Estrategia local:.....	22
2.1.2 Estadísticas del estado actual del uso del suelo.....	23
3. Objetivos e hipótesis.....	27
3.1 Objetivos:.....	27
3.2 Hipótesis:.....	27
4. Material.....	29
5. Método.....	33
5.1 Problemas detectados.....	36
6. Resultados.....	37
6.1 Porcentaje de sellado del suelo:.....	37
6.1.1 Adaptación del SIOSE a la hoja 074TF09A:.....	37
6.1.2 Combinación HRL y UA.....	38
6.2 Cobertura y usos del suelo: adaptación del UA a escala 1:5000.....	40
6.3 Espacios permeables e impermeables: combinación HRL y UA.....	41
6.4 Espacio cubierto por vegetación: ortofotos 210_09A1, 210_09A2.....	43
6.5 Elevación del terreno.....	43
6.6 Precipitaciones en la vertiente este de la isla de Tenerife.....	44
7. Discusión.....	45
7.1 Posibles mejoras en el uso del suelo:.....	47

8. Conclusiones	49
Referencias consultadas.....	51
ANEXO.....	55
Código Python para la obtención de datos meteorológicos:	56

Lista de figuras, tablas y gráficos.

Tablas:

Tabla 1. Comparativa de tamaños de superficie	23
Tabla 2. Clasificación del sellado.	33
Tabla 3. Precipitación anual media en la vertiente norte de la isla de Tenerife.....	44

Figuras:

Figura 1. Localización del área de estudio. En el recuadro interior, Islas Canarias. Recuadro exterior, parte de la Isla de Tenerife, destacando el municipio de San Cristóbal de La Laguna y el área de estudio.....	18
Figura 2. Tierra usada y tierra neta por períodos en EU-28 y EU-39.....	24
Figura 3. Categorías de uso del suelo en distintos períodos en EU-28.....	25
Figura 4. Suelo ocupado y recultivo en los países del EEA-39.	25
Figura 5. Incremento en la media anual del sellado del suelo para distintos países. Se pueden observar los datos relativos a España en el cuadro blanco.	26
Figura 6. Adaptación del SIOSE a la hoja O74TF09A.....	37
Figura 7. Combinación de la HRL y el UA para obtener el porcentaje de sellado del suelo en el AOI.....	38
Figura 8. Adaptación del UA y la hoja 074TF09A para obtener la cobertura y usos del suelo del AOI.....	40
Figura 9. Mapa de permeabilidad del AOI	41

Figura 10. Mapa de vegetación en el AOI.....	43
Figura 11. Mapa de pendiente del terreno en el AOI.....	43

Gráficos:

Gráfico 1. Porcentaje de sellado en el AOI.....	39
Gráfico 2. Porcentaje de permeabilidad vs impermeabilidad.	42
Gráfico 3. Grado de impermeabilidad en las zonas edificadas del AOI.	42

Lista de abreviaturas y símbolos

AEMA	Agencia Europea de Medioambiente
AEMET	Agencia Estatal de Meteorología
AGE	Administración General del Estado
AOI	Area of interesting (en castellano, área de interés)
API	Application programming interface (en castellano, interfaz de programación de aplicaciones)
ATE	Agencia Territorial Europea
CCAA	Comunidades Autónomas
CNIG	Centro Nacional de Información Geográfica
EEA	European Environment Agency (en castellano, AEMA)
GRAFCAN	Cartográfica de Canarias S. A.
HRL	High Resolution Layer (en castellano, Capa de alta resolución)
IGN	Instituto Geográfico Nacional
MDT	Modelo digital de terreno
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (En castellano, índice de vegetación de diferencia normalizada)
PGO	Plan General de Ordenación del territorio
PIOT	Plan Insular de Ordenación de Tenerife
PNOT	Plan Nacional de Ordenación del Territorio
PNT	Plan Nacional de Teledetección
SIG	Sistema de Información Geográfica
SIOSE	Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España
SUDS	Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible
UA	Urban Atlas
UE	Unión Europea

Glosario

api key. identificador único que se utiliza para autenticar a un usuario, generalmente en tareas de desarrollo, o en llamadas a APIs.

api. es un conjunto de definiciones y protocolos que permiten la comunicación entre componentes de software.

dataframe. es una clase de objeto especial donde se organizan y almacenan los datos en los lenguajes de programación orientados a datos. La estructura de un dataframe es similar a una matriz.

desarrollo sostenible. desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras.

endpoint. es un dispositivo de computación remota que comunica dos partes de una red entre las cuales se ha realizado una conexión.

georreferenciación. método que permite relacionar información de la posición entre documentos cartográficos obtenidos de distintas fuentes.

land cover. es la superficie física de la tierra. Incluye los espacios verdes, el asfalto, el suelo desnudo y el agua, entre otros.

land monitoring service. servicio perteneciente al programa Copernicus que proporciona información geográfica del land cover en un amplio rango.

modelo digital de elevaciones. es un modelo con información altimétrica que representa el relieve del terreno.

modelo digital terrestre. es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua.

modelo ráster. consiste en un método para el almacenamiento, procesado y visualización de datos geográficos, divididos en una serie de unidades mínimas o celdas(píxeles), que recogen el valor de la variable asociada al modelo de interés.

modelo vectorial. recoge la variabilidad y características del terreno mediante entidades geométricas (puntos, líneas y polígonos)

ortofoto. fotografía aérea corregida geoméricamente (ortorectificada). Puede ser utilizada para realizar mediciones reales ya que es una representación precisa de la superficie terrestre.

reclasificación. técnica consistente en una modificación de los valores de una imagen de tipo ráster.

sellado de suelos. es la acción de cubrir de forma permanente una superficie de relleno con material impermeable artificial, como cemento o asfalto.

teledetección. es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre mediante sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra.

tierra neta (net land). cantidad de tierra habilitada para la construcción.

tierra usada (land take). pérdida de terrenos de agricultura, bosques o cualquier otro terreno natural o semi-natural en favor del desarrollo urbano y cualquier otro artificial.

urbanismo ecológico. desarrollo del urbanismo teniendo en cuenta prácticas adecuadas con el medio ambiente.

vectorización. conversión de valores de un modelo ráster a un modelo vectorial.

1. Planteamiento e introducción.

El suelo es un recurso biológico que pertenece a la corteza terrestre, donde ocurren procesos físicos y químicos. En su composición se incluyen materiales orgánicos, así como minerales, gases, fluidos y otros organismos que ayudan a la proliferación de la vida, dado que es un medio de crecimiento de plantas y forma un hábitat para los organismos vivos. Además, en el suelo se almacena agua, un factor de extrema relevancia para la formación de la vida como la conocemos. Por esto, el suelo es un recurso indispensable para la formación y mantenimiento de la vida y es un potente foco de estudio.

Por otro lado, la formación del suelo es un proceso lento y requiere de la participación de varios agentes: físicos, químicos, biológicos y humanos. Es en este último agente en el que se pretende centrar este trabajo, dado que el desarrollo de la acción humana es un factor condicionante a los otros agentes.

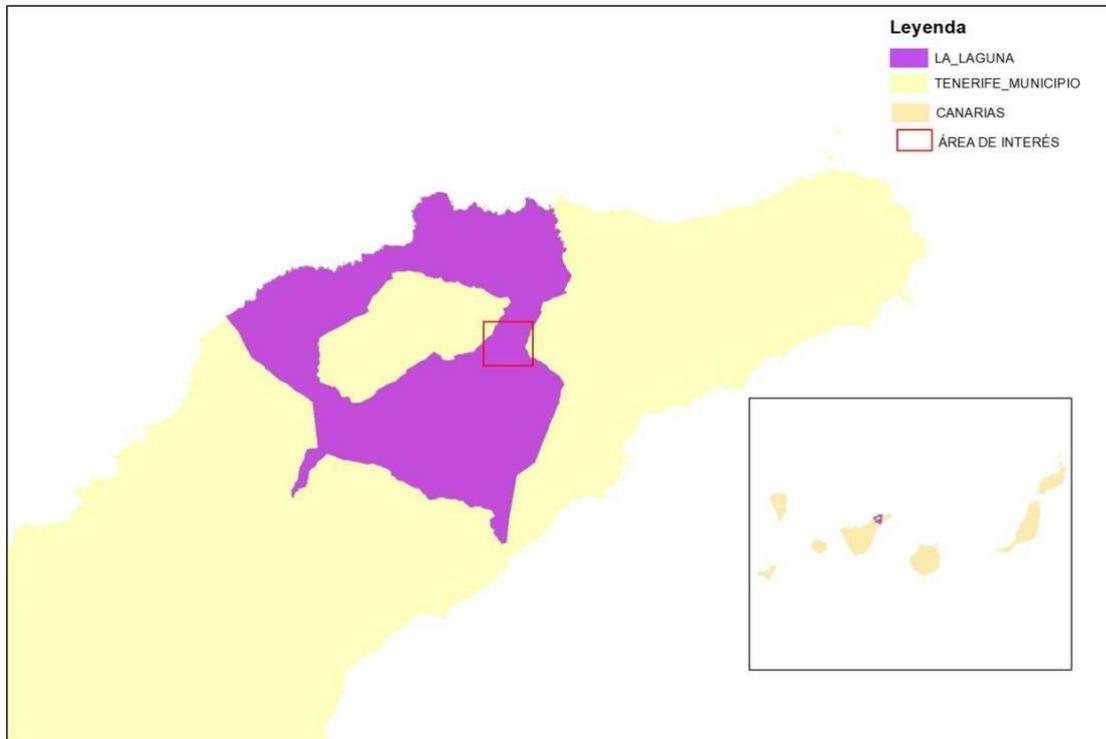
Dentro de las actividades humanas es de destacar la industria y la actividad comercial, la creación de viviendas y espacios públicos. Estas actividades, que requieren sellar el suelo, lo vuelven menos permeable, lo que afecta directamente a su formación y estructura.

De dicha razón surge la motivación de este trabajo, en el cual se plantea estudiar el estado del suelo de la isla de Tenerife, en concreto, se centrará en el área de La Vega Lagunera, debido a la diversidad de variables que presenta: combinación de suelo urbano y rústico, localización, así como el desarrollo de la actividad humana.

Este trabajo pretende estudiar el estado del suelo en el área de La Vega Lagunera, una zona localizada en la Isla de Tenerife, concretamente en el municipio de San Cristóbal de La Laguna. La localización exacta de este municipio dentro de las Islas Canarias, y en concreto, dentro del municipio de San Cristóbal de La Laguna, puede verse en el mapa de elaboración propia incluido en la Figura 1.

Este municipio abarca una superficie de 102,93 km², una población de 153.655 habitantes (2017, densidad de población 1499 hab/km²) siendo este el segundo municipio más poblado de la isla, sólo por detrás de la capital. El municipio podría separarse en dos zonas geográficas relativas al dinamismo económico. La primera zona abarcaría el centro

de la ciudad, donde el sector servicios, secundario y construcción son los ejes primarios de la economía municipal. En la segunda zona, la actividad económica se centra en el sector secundario y la construcción. A pesar de esto y de la abundante población, la agricultura ocupa casi un 20 % del uso del suelo de la zona. Abarca unas 2000 hectáreas de superficie de cultivo, y es el municipio con mayor superficie cultivada de la isla, lo



que lo ha llevado a considerar un municipio agrícola. (1)

Figura 1. Localización del área de estudio. En el recuadro interior, Islas Canarias. Recuadro exterior, parte de la Isla de Tenerife, destacando el municipio de San Cristóbal de La Laguna y el área de estudio

2. Problema

En las últimas décadas el crecimiento de la urbanización y el aumento de la creación de nuevas infraestructuras en la Unión Europea ha dado como resultado el consumo y el uso del suelo para satisfacer dichas actividades. Este cambio ha tenido como consecuencia directa el aumento de la población en el continente, que ha conseguido duplicar cifras anteriores (2).

Esta dinámica de producción urbana de ocupar el suelo para diferentes actividades, tiene como consecuencia la creación del fenómeno *sellado de suelo*. Una definición dada por la Agencia Europea de Medioambiente, que nos puede esclarecer el significado de este término es que “el sellado es una acción realizada por el ser humano por el cual se impermeabiliza y cubre el suelo con cemento o piedra” (2). El propósito de éste es el de facilitar el desarrollo humano al permitir la creación de entramado urbano, como carreteras, edificaciones y parques, entre otros.

El sellado del suelo es una práctica que elimina las capacidades y funciones de este elemento. Entre ellas se podría destacar algunas de las medidas, tales como son la fijación de los niveles de CO₂ o suavizar el microclima urbano debido a su capacidad para filtrar los gases contaminantes (3).

Además, de llevar a cabo la oclusión del suelo, trae consigo el aumento de la impermeabilidad y pérdida del terreno, así como la alteración de las funciones ecológicas, modificación de los ecosistemas y de los flujos de materia y energía (4).

Asimismo, se mencionan a continuación una serie de ideas extraídas de la bibliografía, de forma general, que acarrearán severas consecuencias debido al sellado.

1. El sellado del suelo puede retener hasta 300 mm de precipitación, lo que afecta directamente al grado de llenado de los acuíferos y al ciclo del agua.
2. En ciudades con alta ocupación de sellado, el agua de lluvia no se filtra ni repone los acuíferos si no que tiende a buscar otro camino. Generando desbordamientos en los desagües y sistemas de alcantarillado.

Habiendo establecido estas consecuencias tan determinantes, parece necesario conocer la situación actual y los antecedentes más relevantes acerca de la situación del suelo urbano, para así poder elaborar un estudio más eficaz en el área concreta

establecida; de modo que se pueda disminuir o mitigar, dentro de las buenas prácticas del desarrollo sostenible, los efectos negativos que este representa. Para ello, nos centraremos en las distintas estrategias que se han ido elaborando en distintos ámbitos.

2.1 Antecedentes: revisión del estado del suelo.

2.1.1. Estrategias de acción para las buenas prácticas en el uso del suelo.

2.1.1.1. *Estrategia europea:*

En el establecimiento de la estrategia del uso del suelo, la comisión europea ha tomado las siguientes líneas cronológicas:

En **2002** la Unión Europea establece bajo el comunicado de la comisión al consejo, el parlamento europeo, el comité económico y social y el comité de las regiones una estrategia temática para la protección del suelo. (5)

En este documento se establecen varias pautas dignas de mención. En primer lugar, se da una clara visión acerca de las consecuencias, que consideran irreversibles, a causa de la oclusión de los suelos mediante la urbanización expansiva y determinan por qué es importante elaborar una estrategia para paliar dichas situaciones. Las consecuencias más directas son la reducción del área de suelo disponible para los fenómenos de filtrado e infiltración de agua de lluvia. También son consecuencias notorias la contribución a acrecentar la fragmentación a la biodiversidad, así como la pérdida de suelos fértiles. (5)

En **2006**, la comisión europea revisa nuevamente el estado del suelo en Europa debido a que se detecta un incremento del uso de este. En este documento, se establece que las actividades humanas están acrecentando el deterioro del suelo, lo que implica un problema de alta importancia para Europa. Por este motivo, se insta a los estados miembros a que adopten planes de limitación del uso del suelo, estableciendo oportuno que se limite el sellado, nuevas técnicas de construcción que sean beneficiosas para el uso del suelo, así como la rehabilitación de terrenos abandonados como método de provecho. (6)

En **2007**, el Parlamento Europeo y el Consejo aprueban la directiva *Inspire* donde establecen cuáles son las nuevas reglas generales para la consolidación de una nueva infraestructura espacial en el marco de la Comunidad Europea. Esta nueva directiva busca formar parte de un estándar en la utilización de la información geográfica de forma que el impacto de la gestión territorial en la Unión Europea quede disponible y visible. (7)

En **2012** la Unión Europea considera el sellado como la principal causa de degradación del suelo, por ello, crea unas guías para realizar buenas prácticas dirigidas especialmente a las autoridades competentes en los estados, así como a los profesionales que intervienen en la gestión y ordenación del territorio. (2) En estas guías se establecen medidas a favor de mejoras en el uso del suelo con el objetivo primordial de una ordenación territorial más eficiente y respetuoso con el medioambiente. También fija que la demanda de una mejor calidad de vida (mayor número de instalaciones por habitante, viviendas más grandes...) es el principal motivo por el cual se ha contribuido a ocupar mayor suelo del necesario, entrando así en la paradoja de la ocupación del suelo disociada. (2)

En el año **2014**, la Comisión Europea, a través de la Agencia Europea de Medioambiente, en conjunto con la Agencia Espacial Europea pone en marcha el programa *Copernicus*, de forma completamente operativa. Este proyecto consiste 5 familias de misiones las cuales permitirán, con observaciones vía satélite, determinar del estado de la superficie terrestre bajo cualquier condición meteorológica, monitorizar la superficie terrestre, estudiar la tierra y los océanos y medir la composición atmosférica. Además, en una fase final del proyecto se distribuirán los datos obtenidos con la comunidad de usuarios. El objetivo principal de este proyecto es mejorar el cuidado del medioambiente, apoyar la calidad de vida, así como ayudar en la gestión de políticas más sostenibles, entre las cuales se incluye la gestión del suelo. Estos objetivos quedan enmarcados en 6 grandes categorías, de las cuales debemos destacar la gestión del suelo y el cambio climático. (8)

2.1.1.2. Estrategia nacional:

En **2006**, desde el Ministerio de medio ambiente se establecen pautas y directrices para fomentar la calidad urbana y de los ciudadanos, mediante políticas más sostenibles. Dentro de esta estrategia el punto 4.17, dispone que “se ha de desarrollar nuevos patrones

de urbanización que dejen menor huella en los desarrollos, tanto nuevos como de rehabilitación, para así reducir el sellado y la impermeabilización del suelo”. (9)

Posteriormente, en **2011** el Ministerio de Medioambiente, nuevamente concienciado del problema de los suelos, y centrándose en los cursos de agua, hace hincapié entre la relación directa que existe entre la oclusión del suelo, la pérdida de terreno y la infiltración del agua. Entre las medidas a adoptar, cabe destacar que se regulará la utilización del suelo y se impulsará el planeamiento territorial de forma que promueva de forma real y efectiva al desarrollo territorial sostenible, racional y equilibrado. Para esto se propondrá la utilización de instrumentos ágiles y nuevos planes de ordenación territorial, con el fin de mejorar el modelo actual. (10)

Asimismo, en el libro verde de la sostenibilidad urbana y local de **2012**, en el capítulo dedicado al urbanismo se trata, de forma más profunda que en documentos anteriores, el tema del sellado del suelo, debido a su relación directa en la perturbación del ciclo del agua. Se hace hincapié en que en los procesos de urbanización existe desconexión de los procesos naturales de la tierra. Establece que la urbanización, que siempre implica sellado del suelo, y, por tanto, que la zona se vuelva impermeable y cerrada a nuevas interacciones con el medio natural, agrava las condiciones climáticas (isla de calor, sequedad excesiva, riesgos de inundación...). Este libro contempla la necesidad de crear un nuevo sistema de zonas públicas verdes, preferiblemente continuas y no aisladas, centrándose en un diseño adecuado y una óptima ubicación, que facilite así el mantenimiento y la viabilidad económica. Las zonas verdes continuadas favorecen la resistencia ante fenómenos naturales extremos. (11)

Finalmente, en el año **2015** España se adhiere al programa *Agenda 2030: 17 Objetivos de desarrollo sostenible* de Naciones Unidas para su cumplimiento en el año 2030 en conjunto con otros países. En los objetivos 11 y 15 se apuesta por la sostenibilidad y el desarrollo sostenible, manteniendo con esto estrecha relación con el suelo. En ellos se busca que la planificación urbanística sea eficiente y efectiva en el uso de zonas verdes y urbanas, capaces de establecer sinergias reales con el medioambiente y los ecosistemas del planeta. (12)

2.1.1.3. Estrategia local:

El suelo en las Islas Canarias es un recurso indispensable. Debido a la insularidad, las dependencias con el suelo suponen un factor relevante para el desarrollo social y

económico de las Islas, dado que la pérdida de suelo genera dependencias con el exterior. Entre los grandes problemas a los que se enfrentan las Islas Canarias en relación con el suelo se pueden citar la pérdida de acuíferos, la desertificación y la construcción masiva y desordenada. (13)

En 2017 El Gobierno de Canarias aprueba la Ley 4/2017, de 13 de Julio, del Suelo y los Espacios Naturales Protegidos en Canarias. En su título III, capítulo I, artículo 82, criterios de ordenación, establece lo siguiente: “el desarrollo de núcleos de población más compactos, complejos y atractivos, en los que se use más eficientemente el suelo, mediante su reutilización y densificación, y se impulse la integración social y funcional, evitando la práctica extensiva de la zonificación urbana, y favoreciendo igualmente una reducción de las movilidad urbana” (14). Es decir, el uso del suelo queda regulado estableciéndose nuevas praxis acordes con la sostenibilidad y eficiencia.

2.1.2 Estadísticas del estado actual del uso del suelo.

Informes anteriores han realizado exhaustivos trabajos para medir el uso del suelo, entre ellos cabe destacar el trabajo realizado por Liu et al. donde, en resumen, establecen que el uso del suelo en 2010 es de $(74.71 \pm 0.15) \times 10^4$ km². (15)

Otros estudios han determinado que en el año 2000 a 2001 aproximadamente, 57.97×10^4 km² de superficie correspondían con áreas impermeables. (16), (17)

Teniendo en cuenta que La Tierra tiene una superficie total de 510,1 M km² tendremos en cuenta los siguientes datos expuestos en la Tabla 1.

	Área (Millones de km ²)	Porcentaje respecto a la superficie del planeta (%)
Superficie de tierra	148,9	29,2
Superficie de agua	361,1	70,8
2000 superficie impermeable	0,5797	0,113
2010 superficie construida	0.7471	0,1464

Tabla 1. Comparativa de tamaños de superficie

Respecto a la superficie de tierra, se puede calcular fácilmente que en el año 2000 el porcentaje de superficie impermeable era del 0,39 % mientras que la superficie construida en 2010 era de aproximadamente un 0,5 %, en términos globales.

Acotando estos datos, según la Agencia Ambiental Europea (EEA por sus siglas en inglés), en un estudio para los países de el Área Económica Europea con una superficie de $8,6 \times 10^4$ km², aproximadamente esto corresponde con un 0,5 % de la superficie de tierra del planeta. En dicho estudio, se estimó que el área de sellado del Área Económica Europea era del 1,47 % respecto al tamaño la esta, lo que equivale a un 0,008 % de la superficie de tierra del planeta. (18)

Centrándose en la Europa de los 28, la EEA publica los siguientes resultados relevantes para el tema de estudio del que se centra este trabajo:

En la figura 2, podemos observar la cantidad de tierra usada y tierra neta en el período que transcurre desde 2000 hasta 2018. Se observa como durante período que incluye desde 2000 hasta 2006 la fracción de tierra usada fue presumiblemente mayor que en el resto de los períodos (en un contexto social, identificaríamos este fenómeno como el *boom inmobiliario*).

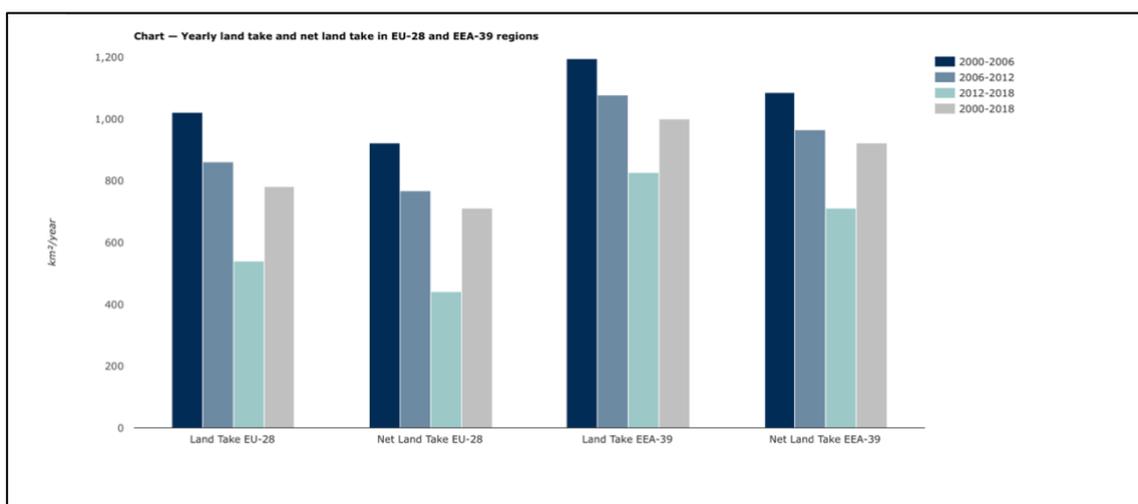


Figura 2. Tierra usada y tierra neta por períodos en EU-28 y EU-39.

En la figura 3, se observa cuáles son los tipos de uso del suelo que más afectan al suelo ocupado. Se observa como el uso de tierra arable y de copos permanentes desciende bruscamente con el paso del tiempo, también el resto de las categorías presentan descensos notorios.

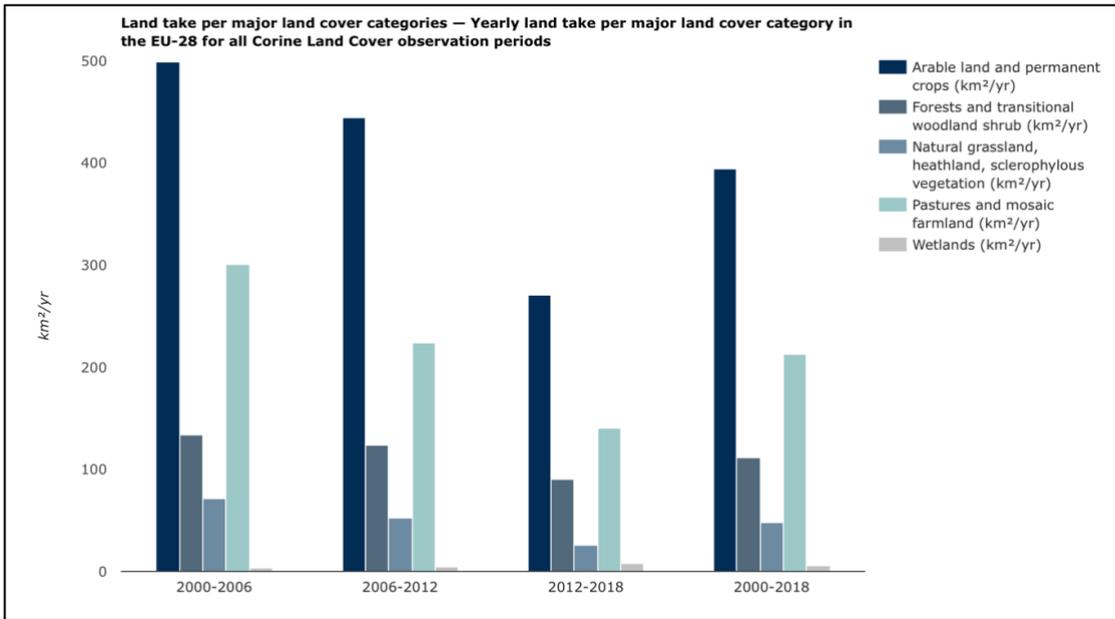


Figura 3. Categorías de uso del suelo en distintos períodos en EU-28.

En el caso particular de España, respecto de la EEA-39, en el período que comprende de 2000-2018, se sitúa en el sexto puesto de países con mayor cantidad de suelo ocupado. En cambio, en cuanto a cantidad de recultivo, solamente ocuparía el puesto número 16.

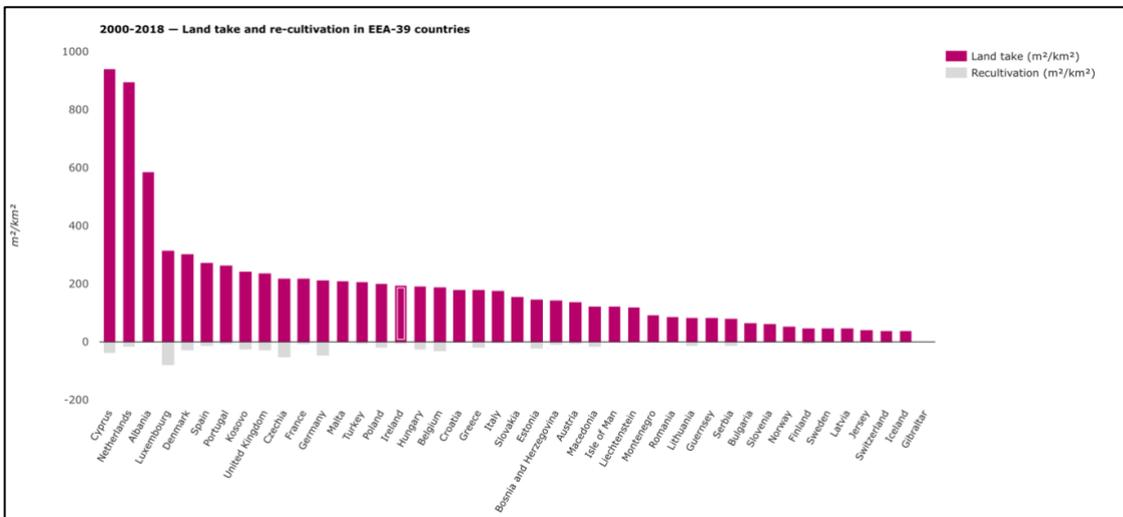


Figura 4. Suelo ocupado y recultivo en los países del EEA-39.

Finalmente, en estudios similares realizados por la Agencia de Medioambiente Europea, se ha estudiado el aumento del sellado en distintos países. En este estudio, España ocupa el séptimo puesto de países con mayor cantidad de suelo ocluido y se observa que el fenómeno de sellado de suelos ha ido decreciendo en los últimos años. Esto puede deberse al compromiso de España en los objetivos de desarrollo sostenible,

ya tratados en puntos anteriores de este trabajo. Para ilustrar estas conclusiones de la EEA, se puede analizar la siguiente figura.

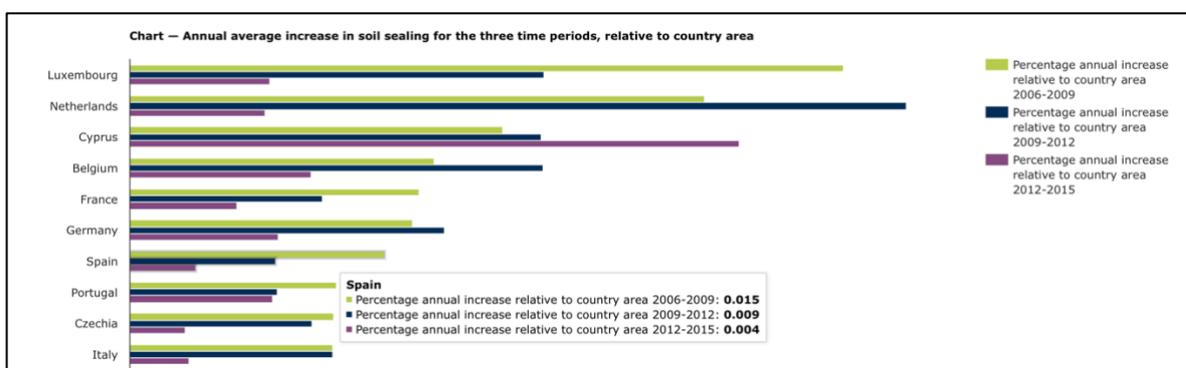


Figura 5. Incremento en la media anual del sellado del suelo para distintos países. Se pueden observar los datos relativos a España en el cuadro blanco.

3. Objetivos e hipótesis

3.1 Objetivos:

Los objetivos de este trabajo consisten en realizar un estudio del estado del sellado en la zona de La Vega Lagunera, así como de las variables que están relacionadas con el mismo. Para esto, se estudiará de manera particular la actual situación del sellado, pero también la impermeabilidad, la pendiente, el land-cover y la precipitación recogida en la vertiente de la zona de estudio. De forma que se obtenga una visión más clara de la situación del suelo en el AOI.

3.2 Hipótesis:

Las buenas prácticas en el uso, como se ha ido viendo a lo largo de este trabajo, implican el desarrollo de ciudades más verdes, sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

La ciudad de La Laguna, a pesar de ser la segunda ciudad más poblada de la isla, es considerada agrícola, por lo que el estado del suelo debe de caracterizarse por ser permeable y poco sellado. No obstante, el desarrollo humano tiene la necesidad de crear entramado urbano, que finalmente acaba sellando el suelo y provocando, por tanto, escasez en la permeabilidad de este. La ciudad de La Laguna, siendo un municipio con gran extensión y completamente desarrollado, tiene vías de servicio, autopista y carreteras, que son estructuras que, generalmente, ocluyen el suelo de manera irreversible.

La zona escogida para la realización de este trabajo forma parte de la zona de la Vega Lagunera, una zona de actividad principalmente agrícola, con una población total de 2565 habitantes (2019) y una superficie de 2,84 km². (19), (20)

Esta zona, debido a lo estudiado anteriormente, debe de presentar un porcentaje de sellado poco elevado, con zonas altamente selladas muy localizadas como viviendas y servicios, así como zonas de entramado urbano. Esta zona, en general, debe de ser muy

permeable, un factor a favor de la infiltración del agua de lluvia, un bien escaso en la zona noreste de la isla.

Para probar esta última hipótesis se realizará el estudio pertinente con la metodología que se explica a continuación.

Por otro lado, cabe pensar que los espacios construidos, salvo vías de servicio, y por tanto más sellados, han de localizarse en espacios llanos o con pendiente poco elevada, puesto que los espacios más elevados, y con mayor pendiente suelen ser de difícil acceso. Esta es una hipótesis que también intentará probarse a lo largo de este trabajo.

En resumen, las hipótesis de este trabajo son que el sellado de la zona en cuestión ha de ser muy localizado, concretamente ha de situarse en las zonas más llanas del terreno, donde han de coincidir con los núcleos urbanos del terreno.

4. Material

A continuación, se establece un listado de los materiales usados para la elaboración de este trabajo:

Se han utilizado los SIG ArcGis y QGis.

- ArcGis: Es un software en el campo de los SIG producido y comercializado por Esri que permite realizar el tratamiento de datos geoespaciales.
- QGis: Es un software open source en el campo de los SIG abalado por la comunidad de expertos y usuarios en la materia. Dicho software también permite realizar el tratamiento de datos geoespaciales.

Estos programas han sido el material fundamental que ha permitido el desarrollo de todas las figuras cartográficas de elaboración propia recogidas a lo largo de esta memoria.

- Fuentes de datos geográficos y cartográficos:
 - Grafcan¹:
 - Mapa topográfico 1:5000 Hoja 074TF09A

El Mapa Topográfico Regional de Canarias a escala 1: 5.000, digital y vectorial, constituye es la referencia básica para cualquier diagnóstico territorial. Ha sido elaborado a partir de vuelos fotogramétricos a escala 1:18.000 mediante la aplicación de procesos de apoyo de campo, aerotriangulación, restitución fotogramétrica, edición digital y controles de calidad cartográficos. Contiene elementos básicos en 3D, curvas de nivel intermedias y curvas de nivel directoras. El Mapa Topográfico 1:5.000 cubre la totalidad

¹ Las definiciones que se muestran a continuación son las propias dadas por Grafcan. Disponibles en <http://tiendavirtual.grafcan.es/index.jsf>

del territorio canario y se suministra en hojas con una superficie de 1.250 Has (5.000 x 2.500 metros).

- Ortofoto (ortoexpres) 210_09A1, 210_09A2

La ortofoto u ortoexpress es una fotografía aérea corregida geoméricamente (ortorectificada). A diferencia de una imagen de satélite, una ortofoto puede ser utilizada para realizar mediciones reales, ya que representa de forma precisa la superficie terrestre. En esta, se han corregido las distorsiones inherentes a las imágenes aéreas. Las ortofotos combinan las características de detalle y cobertura temporal de las fotografías aéreas y la escala uniforme y precisión geométrica de los mapas. Gracias a esto, las ortofotos pueden ser usadas en muchas ocasiones como fondo sobre el que se superponen los elementos de un mapa.

- Land Copernicus.eu
 - URBAN ATLAS 2018 (Base de datos en formato Shape ES025L3_SANTA_CRUZ_DE_TENERIFE_UA2018_012)

Es un modelo de datos cartográficos basados en usos y coberturas del suelo para toda Europa, se centra en las áreas urbanas funcionales y en sus alrededores. El Atlas Europeo Urbano es una iniciativa de la Dirección General de Política Urbana y Regional de la Comisión Europea junto a la Dirección General de Empresa e Industrial con la colaboración del programa Copernicus con el apoyo de la ESA y la AEMA.

- High Resolution Layer - Imperviousness (2015)

Es un producto pertenece al modelo de datos del programa Copernicus. Se inserta dentro de la componente paneuropea del land monitoring service. Proporciona información sobre características específicas del land-cover y son complementarios a otros productos en materia de ocupación del suelo. Se trata de imágenes producidas a partir de imágenes de satélite con una resolución espacial de 20 m. Existen cinco productos pertenecientes al HRL, entre ellos se encuentra el Imperviousness (Impermeabilidad). Este subproducto captura la distribución espacial de las superficies del sellado del suelo haciendo referencia al nivel de sellado por unidad (píxel) expresadas en porcentaje y calculado mediante algoritmos automáticos del NDVI calibrado.

- SIOSE. (21)

Es el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España, integrado dentro del PNOT. Su objetivo principal es elaborar una base de datos con información sobre el estado de ocupación del suelo en el ámbito nacional a escala 1:25000. Alberga la información disponible de las CCAA y la Administración General del Estado.

Se elabora de forma periódica, descentralizada y coordinada con las distintas administraciones, teniendo en cuenta la Directiva Inspire.

Algunos de los objetivos más relevantes son los siguientes:

1. Satisfacer las necesidades de la UE, la AGE y las CCAA en relación con la ocupación del suelo.
2. La creación y mantenimiento de una base de datos de consulta para la AGE y las CCAA.
3. Aportar datos, servicios y conocimiento del Programa Copernicus en materia de uso del suelo.

En concreto, se utiliza el geopackage SIOSE2014 disponible en el centro de descargas del CNIG. Este producto contiene un apartado dedicado exclusivamente al sellado del suelo

- Modelo Digital Terrestre.

El modelo digital terrestre es un tipo específico de modelo digital de elevaciones, en concreto el MDT02 es un modelo digital del terreno de 2ª Cobertura, abarca desde 2015 hasta la actualidad, y se realiza con paso de malla de 2 m.

Además, se ha utilizado el software Python. para la extracción de datos de meteorología:

- Datos meteorológicos:
 - Aemet OpenData²:
 - Estaciones Meteorológicas Estaciones de la isla de Tenerife.

² Se ha utilizado la versión para desarrolladores, de forma que se ha implementado un código de descarga automático mediante el lenguaje Python, donde, además, se ha realizado el procesamiento de los datos. Aemet OpenData también se encuentra disponible para usuarios generales sin necesidad de implantar código, sin embargo, al implantar el código se consiguen realizar las consultas mucho más rápidas y se permite una actualización continua de las mismas, simplemente ejecutando o programando la ejecución del código.

Contiene la red completa de estaciones de la Agencia Estatal de Meteorología. A través de una llamada al endpoint del inventario de estaciones. Este inventario de estaciones se filtrará para tomar únicamente las de interés.

- Información pluviométrica.

Mediante una llamada al endpoint de valores climáticos se puede obtener una respuesta con los valores históricos recogidos (de todos los valores disponibles solo tomaremos la precipitación como variable de estudio) en la estación indicada.

5. Método

En una primera línea de investigación, este estudio ha requerido de un exhaustivo trabajo de lectura, donde se han consultado diversos informes sobre el estado y el uso del suelo, cuáles son las prácticas más adecuadas y cómo realizar una clasificación adecuada para su análisis detallado. Es en este último punto donde se han encontrado las mayores dificultades y discrepancias, pues cada autor clasifica el sellado de forma distinta (ha de decirse que no hay un estándar para realizar esta clasificación y ahí radican las diversas autorías). En particular, en este trabajo se utilizará la clasificación propuesta por J.M. García Alvarado et al. (22) donde se clasifica el sellado acorde con la siguiente tabla:

Porcentaje de sellado	Descripción
< 20 %	Forma respetuosa de hacer ciudad
20 – 40 %	Intervalo tolerable
60 – 80 %	Grave
> 80 %	Inasumible, mala práctica urbana.

Tabla 2. Clasificación del sellado.

Para poder aplicar esta clasificación a la zona de interés de estudio se han de obtener los datos necesarios para la realización de mapas geográficos que muestren el estado del sellado del área en particular. Estos datos han sido nombrados anteriormente en el capítulo de materiales, y constituyen el punto de mayor interés del trabajo, puesto que permiten aplicar las distintas ideas extraídas de las fuentes bibliográficas y comentadas en el capítulo de introducción, al trabajo particular.

Para el estudio central de este trabajo, se ha descargado el mapa topográfico a escala 1:5000 del visor de Grafcan S.A (hoja 074TF09A). De dicha descarga se obtiene un archivo tipo. DGN (design) que se modifica y moldea de forma que se puede obtener el área de interés (se obtiene con ello, el área poligonal).

En primer lugar, se ha comenzado estudiando el SIOSE, en concreto, el apartado dedicado al sellado del suelo nombrado anteriormente. Este producto se integra a la hoja

074TF09A. El producto obtenido de esta composición presenta un problema de escalabilidad debido a que el SIOSE tiene un nivel de detalle poco adecuado para una hoja de tan alta resolución.

Por otro lado, se procesan los datos para adaptarlos al proyecto Urban Atlas (UA). El UA elabora un mapeo funcional a nivel europeo de los valores de cobertura y usos del suelo en diferentes clases. Básicamente estos datos se consiguen accediendo al servicio web landcopernicus.eu y se descargan el formato shape para poder procesarlos mediante software GIS. En estos datos, sin embargo, existe el inconveniente de que se realizan a escala 1:10000, lo que supone una representación correcta pero no detallada para un área tan pequeña como la que se quiere estudiar (recordamos que se quiere realizar el estudio a escala 1:5000 debido a la versatilidad de detalle que ofrece).

Seguidamente, se trabajan las capas de forma conjunta y se consiguen trasladar los datos de la escala 1:10000 a la hoja topográfica 074_TF09A a escala 1:5000 obteniendo un detalle fino del mismo. A pesar de que esta combinación ha de dar una clasificación más fina de la realidad en cuanto al uso del suelo, y teniendo en cuenta que el proyecto UA otorga los valores de forma cualitativa del sellado del suelo, el propio proyecto recomienda en sus directrices la combinación de los HRL aplicado precisamente al estudio del sellado del suelo (soil-sealing) a nivel europeo. Esto deriva en la nueva necesidad de descarga de datos, en este caso, el conjunto de datos se obtiene en formato ráster. Para poder hacer uso de la HRL se realiza una extracción de la capa de imagen ráster, para obtener únicamente datos de la zona de estudio. Para poder obtener los valores del sellado, que son fundamentales para la realización de este trabajo, se debe de llevar a cabo la técnica de vectorización del formato ráster. En concreto, se transforma la imagen en una capa de tipo punto que conteniendo el tanto por ciento de sellado. Con esta vectorización se consigue cubrir todo el ámbito de estudio, permitiendo así combinar el UA con la HRL, de forma que se tienen niveles detallados, concretos y concordantes con la realidad.

Una vez obtenidos los valores de sellado del suelo, es momento de poder estudiar como están representados en la zona, para ello se aplicará la clasificación de la Tabla 2 para agrupar los valores de este.

Para el caso particular del estudio de la vegetación es necesario descargar las ortofotos 210_09A1, 210_09A2. Con el programa SIG se realiza una clasificación de los píxeles en nueve clases, que permiten realizar una fotointerpretación subjetiva de la vegetación. Con esta clasificación de nueve clases se propone una clasificación en 4

valores, que clasifica el terreno acorde con el espacio cubierto por vegetación, obteniendo así los distintos estratos: arbóreo, arbustivo, herbáceo y suelo desnudo. La clasificación se ha asignado en este orden, siendo los valores extremos los correspondientes con el espacio arbóreo y el suelo desnudo.

Para el estudio de la pendiente y el espacio impermeable ha sido necesario el modelo digital terrestre o MDT02, que se corresponde con una cobertura de malla de 2 m. Ha de tenerse en cuenta que el MDT02 no posee un único mosaico de la zona, si no que, para elaborarla se han de descargar los diversos archivos necesarios para combinar y componer formando un único modelo representativo del área a estudiar. Posteriormente, se realiza un tratamiento adecuado con herramientas SIG para obtener los valores de la pendiente. Este apartado, finalizará cuando se haya superpuesto la capa de espacios impermeables o edificaciones de forma que se comprueba la distribución de construcciones frente a los datos de pendiente.

Finalmente, para afinar en los resultados y conclusiones que se verán en los apartados siguientes se ha decidido realizar un estudio de la variable precipitación. Esta parte del trabajo ha requerido del uso del software Python para la extracción de los datos de Aemet OpenData vía API. Para poder obtener los datos es necesario solicitar a Aemet una API Key, de forma totalmente gratuita. Se ha elaborado un pequeño código (véase en el anexo) que recoge (mediante el método GET al endpoint del inventario de estaciones indicado en la documentación de Aemet) los datos todas las estaciones de Aemet disponibles. Estos datos se vuelcan en un dataframe y se filtran para aquellas estaciones de la provincia de Santa Cruz de Tenerife. Una vez filtradas, se imprimen por pantalla y se recogen los identificativo de las estaciones de interés (de las seis estaciones de la isla de Tenerife, se tomarán los datos de 4 de ellas, por localizarse en la zona norte, las más cercanas, y posiblemente con similar influencia de precipitación, que el área de estudio. Estas estaciones son: Izaña, Puerto de la Cruz, Santa Cruz de Tenerife y Aeropuerto Norte. Los indicativos de las estaciones nos permitirán llamar a un segundo método get mediante llamada API al endpoint de valores climáticos para obtener los valores de precipitación en cada estación. Con estos valores se obtendrán resultados medios anuales teniendo en cuenta un período de 30 años (en el caso de la estación del Puerto de la Cruz, la serie temporal es menor, dado que la estación sólo tiene datos de 1996 en adelante). Los datos de los valores medios anuales se pueden realizar de forma muy simple con un cálculo en Excel.

5.1 Problemas detectados.

El mayor contratiempo de este trabajo se encuentra en la diferencia de escalas entre los productos usados.

Al obtener el producto de la composición SIOSE y la hoja 074TF09A se obtuvieron grandes desajustes en los resultados, respecto de lo esperado. Aportando al estudio en cuestión poca fiabilidad en el estudio del sellado. En el apartado de resultados se podrá apreciar mejor estos desajustes.

Para solventar esta dificultad, se acudió a la fuente de datos de Copernicus, donde finalmente, gracias a la HRL y la combinación con el UA, se obtuvieron resultados más concluyentes y fiables, permitiendo así hacer un estudio más profundo del tema en cuestión.

6. Resultados

6.1 Porcentaje de sellado del suelo:

6.1.1 Adaptación del SIOSE a la hoja 074TF09A:

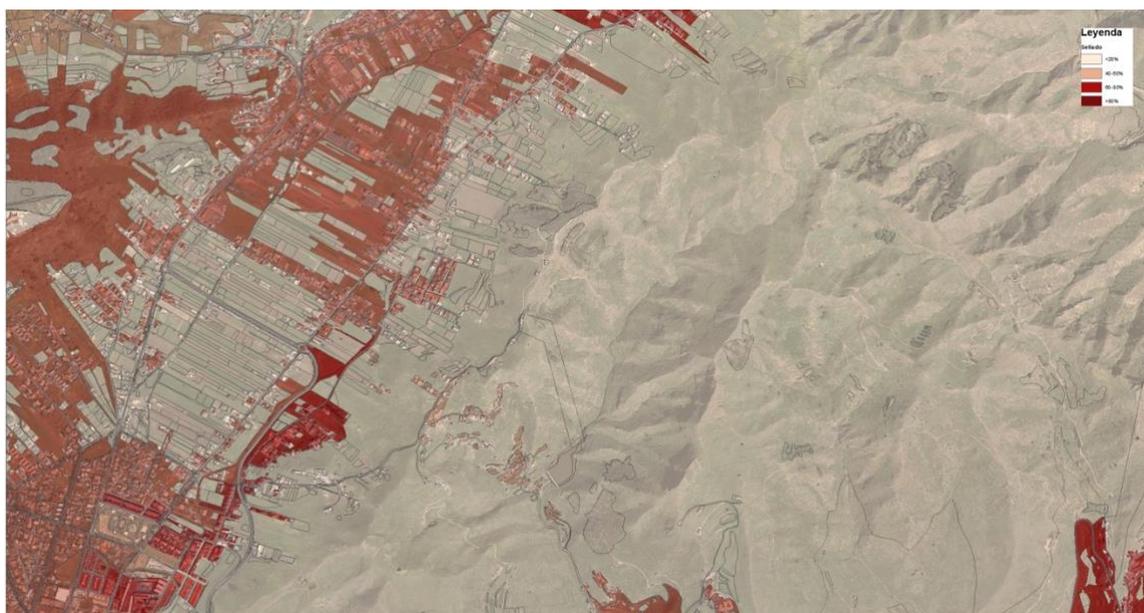


Figura 6. Adaptación del SIOSE a la hoja 074TF09A.

Una vez se ha realizado la obtención del producto combinado del SIOSE y la hoja 074TF09A se pueden observar los siguientes puntos a destacar:

En primer lugar, el SIOSE da valores de sellado muy elevados en áreas, que, teniendo en cuenta la ortofoto sería suelo desnudo. Esto se debe a que la diferencia en las escalas ha provocado que las entidades poligonales del SIOSE sean mayores, cubriendo un área más grande que la de la hoja 074TF09A. Esto significa que, en el caso de SIOSE, un área poligonal puede contener una mínima parte con una alta ocupación, que provoca que se clasifique todo el polígono con este valor. En un trabajo, como el que se pretende desarrollar aquí, con una hoja de tan alta resolución, es poco recomendable mezclar dos productos de escalas tan diferentes.

Actualmente, para evitar errores de esta magnitud, el IGN se está encargando de elaborar el SIOSE de Alta Resolución, obteniendo una resolución en escalas 1:1000 a 1:5000.

De este inconveniente, surge la necesidad de acudir a otras fuentes de datos para obtener un estudio mucho más detallado de la AOI. En concreto, se acude al UA del

Programa Copernicus, dado que es una de las fuentes adicionales geométricas propuestas por el PNOT para obtener información más detallada.

6.1.2 Combinación HRL y UA.



Figura 7. Combinación de la HRL y el UA para obtener el porcentaje de sellado del suelo en el AOI.

Combinando la HRL y el UA se obtiene el mapa de sellado de la Figura 7. El UA proporciona los datos necesarios para conocer cuáles son los espacios construidos de la zona; sin embargo, gracias a la HRL se puede conseguir realizar el estudio del porcentaje de sellado del suelo por área, dado que arroja una representación mucho más precisa al ámbito de estudio. Una vez se han combinado ambas capas, se procede a la clasificación, nuevamente en cuatro clases, teniendo siempre presente la clasificación indicada en la Tabla 2 que hemos usado como referencia para este trabajo.

La zona de estudio representa un área poco sellada, donde el valor más repetitivo oscila entre 0-20 %. Las zonas altamente selladas (con valores a partir del 60 %) se encuentran muy localizadas y son dispersas, concentrándose muchos de estos valores en las proximidades hacia el centro de la ciudad.

Porcentaje de sellado del AOI

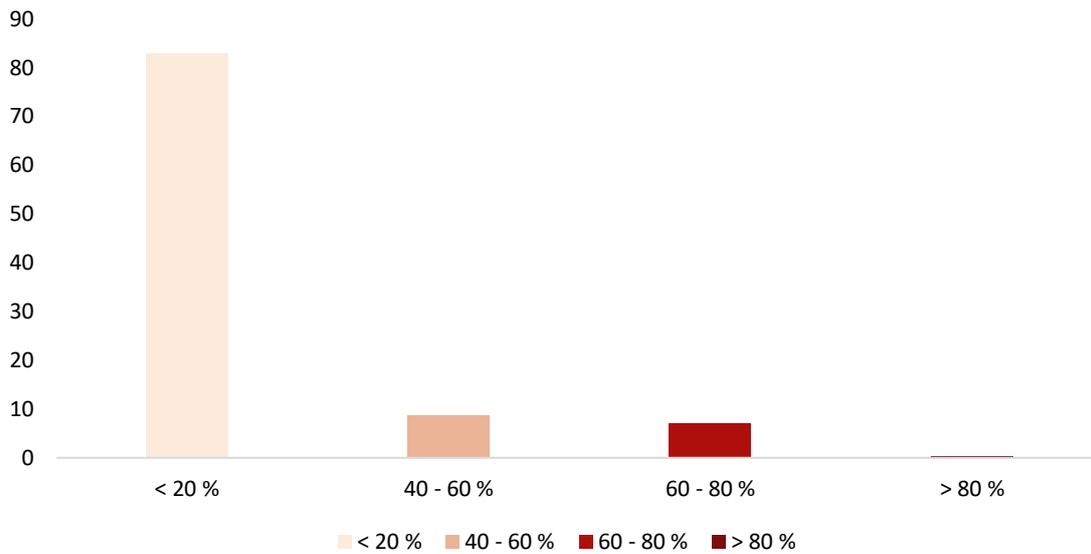


Gráfico 1. Porcentaje de sellado en el AOI.

Para esclarecer el verdadero impacto del sellado en esta área, se ha realizado el Gráfico 1. En éste se aprecia que el área con un sellado inferior al 20 % representa el 83 % de la totalidad, siendo, por tanto, una zona muy poco sellada, que recordando la Tabla 2 es el valor ideal de sellado para hacer ciudad. Por otro lado, en conjunto, el área con valores de sellado superiores al 60 % no alcanza más que un 7,4 %.

Finalmente, como era de esperar, se puede apreciar una diferencia muy notable en los valores de sellado al comparar entre la Figura 6 y la Figura 7. Se aprecia que, como era de esperar, los valores de sellado al combinar el UA y la HRL son mucho menores que los que salen de la combinación del SIOSE. Es notable, también, que los valores están distribuidos espacialmente de forma distinta, observándose claramente, como la HRL y el UA ofrecen menor espacio consumido por el sellado (fijándonos, por ejemplo, en la parte más occidental de la hoja). En la esquina inferior derecha de la hoja del SIOSE se aprecia, asimismo, un área con valor extremo del sellado, por contraste, en la hoja del HRL y el UA aparece como suelo con porcentaje de sellado menor al 20%. Esta área, que destaca en el SIOSE, coincide con un pequeño núcleo urbano al consultar directamente la ortofoto. Este pequeño caso en particular requeriría de mayor resolución en cualquiera de los dos métodos para determinar cuál es el valor real del sellado de la zona, puesto que incluso una escala de tanta resolución como la 1:5000 puede acarrear errores en torno a núcleos muy pequeños rodeados de vegetación.

6.2 Cobertura y usos del suelo: adaptación del UA a escala 1:5000.



Figura 8. Adaptación del UA y la hoja 074TF09A para obtener la cobertura y usos del suelo del AOI.

Una vez se consigue llevar a cabo la adaptación del proyecto UA a escala 1:1000 a la escala 1:5000 se obtienen varios aspectos de interés en la zona de estudio:

En primer lugar, se consigue obtener los distintos usos y coberturas del suelo de la zona. Se puede observar, así, un área de aparente importancia de suelo verde. Específicamente, la categoría que destaca es la de asociación de vegetación herbácea (herbaceous vegetation association). Ha de tenerse en cuenta, que este valor, no representa únicamente el estrato herbáceo, si no que es una clase que agrupa tanto la cubierta vegetal como aquellos espacios que albergan cultivos. En la composición adjunta en el anexo, se puede observar claramente como estadísticamente la clase herbácea tiene una representación mayor en la zona de estudio. Del espacio total estudiado, ésta representa un 72 %, que equivale a unas 900 ha.

Otro punto que se ha de tener en cuenta es la distribución de los espacios edificados. Se observa un área muy edificada en el suroeste, que se ramifica hacia el norte, dejando ciertos elementos dispersos, pero que, de forma general, podría decirse que las edificaciones forman núcleos urbanos concentrados.

6.3 Espacios permeables e impermeables: combinación HRL y UA.



Figura 9. Mapa de permeabilidad del AOI

Una vez obtenido el uso y cobertura del suelo, se realiza una separación de clases, según la participación o no de la mano del hombre. Con ello, se consigue una capa de espacio impermeable (representando todos los elementos urbanos construidos) y otra del espacio permeable (representando todos los espacios naturales).

Como se puede apreciar en la Figura 9, la mayor parte del terreno corresponde con espacio de suelo permeable. Concretamente, en el Gráfico 2 se aprecia el porcentaje de correspondiente a cada tipo de suelo según la superficie total disponible en el área de La Vega Lagunera. En este gráfico apoya al resultado anterior determinando que, la mayor parte del terreno estudiado, el 81 % del suelo, aproximadamente, se corresponde con zona permeable. Este parece un resultado lógico, debido a que el área permeable se localiza sobre el terreno asociado a la vegetación herbácea (véase la Figura 10)

Estado de la permeabilidad del suelo.

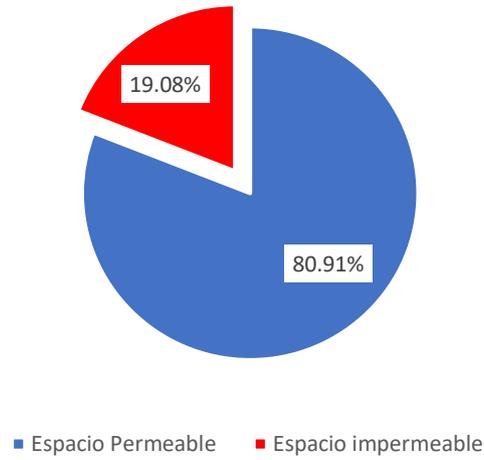


Gráfico 2. Porcentaje de permeabilidad vs impermeabilidad.

Del espacio, donde la impermeabilidad es distinta de cero (aproximadamente el 19 % del AOI), se ha elaborado una pequeña gráfica, donde se ilustra cuáles son los valores predominantes de esta variable, así pues, el Gráfico 3 muestra como los valores de 40 y 60 % de impermeabilidad son los que mayor porcentaje ocupan, representando un 27 y 32 %, respectivamente, del área total analizada.

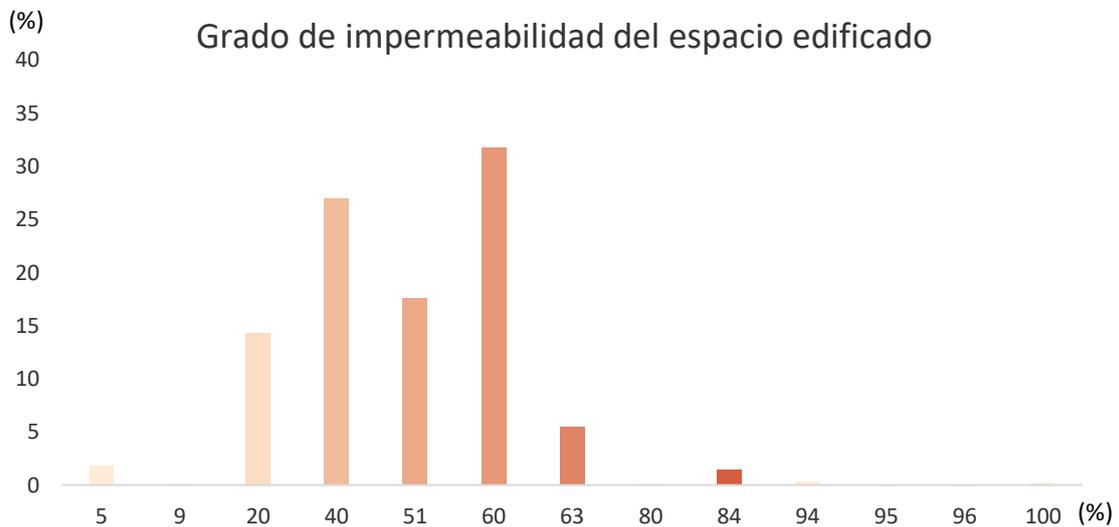


Gráfico 3. Grado de impermeabilidad en las zonas edificadas del AOI.

6.4 Espacio cubierto por vegetación: ortofotos 210_09A1, 210_09A2



Figura 10. Mapa de vegetación en el AOI

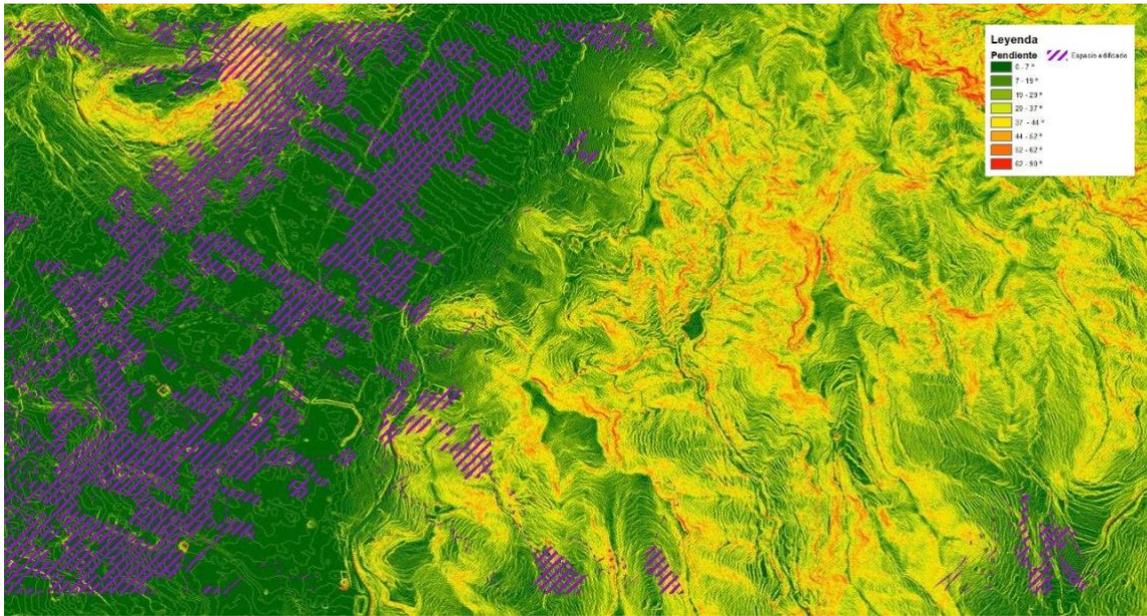
Para realizar este apartado de vegetación se ha reclasificado la ortofoto y posteriormente se ha realizado una interpretación de las imágenes. Como resultado, se logra una clasificación del espacio cubierto por vegetación, nuevamente usando 4 clases. Se clasifica el suelo en arbóreo, arbustivo, herbáceo y suelo desnudo (este último contiene en sí los espacios impermeables).

En la clasificación anterior se aprecia claramente un mayor dominio de los estratos herbáceo y arbustivo, que justamente coincide con el espacio dominante en el UA (véase la Figura 8).

6.5 Elevación del terreno.

Con el tratamiento adecuado realizado con el software GIS, se consigue como producto la pendiente del terreno. La inclinación del terreno en esta zona en concreto varía desde 0 a 43°, es decir, el terreo se puede considerar abrupto, debido a su pequeño tamaño y que existen grandes variaciones en la inclinación del terreno de unas zonas próximas a otras. Superponiendo la capa de edificación, se aprecia como la parte manipulada por el ser humano se encuentra en las zonas de menor pendiente.

Figura 11. Mapa de pendiente del terreno en el AOI.



6.6 Precipitaciones en la vertiente este de la isla de Tenerife.

En primer lugar, se obtiene el catálogo de estaciones de la Aemet vía API de Aemet Open Data, donde se escogerá cuáles son las de interés para el trabajo. En segundo lugar, se obtienen los datos para los valores climáticos diarios utilizando un proceso paralelo al anterior. Con estos datos se realizan cálculos de precipitación media anual. Estos datos se pueden observar en la Tabla 3. Por proximidad, las dos estaciones de mayor influencia en la zona de La Vega Lagunera son Santa Cruz de Tenerife y Tenerife Norte Aeropuerto, donde las precipitaciones oscilan entre 200-500 mm anuales, lo que se puede considerar una tasa de lluvia relativamente escasa (el clima seco habitualmente considera que las precipitaciones no sobrepasan los 800 mm anuales). En general, en la vertiente noreste de la isla las precipitaciones suponen unos 1300 mm de media al año.

Estación	Precipitación anual media (mm)
Izaña	391,28
Puerto de la Cruz	186,81
Santa Cruz de Tenerife	227,78
Tenerife Norte Aeropuerto	530,42

Tabla 3. Precipitación anual media en la vertiente norte de la isla de Tenerife.

7. Discusión

Como se ha ido viendo a lo largo del desarrollo de este trabajo, el efecto del sellado es irreversible, asimismo el suelo es un recurso limitado. En el caso de La Vega Lagunera, la insularidad supone también un factor clave en el uso del suelo, puesto que el terreno es determinante para sostener la economía de la isla. En concreto, en la zona de estudio, como hemos visto, la economía se sustenta de la agricultura y el sector secundario donde el uso del suelo es fundamental para su desarrollo.

Se ha observado a lo largo de estas últimas páginas, que en el AOI es una zona poco sellada y muy permeable, con predominancia de la vegetación, muy abrupta y con escasas precipitaciones al centrarnos en la zona en concreto (este dato lo habíamos obtenido como media de las precipitaciones recogidas en el Aeropuerto Norte y Santa Cruz).

En nuestra zona particular, como ya se expuso en el capítulo 6.1.2, se aprecia un claro predominio de las zonas poco selladas (valores de sellado $< 20\%$), con muy escasa presencia de valores altos ($> 60\%$). Las zonas donde el sellado tiene valores altos, considerados, según la tabla de referencia de este trabajo, como graves e inasumibles, están muy cercanas al centro de la ciudad de La Laguna. El centro de esta ciudad, como ya se comentó en el capítulo 1, dedica su actividad económica al sector servicios y secundario, que requiere un alto grado de construcciones, y por tanto de sellado. Sería muy interesante en un futuro, centrarse en una zona más cercana al centro de la ciudad para estudiar ahí los valores del sellado y poder determinar si se han llevado a cabo buenas prácticas en la planificación del territorio (es decir, si se ha estimado de forma consciente el indicador de sellado del suelo en las oportunidades de construcción) o si, por el contrario, esta ciudad ha asumido un riesgo a la hora de planificar el uso del suelo.

Volviendo nuevamente a centrarnos en el sellado del suelo del AOI, es importante establecer que ciertamente el sellado no ocupa más que el 20% del terreno estudiado, sin embargo, también es una zona poco construida, por lo que es completamente lógico que el sellado no sea tan impactante. Por otro lado, y como punto a favor de las prácticas de construcción y usos del suelo, ha de destacarse que la zona construida tiene valores de sellado muy inferiores a lo esperado. Recordamos que, los valores donde las malas prácticas de construcción han arrojado valores de sellado superiores al 60% , representan

el 7.4 % del área estudiada. Lo que implica que el 37 % de la zona construida tiene valores del sellado graves. Este último valor proporciona un pequeño cambio en el pensamiento inicial, donde se creía que el valor del sellado no suponía una amenaza para la zona; sin embargo, sabiendo que de la zona erigida el 37 % presenta problemas de sellado, dado que el sellado es consecuencia directa de la actividad humana. Es importante realizar este cálculo ya que, donde el ser humano no ha participado en la edificación, no hay sellado, y por tanto, para descomponer el verdadero impacto de este fenómeno hay que detraer las zonas de uso terciario.

Un resultado muy interesante del AOI es que las zonas selladas presentan un grado de impermeabilidad distinto del que cabría esperar. Analizando el área total, se presenta una vasta zona altamente permeable (valores inferiores al 40 %), muy compacta, donde las edificaciones son escasas (recordemos que es una zona poco construida, menos del 20 % del terreno ha sido edificado) o nulas (suelo virgen o de cultivo) y las zonas poco permeables, con valores superiores al 40 %, se encuentran dispersas y muy localizadas. En general, es una zona con alto grado de permeabilidad, por lo que la infiltración de agua ha de ser abundante. En este punto también es muy importante centrarse en la zona coincidente con las edificaciones (colores rojizos), donde la impermeabilidad es distinta de cero, y fijándose así mismo en el área sellada (véanse las figuras 8 y 9) se observa como existe una relación directa entre el sellado y la impermeabilidad, así pues, las zonas más selladas son las que presentan mayor impermeabilidad.

Otro resultado que llama la atención se establece al relacionar el sellado y la pendiente. En las hipótesis se había supuesto que las superficies selladas deberían de estar localizadas en zonas llanas del terreno, dejando las zonas más elevadas y abruptas sin construir, debido a, como se dijo, la dificultad de acceso y la laboriosidad que supone realizar construcciones sobre terrenos inclinados y elevados. Como se observa de en las figuras 9 y 11, las zonas construidas (área rayada) se encuentran en zonas llanas donde la pendiente oscila entre 0 – 7 %. Fijándonos también en la vegetación (Figura 10), las áreas verdes tienen más protagonismo según se gane en altura en el terreno.

Finalmente, es importante analizar el efecto del sellado y la permeabilidad en conjunto con las precipitaciones. El terreno que hemos estudiado es bastante permeable, y en general, poco construido. Al ser un terreno de alta permeabilidad es lógico pensar que el agua de lluvia se infiltre fácilmente en la zona, siendo un aspecto altamente beneficioso para la actividad económica de la zona, que además favorece el crecimiento de los estratos de vegetación.

7.1 Posibles mejoras en el uso del suelo:

A pesar de que la zona escogida para realizar este trabajo no presenta grandes problemas en el uso y sellado del suelo, no hay que olvidar cuáles son las buenas prácticas para mantener el ecosistema en equilibrio. Como hemos visto en el capítulo introductorio, la globalización e industrialización supone una expansión constante, siendo intrínsecamente necesario el uso del sellado del suelo para el desarrollo de las actividades humanas. Es por eso, que, de comenzar una expansión en la zona de interés, se debe tener en cuenta el indicador del sellado a la hora de planificar un hipotético futuro desarrollo de urbanización, buscando evitar la criticidad en el uso del suelo.

Una de las mayores limitaciones en las buenas prácticas del uso del suelo es la actividad humana, que tiene la necesidad de recubrir los suelos para crear vías de acceso, mayoritariamente, públicas, así como edificaciones públicas y privadas.

Las propiedades abandonadas suponen también un punto a tener seriamente en cuenta a la hora de mejorar las buenas prácticas del suelo, dado que ha de favorecerse que estas propiedades sean reconstruidas, lo que permite disminuir el uso del suelo, ya que, al aprovechar el suelo, no se estará ocupando y maltratando suelo nuevo.

Por otro lado, ha de favorecerse las construcciones ecológicas en la línea del desarrollo sostenible, utilizando materiales que presenten sinergia con el medio ambiente y buscando optimizar la cantidad de suelo usado y sellado. En este aspecto podría limitarse o regularse la cantidad de sellado máximo permitido en las nuevas construcciones.

Asimismo, parece una buena idea el implementar un SUDS para la captación, limitación y para el impedimento de filtración de aguas contaminantes en los acuíferos. En cuanto a las construcciones, se podría combinar con la idea anterior de limitación del uso del suelo, de forma que se practicase el establecimiento de una zona de drenaje en las inmediaciones éstas (dejando margen para la implementación de elementos verdes, captadores y filtradores de agua).

Finalmente, es importante fomentar los espacios verdes, no sólo para limitar la cantidad de sellado y con ello, conseguir un suelo más permeable, capaz de filtrar mayor cantidad de agua, si no también para evitar los efectos secundarios del mismo, como son la conocida isla de calor, muy común en zonas selladas donde se alcanzan temperaturas altas. Los espacios verdes, además de favorecer la permeabilidad del suelo y el llenado

de acuíferos, son de vital importancia para reducir los efectos negativos del cambio climático.

8. Conclusiones

Los resultados y la posterior discusión comentados en los capítulos anteriores (6. Resultados y 7. Discusión) arrojan las siguientes conclusiones en relación con las hipótesis planteadas en el capítulo 3. Objetivos e hipótesis que permite concluir cuál es el estado del suelo en el AOI.

Con respecto al estado del suelo, se establecen las siguientes conclusiones:

En primer lugar, la zona estudiada presenta un alto grado de permeabilidad en términos generales, lo que supone una ventaja a nivel estratégico en el uso del agua, dado que favorece la retención de este bien tan escaso en las Islas Canarias, pudiendo ser aprovechado para el almacenamiento en acuíferos, así como el beneficio de la actividad agrícola, que ha de recordarse, que es un importante factor en la economía de la zona.

Asimismo, cabe destacar en este aspecto, que la impermeabilidad de la zona se observa muy localizada en las superficies edificadas, que como se ha ido mencionando, ocupan tan solo una quinta parte del terreno de estudio. A pesar del planteamiento inicial, donde se estimaba que la zona debería de presentar un alto grado de permeabilidad, por ser una zona agrícola, se observa, que las zonas que han sido tratadas de la mano del ser humano consumen de manera irreversible el recurso en estudio. Esto es, las edificaciones erigidas no se han alzado teniendo en mente unas buenas prácticas en el planeamiento urbanístico.

También, es importante volver a recalcar que, a la hora de realizar un estudio, es importante buscar las fuentes apropiadas en escala, fiabilidad y actualización, puesto que solamente teniendo buena calidad en las fuentes y los productos se podrán obtener buenos resultados y conclusiones.

Finalmente, la conclusión más importante a destacar de este trabajo radica en establecer un cambio en el pensamiento a la hora de erigir nuevas ciudad o edificaciones. Se debe de construir dirigiendo nuestro razonamiento con una perspectiva sostenible a la hora de hacer ciudad. En la zona en cuestión, que resulta poco edificada, pero que podría sufrir una pronta expansión por su cercanía al centro urbano del municipio, deberá de implementarse este nuevo pensamiento. A pesar de ser una zona poco sellada, como se ha ido diciendo a lo largo de estas páginas, hay que intentar mitigar el exceso de sellado

en puntos localizados, dado que las malas prácticas, aunque sean localizadas siempre conllevan consecuencias medioambientales irreparables.

Referencias consultadas.

1. **Excelentísimo Ayuntamiento de San Cristóbal de La Laguna.** aytolalaguna. *Excmo. Ayuntamiento de San Cristóbal de La Laguna.* [En línea]
<https://www.aytolalaguna.es/ayuntamiento/el-municipio/index.html>.
2. **Comisión Europea.** European Commission & Directorate-General for the Environment. *European Commission & Directorate-General for the Environment.* 2012.
3. **García Alvarado, J.M., Pérez Gonzalez, M.E., García Rodríguez, M.P.** . Revisión del concepto del sellado del suelo. *Revisión del concepto del sellado del suelo y propuesta de tipología urbana.* Madrid : Anales de Geografía, 2014.
4. **García Rodríguez, M.P., Pérez González, M.E.** Análisis multitemporal del urbanismo expansivo en el corredor de Henares. *Análisis multitemporal del urbanismo expansivo en el corredor de Henares. Aportación de las imágenes de satélite.* Madrid : Estudios Geográficos, 2014. Vol. LXXV.
5. **Comisión de las comunidades europeas.** Comunicación de la comunicación al consejo, el parlamento, el comité económico y social y el comité de las regiones. *Hacia una estrategia temática para la protección del suelo.* Bruselas : s.n., 2002.
6. —. Comunicación de la comisión al consejo, al parlamento europeo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones. . *Estrategia temática para la protección del suelo.* . Bruselas : s.n., 2006.
7. **Parlamento Europeo y El Consejo de la Unión Europea.** *Directiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.* s.l. : Diario Oficial de la Unión Europea, 2007.
8. **ESA.** El programa Copérnico . *United Space in Europe.* [En línea] ESA.
https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/El_programa_Copernico.

9. **Ministerio de medio ambiente del Gobierno de España.** *Estrategia de medio ambiente urbano.* 2006.
10. **Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino. Gobierno de España.** *Estrategia española de sostenibilidad urbana y local.* 2011.
11. **Ministerio de agricultura, alimentación y medioambiente.** *Libro verde de sostenibilidad urbana y local en la era de la información.* Madrid : s.n., 2012.
12. **Ministerio de transporte, movilidad y agenda urbana del Gobierno de España.** Plan Nacional de Observación del Territorio. *Instituto Geográfico Nacional.* [En línea] 2017.
<https://www.ign.es/web/plan-nacional-de-observacion-del-territorio>.
13. **Gran Enciclopedia Virtual de las Islas Canarias (GEVIC).** GEVIC Natura y Cultura. *Medio Ambiente.* [En línea]
https://www.gevic.net/info/contenidos/mostrar_contenidos.php?idcomarca=1&idcon=545&idcap=97&idcat=22.
14. **Comunidad Autónoma de Canarias.** *Ley 4/2017, de 13 de julio, del Suelo y de los Espacios Naturales Protegidos de Canarias.* s.l. : BOE, 2017.
15. *How much of the world's land has been urbanized, really? A hierarchical framework for avoiding confusion.* **Zhifeng Liu, Chunyang He, Yuyu Zhou & Jianguo Wu .** 2014.
16. *Spectral identification of lighting type and character.* **Elvidge C D, Keith D M, Tuttle B T, Baugh K E.** 10, s.l. : Sensors, 2010. 3961-3988.
17. *Global distribution and density of constructed impervious surfaces.* **Elvidge C D, Tuttle B T, Sutton P C, Baugh K E, Howard A T, Milesi C, Bhaduri B, Nemani R.** 7, s.l. : Sensors, 2007. 1962-1979.
18. **European Environment Agency.** Imperviousness and imperviousness change in Europe. *EEA Europe.* [En línea] 25 de 3 de 2020. [Citado el: 1 de 6 de 2020.]
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/imperviousness-change-2/assessment>.

19. **Instituto Nacional de Estadística.** INE. *INE.* [En línea]
[https://www.ine.es/nomen2/index.do?accion=busquedaRapida&subaccion=&numPag=0&ordenAnios=ASC&nombrePoblacion=vega+lagunera+\(la\)&botonBusquedaRapida=Consultar+selecci%F3n](https://www.ine.es/nomen2/index.do?accion=busquedaRapida&subaccion=&numPag=0&ordenAnios=ASC&nombrePoblacion=vega+lagunera+(la)&botonBusquedaRapida=Consultar+selecci%F3n).
20. **Wikipedia.** La Vega Lagunera. *Wikipedia.* [En línea] 20 de Marzo de 2020.
https://es.wikipedia.org/wiki/La_Vega_Lagunera.
21. **Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana. Gobierno de España.** SIOSE. *Plan Nacional de Observación del Territorio. Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España.* [En línea] Instituto Geográfico Nacional. siose.es.
22. *Evaluación y medida del sellado de suelos en el Norte de Madrid (España).* **García Alvarado, J. M., García Rodríguez, Ma P., y Pérez González, Ma E.** Madrid : Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles , 2018, Vols. 76, 1-19. doi: 10.21138/bage.2513 .
23. **Cabildo de Tenerife.** Plan Insular de ordenación de Tenerife. *Plan Insular de ordenación de Tenerife - Título II Disposiciones Territoriales.* 2011.
24. *Mapping global impervious surface area and green space within urban environments.* **Kuang, Wenhui.** 10, Beijing : Science China Earth Sciences, 2019, Vol. 62. 1591–1606.
25. *Influence of the North Atlantic Oscillation on the Canary Islands Precipitation.* **García Herrera, Ricardo, Gallega Puyol, David, Hernández Martín, Emiliano, Gimeno Presa, Luis, Rodríguez Rivera, Pedro.** s.l. : Journay of Climate, American Meteorological Society (AMS), 2001, Vol. 14.
26. **AENOR.** *Norma UNE 1027:1995.* 1995.
27. —. *Norma UNE-EN ISO 216:2008.* 2008.

ANEXO

Código Python para la obtención de datos meteorológicos:

```
1. import requests
2. import urllib.request as request
3. import json
4. import pandas as pd
5. import xlswriter
6. from openpyxl import load_workbook
7.
8. url = "https://opendata.aemet.es/opendata/api/valores/climatologicos/inventarioe
    staciones/todasestaciones/"
9. # api url request for stations inventory
10.
11. querystring = {"api_key":"api_key_value"} #add personal key_value
12.
13. headers = {
14.     'cache-control': "no-cache"
15. }
16.
17. response = requests.request("GET", url, headers=headers, params=querystring)
18. url_json = response.json()
19. url_data = url_json['datos']
20.
21. data_response = request.urlopen(url_data)
22. encode_data = data_response.info().get_content_charset()
23. data_response = data_response.read().decode(encode_data)
24. actual_data = json.loads(data_response)
25.
26. df_estaciones = pd.DataFrame.from_dict(actual_data, orient='columns')
27.
28. df_estaciones_tenerife = df_estaciones[df_estaciones['provincia'] == 'STA.
    CRUZ DE TENERIFE'].drop(['provincia'], axis=1)
29.
30. df_estaciones_tenerife.to_excel('Estaciones.xlsx', sheet_name='Estaciones
    Tenerife', index=False)
31.
32. fechas = ['1990-01-01T00:00:00UTC', '1994-01-01T00:00:00UTC', '1998-01-
    01T00:00:00UTC', '2002-01-01T00:00:00UTC', '2006-01-
    01T00:00:00UTC', '2010-01-01T00:00:00UTC', '2014-01-
    01T00:00:00UTC', '2018-01-01T00:00:00UTC'] # dates of interest
33.
34. value = len(fechas)
35.
36. idema_estaciones = ['C439J', 'C430E', 'C459Z', 'C449C'] # stations of interest
37.
38.
39. wbkname = 'ValoresClimaticos.xlsx'
```

```

40. workbook = xlsxwriter.Workbook(wbkname)
41. worksheet = workbook.add_worksheet()
42.
43. writer = pd.ExcelWriter(wbkname, engine='openpyxl')
44.
45. writer.book = load_workbook('ValoresClimaticos.xlsx')
46.
47. reader = pd.read_excel(r'ValoresClimaticos.xlsx')
48. # copy existing sheets
49. writer.sheets = dict((ws.title, ws) for ws in writer.book.worksheets)
50.
51. for estacion in idema_estaciones:
52.     for fin in range(1, value):
53.         fechaini = fechas[fin-1] # reiterate starting dates
54.         fechafin = fechas[fin] # reiterate ending dates
55.         url_valores = "https://opendata.aemet.es/opendata/api/valores/climatolog
            icos/diarios/datos/fechaini/" + fechaini + "/fechafin/" + fechafin + "/estacion/" +
            estacion
56.         # parametrize api url request for diary climate values
57.
58.         response_valores = requests.request("GET", url_valores, headers=headers,
            s, params=querystring)
59.
60.         url_json_valores = response.json()
61.
62.         url_data_valores = url_json_valores['datos']
63.
64.         data_response_valores = request.urlopen(url_data_valores)
65.         encode_data_valores = data_response_valores.info().get_content_charset
            ()
66.         data_response_valores = data_response_valores.read().decode(encode_d
            ata_valores)
67.         actual_data_valores = json.loads(data_response_valores)
68.
69.         df_valores = pd.DataFrame.from_dict(actual_data_valores, orient='colu
            mns')
70.         sh_name = estacion + fechaini[:10] # excel workbook sheets
71.         df_valores.to_excel(wbkname, sheet_name = sh_name, index=False, head
            er=False, startrow=len(reader)+1

```

