

# Hydrological recovery of the landscape through generative design.

Fernando Rodríguez Cortés, Braulio Gatica Laurie, Rodrigo García Alvarado

Gravitacional SPA. Concepción, Chile  
fernandorodriguezarq@gmail.com; bgaticalaurie@gmail.com  
Universidad del Bío Bío, Concepción, Chile  
rgarcia@ubiobio.cl

**Abstract.** The climate crisis confronts us with global scenarios of water deficiency, which leads us to optimize rainwater harvesting (RWH) methods applied to landscapes. These are sophisticated projects with high technical investment per hectare designed and executed. Therefore, to balance the cost of engineering, through advanced digital design tools, it has become an objective to use landscape architecture as a resource for mitigating water deficit and climate change. In order to restore the relationship between the natural and built environment through virtual processing. This work exposes a new geometric analysis methodology, verified in a case study, which applies generative parametric programming to increase the water capacity of a natural landscape. This work demonstrates the potential of digital design for the ecological recovery of the territory.

**Keywords:** Smart Cities and Environments, Sustainable Design, Generative Design, Mixed realities, hydrological design.

## 1 Introducción

En los últimos años, la Organización de las Naciones Unidas ha alertado sobre cómo el cambio climático ha afectado muchos de los ciclos naturales del mundo, siendo el más preocupante la alteración del ciclo del agua (UN, 2015). Además, según indica la Oficina de Alimentos y Agricultura (FAO), actualmente, se estima que 3.600 millones de personas en el mundo viven en áreas que podrían sufrir escasez de agua, al menos un mes al año. Esta cifra podría aumentar entre 4.800 y 5.700 millones de personas en 2050, provocando un “estrés hídrico” entre usuarios y consumidores del agua (FAO, 2012).

Uno de los objetivos de la década (dentro del ODS 13) según las

Naciones Unidas, es incrementar a gran escala la restauración de los ecosistemas degradados y destruidos, como medida eficaz para luchar contra el cambio climático y mejorar la seguridad alimentaria, el suministro de agua y la biodiversidad. Enfocándonos en este objetivo investigamos desde Chile, con sus características propias, centrándonos en los variados tipos de paisajes existentes, determinando el secano interior como área de investigación práctica.

Las acciones para asegurar la recolección de aguas lluvias en los territorios implican altas inversiones de diseño y ejecución (Cortés, 2013). Sin embargo actualmente se dispone de nuevas tecnologías gráficas que permiten representar y analizar complejas topografías (Falkenmark et al, 2001). Por esta razón, el presente trabajo busca aplicar el diseño generativo en la recuperación hidrológica del paisaje, como técnica para homogeneizar el recurso hídrico de agua lluvia en un territorio geográfico determinado. (Yoemans, 1993)

Como antecedente relevante en este tema, en 1956 en Australia surgió una técnica llamada diseño hidrológico con línea clave (keyline), cuyo objetivo es aprovechar al máximo el agua de lluvia, que se distribuye por todo el terreno, permitiendo su retención e infiltración (MacDonald-Holmes, s/f). En este sentido, el diseño basado en keyline, adaptado a la agricultura, consiste en surcar el cultivo siguiendo un patrón preestablecido obtenido de la topografía del terreno mediante sus curvas de nivel. A su vez, el diseño hidrológico tiene como objetivo reducir la escorrentía del agua de lluvia, evitando la erosión y maximizando su aprovechamiento, favoreciendo su distribución e infiltración a través del suelo, buscando beneficiar la producción de los cultivos (Cortes, 2013).

Esta técnica permite optimizar la escorrentía fluvial y canalizarlas controladamente según las propiedades del paisaje, utilizando esta estrategia en un caso de estudio para comprobar el procedimiento digital, y su proyección global en todo tipo de territorios.

El diseño digital consiste a su vez en la utilización de computación gráfica e información para generar nuevos modelos de trabajo, especialmente en la producción de imágenes, productos, y edificios. Pero también se ha incrementado la utilización en el ámbito urbano y geográfico, por sus relevantes demandas ambientales e interacción con el entorno construido, que conforma un paisaje colectivo (Cantrell y Holzmann, 2016). Además estas herramientas, sustentadas en la tecnología informática, son accesibles con barreras limitadas, fomentando su difusión global. Construyendo de este modo una capacidad distribuida y aplicable con auto-formación y cooperación social (Davidova y Mc Meel, 2020). La conexión de los desafíos territoriales con la potencialidad digital, constituyen indudablemente la mayor proyección posible para mitigar la crisis ambiental y contribuir a la cohesión social (Wittenberg et al, 2018). Restableciendo además las habilidades humanas en interacción con el entorno natural.

Por otra parte el diseño generativo es un campo de estudio en el cual ha surgido una tendencia generacional dentro de la arquitectura del paisaje que promueve una forma de “autoría a distancia”, enfatizando los procesos naturales como la sucesión, la acumulación o la remediación pasiva como agentes para el diseño del paisaje (Cantrell y Holzmann, 2016), logrando ser un mediador de los procesos de diseño basados en evidencia, como premisa al momento de abordar la problemática hídrica como parte inicial en las decisiones de proyecto

Este enfoque privilegia las acciones de la biología y la geología sobre las condiciones estáticas fabricadas y en cambio, siembra estos procesos dinámicos a través de un régimen ecológico general para dar forma a las condiciones diseñadas a lo largo del tiempo (Cantrell y Holzmann, 2016) logrando dar forma a un conjunto de servicios ecosistémicos, a través de soluciones basadas en la naturaleza (Davidova y Mc Meel, 2020).

El caso de estudio corresponde a la validación técnica del ejercicio basado en las tecnologías de optimización del diseño hidrológico en terreno, con el objetivo de analizar métricas del paisaje en cuanto a la masa vegetacional antes y después de la intervención. Con el fin de verificar la capacidad de la herramienta desarrollada y refinar su aplicación, según resultados esperados de restauración ecológica del territorio.

Se definió una zona de estudio en colaboración al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, sede Quilamapu en la comuna de Ninhue (región de Ñuble, Chile), comuna que presenta una condición geográfica de vulnerabilidad hídrica debido a su condición de seco, suelos empobrecidos por un histórico de sobre explotación y malas prácticas. El sitio de la intervención es precisamente en el fundo “Los Cuarzos”, sector San José, lugar con una vocación de estudios agropecuarios

Ejecutamos esta propuesta de arquitectura del paisaje en la búsqueda de la vocación natural de cada territorio en torno a la regeneración y estudio del proceso de construcción del palimpsesto del paisaje (Gastó et al. 2012), como una expresión cultural y digital.

## **2 Metodología**

El proceso consiste en la vinculación de tecnologías de teledetección y análisis geoespacial a plataformas de diseño generativo (grasshopper 3d), las cuales sirven como herramientas para la vinculación de los distintos tipos de procesos involucrados.

Plantear una herramienta generativa expuesta a la variabilidad de terrenos existentes en la agricultura de seco en distintas partes del mundo, genera el desafío de la identificación de diversos accidentes geográficos, que los procesos de diseño actuales ocupados por profesionales para la

delimitación de una microcuenca Hidrológica (Argis, Qgis, Mapwingis), no satisfacen los requerimientos específicos necesarios para determinar una variable morfológica que se ajuste a los procesos de diseño hidrológico aplicado a diseño generativo, esto debido a que la unidad de área de una microcuenca es demasiado grande y poco específica, lo que impide establecer una ley general de relaciones topológicas en el caso de existir múltiples sistemas hidrológicos en un terreno determinado. Por esta razón se procede a establecer una unidad de paisaje menor a la microcuenca denominada “Ladera de aporte” (se entiende por unidad de paisaje el área geográfica definida por un tipo de paisaje característico) la cual es un área específica dentro de una microcuenca delimitada por su relación directa con la vertiente y parte aguas y su relación con los sistemas hidrológicos vecinos (como se ve en fig 3).

Para establecer los parámetros de programación se diseña la investigación asociada a la ejecución real del procedimiento, en una locación de secano interior como se presenta en fig 1. El cual constituye un predio dedicado al estudio científico a modo de parcela demostrativa, la cual establece las comprobaciones técnicas, criterios de obtención de datos y propuestas de diseño generativo obtenidas por los distintos algoritmos involucrados.

La propuesta se implementa a través de integrar una programación paramétrica generativa basada en el estudio hidrológico del territorio en recuperación. Comenzando mediante la selección del polígono en un ventana de Maps ( API Plataforma de Google Maps) la cual accede a descargar la topografía del terreno desde bases de datos abierta online, estas se procesan en conjunto con fotogrametrias obtenidas mediante un dron programado en terreno, obteniendo así una modelación 3d de el polígono seleccionado y su entorno más cercano.

Para determinar una “Ladera de aporte” se procede a analizar las variables geomorfológicas de los terrenos mediante el ejercicio de discernir las concavidades y convexidades de los terrenos logrando identificar los sistemas de parteaguas y vertientes, según se expresa en fig 2. identificando los ejes medios de las áreas. Concavidad y convexidades son dos variables contrapuestas las cuales no se intersectan por lo cual se procede a hacer un estudio topológico de interconexión de sistemas hidrológicos mediante la proximidad de estos logrando así segmentación de las laderas de aporte.

Una vez identificadas las laderas de aporte presentadas en fig 4. se procede al proceso de identificar en cada área su componente de parteaguas, esta al ser la parte con menos retención hídrica por su condición de convexidad se vuelve el objetivo a optimizar, sobre este eje se proyectan puntos de inicio del trazado generativo. Se efectúa el “algoritmo de pendiente controlada” el cual busca vincular la componente del parteaguas con la de de vertientes con una trazado regulador en base un avance iterativo cada 5 metros y una pendiente del 2%, asegurando así la distribución eficiente de la

escorrentía redirigiendo los flujos destinados a la vertiente hacia los parte aguas, logrando la homogeneización del recurso hídrico.

Se procede a replantear los trazados generados en terreno en puntos cada 10 metros ocupando un equipo Gps RTK que se indican en fig 4, interpolados mediante entizado sobre el terreno para posteriormente ejecutar las obras de subsolado y acanalamiento con un tractor y equipamiento agrícola tradicional, presentado en fig 5.

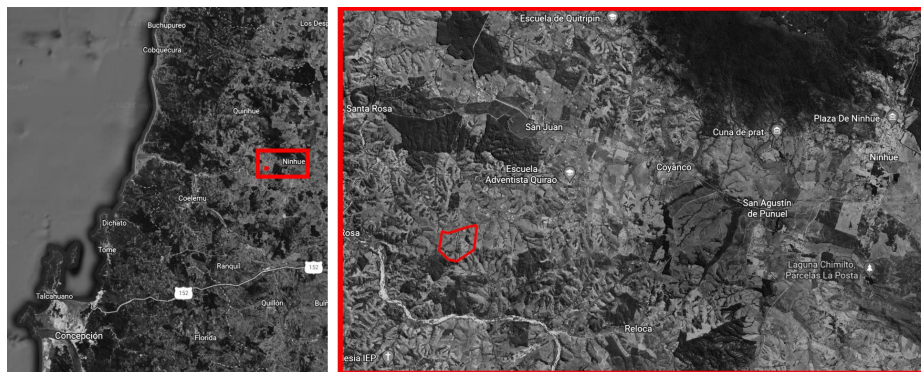
### 3 Resultados

El resultado principal de este trabajo es la validación de la metodología propuesta, a través de la ejecución en terreno de un plan de restauración diseñado generativamente (fig 5), en el “Fundo los Cuarzos”, Ninhue, Región de Ñuble en Chile. En el año 2021, se intervinieron 52 ha. a modo de validación técnica y obtención de datos.

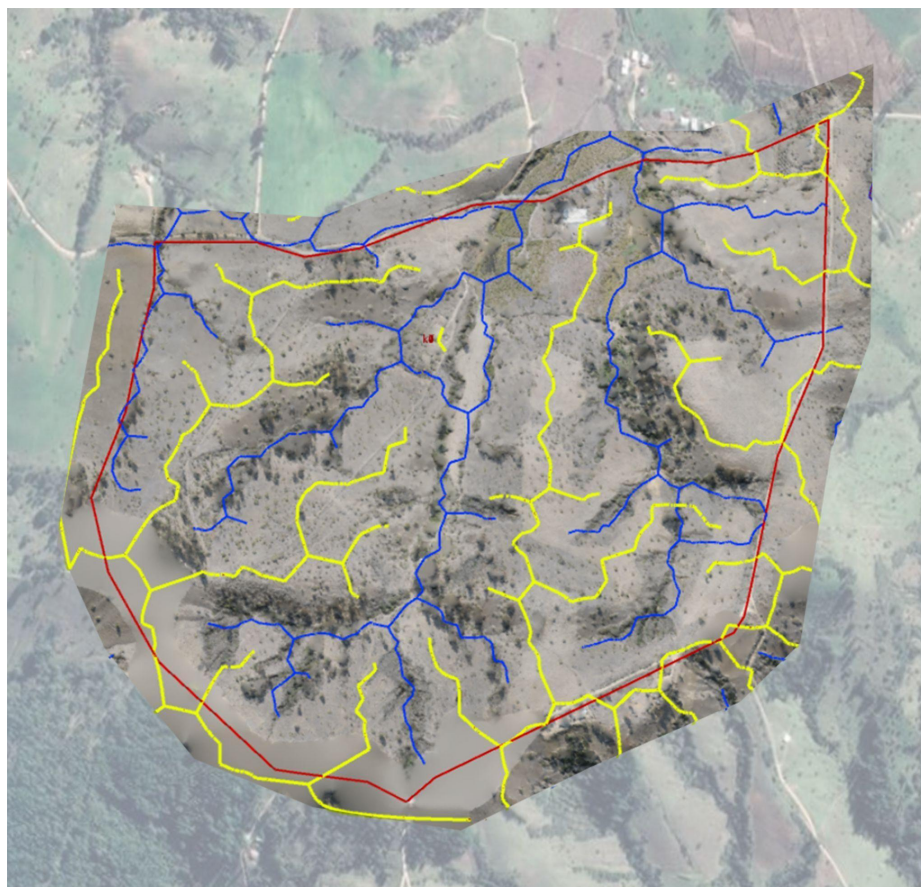
Esta experiencia permitió implementar una aplicación web la cual permite que cualquier usuario obtenga un plan de diseño hidrológico en cualquier parte del mundo dibujando un polígono en un territorio a escoger.

Los datos obtenidos de los estudios a través de teledetección satelital ocupando el NDVI como parámetro, nos permite estudiar el comportamiento de la masa vegetal derivada de la intervención permitiendo hacer seguimiento de su evolución en el tiempo, el Índice de vegetación de diferencia normalizada, también conocido como NDVI por sus siglas en Inglés, es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación. Para esto se procedió a un estudio comparativo con el propósito de evaluar el efecto del diseño hidrológico aplicado a la agricultura de secano utilizando índices de vegetación derivados de imágenes de alta resolución espacial (Nuñez, Ponce, Pulgarin. García, Reyes,López Serrano, Pablito (2021)) comparando la evolución del ndvi a través de los años anteriores a la intervención en comparación con los años posteriores a la intervención (Gráfico 1), revelando un aumento en 0.06 puntos en comparación con la media de los años anteriores resaltada por punto de inflexión del índice de vegetación en la fecha de ejecución de las obras en terreno, comprobando el resultado positivo de la intervención en la retención hídrica.

### 3.1 Figuras y Tablas

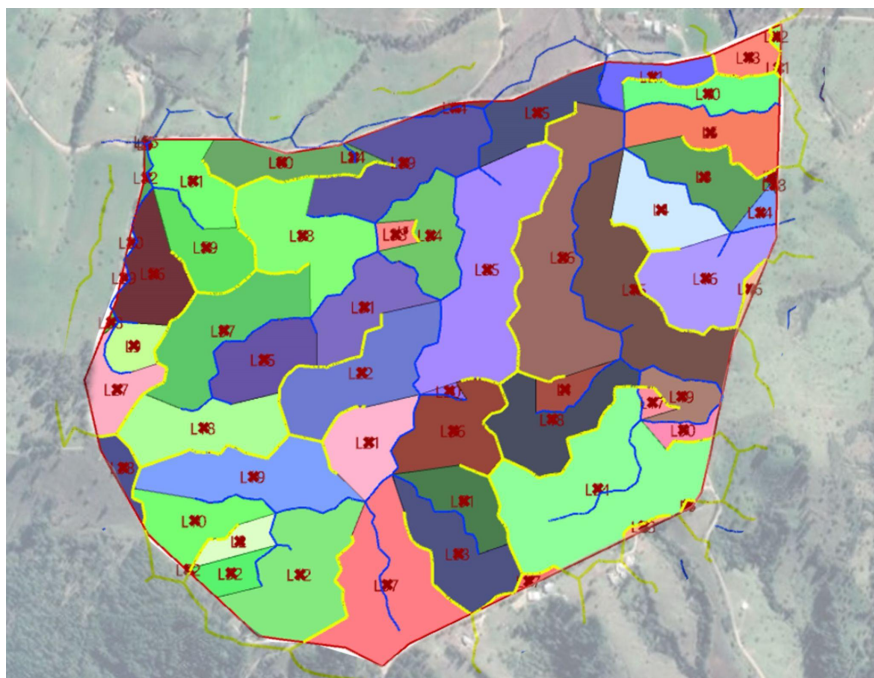


**Figura 1.** Localización geográfica: Chile, Ñuble, Ninhue, “Fundo los cuarzós”.  
Fuente: Gravitacional SPA. Año 2021

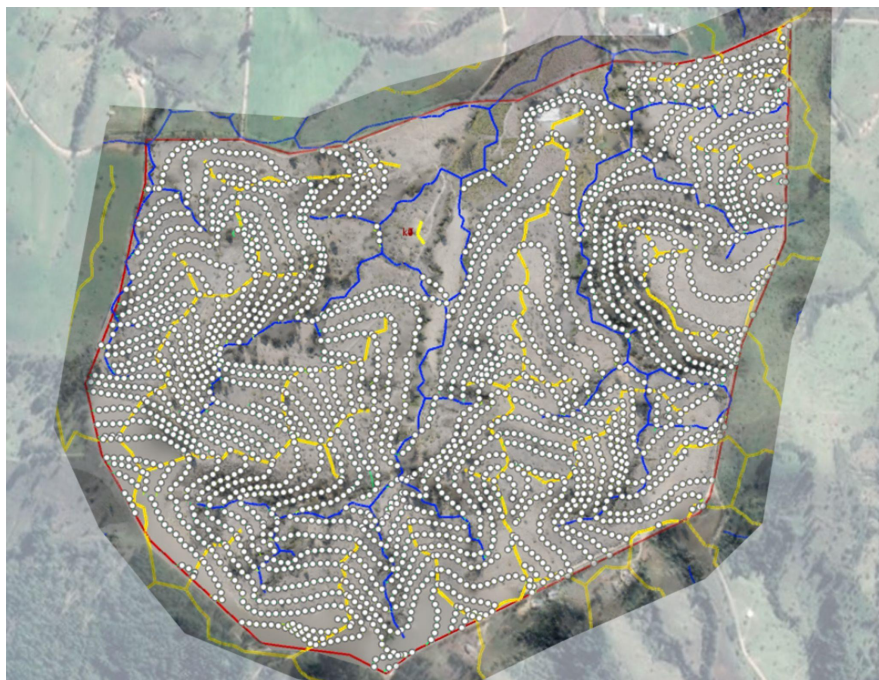


**Figura 2.** Identificación de parteaguas y vertientes. Fuente. Gravitacional SPA.  
Año 2021.





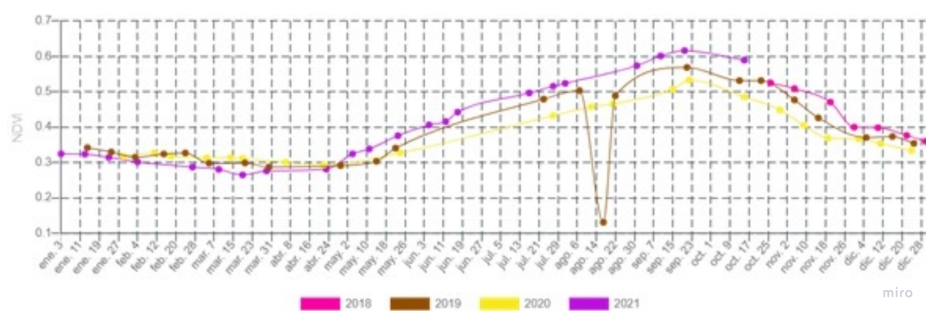
**Figura 3.** Delimitación de laderas de aporte y sistemas hídricos. Fuente. Gravitacional SPA. Año 2021.



**Figura 4.** Proyección de trazados generativos resultantes para replanteo. Fuente: Gravitacional SPA. Año 2021



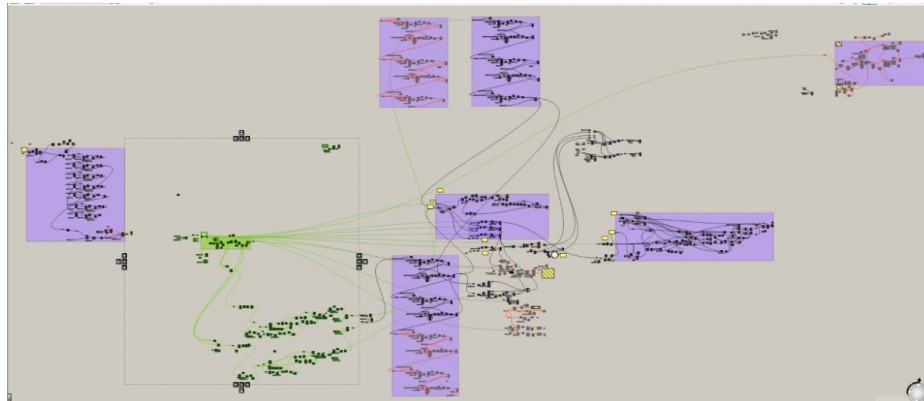
**Figura 5.** Ejecución de obras en terreno. Fuente: Gravitacional SPA. Año 2021.



**Gráfico 1.** Evolución del NDVI a través de los meses anteriores a la intervención en comparación con los meses posteriores a la intervención. Fuente: Gravitacional SPA. Año 2021



### 3.2 Programación.



**Figura 6.** Programación paramétrica general Grasshopper 3d Rhinoceros. Fuente. Gravitacional SPA. Año 2021

La implementación del proceso de diseño generativo del territorio se realizó mediante programación paramétrica visual efectuada con la herramienta Grasshopper, sobre plataforma Rhinoceros, basada en su poderosa capacidad de modelación tridimensional de superficies de doble curvatura, que permiten representar territorios complejos, como también las capacidades de definición y procesamiento de los componentes paramétricos. La programación se anida en sub-conjuntos según las etapas del proceso, con controladores abiertos para el ingreso de datos y parámetros específicos del territorio, y generación de resultados numéricos y gráficos. Esta implementación tiene la virtud de ser adaptable a diferentes casos, como también ampliar sus condiciones de trabajo y empaquetarla para futuras implementaciones avanzadas. En futuros desarrollos puede integrarse en plataformas propietarias y aplicaciones móviles para facilitar su aplicación. Como también relacionarla con herramientas de recolección automática de datos satelitales o geográficos y de visualización espacial en tiempo real, así como conexiones en línea.

## 4 Discusión

La capacidad de los algoritmos generativos en la arquitectura del paisaje, tiene un gran potencial en su desarrollo, el cual se puede ver implementado en cualquier parte del mundo gracias a la gran base de datos de todo tipo que se encuentran abiertamente a disposición. El uso de estos en la minería de datos geográficos nos permiten ejecutar grandes territorios, estableciendo potencialidades como datasets de implementaciones en inteligencia artificial. Establecer criterios de obtención de datos se hace fundamental, para poder diseñar una nueva generación de software, y establecer un camino hacia una “inteligencia artificial de restauración de paisajes a gran escala”.

La implementación de esta propuesta de recuperación hidrológica mediante diseño generativo, demostrada en un caso de estudio, evidencia prácticamente esta capacidad. Expresando una profunda vinculación entre las capacidades digitales y los desafíos ambientales, que constituyen los dilemas centrales del mundo contemporáneo. Integrando en la “arquitectura del paisaje”, la racionalización procedimental de la generación paramétrica y las cualidades ecológicas del territorio para el bienestar humano.

## Referencias:

Cantrell, Bradley & Holzman, Justine, (2016) Responsive Landscapes: Strategies for Responsive Technologies in Landscape Architecture. Ed. Routledge, DOI 10.4324/9781315757735.

Cortés, H. (2013). Manual técnico. Diseño Hidrológico del terreno (sistema keyline) en parcelas agrícolas con precipitación limitada. Jiutepec, Morelos:IMTA

Davidova, Marie & Mcmeel, Dermott. (2020). CoDesigning with Blockchain for Synergetic Landscapes: The CoCreation of Blockchain Circular Economy through Systemic Design, Proceedings of the 25th CAADRIA Conference - Volume 2, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 5-6 August 2020, pp. 333-342

Falkenmark, M, Fox, P, Persson, G & Rockström, J (2001), Recolección de agua para mejorar la agricultura de secano: análisis de problemas y necesidades de investigación, Instituto Internacional del Agua de Estocolmo(SIWI), Estocolmo.

FAO (2012) Coping with water scarcity An action framework for agriculture and food security, Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome.

Gastó, J., D. Subercaseaux, L. Vera y T. Tomic. (2012). Agriculture and Rurality as Constructor of Sustainable Cultural Landscape. Evolution, 1, 4.

MacDonald-Holmes, J. (s/f), The Geographical and Topographical Basis of Keyline, 47 pp.

Núñez G, Ponce M., Pulgarin M. García E., Reyes O. y López Serrano, Pablito (2021)1- Evaluation of a Hydrological Design Applied to Rainfed Agriculture Using Vegetation Indexes, en Modern Environmental Science and Engineering ISSN: 233-2581

United Nations (2015) Water and Sustainable Development From vision to action, Report of the 2015 UN-Water Zaragoza Conference.

Wittenberg K, Glasser S, Kirchhoff A, Morrissey S and Orphan S. (2018) Challenges and opportunities in the evolving digital preservation landscape: reflections from Portico, Insights, 31: 28, 1–8; DOI: <https://doi.org/10.1629/uksg.421>

Yeomans, P. A. (1993), Water for Every Farm. Yeomans Keyline Plan, Griffin Press Pty Limited, Netley, South Australia.