

Ciclo de vida y curvas en S aplicadas al cultivo de amaranto (*Amaranthus* spp.)

Life Cycle and S-curves Applied to the Literature on *Amaranthus* Spp. Cultivation

Miguel A. García Parra ¹, Héctor A. De la Cruz-
Cruz ², y Nubia Z. Plazas-Leguizamón ³

Recibido: 26 de marzo de 2019

Aceptado: 19 de junio de 2019

Cómo citar / How to cite

M. A. García-Parra, H. A. De la Cruz-Cruz., N. Z. Plazas-Leguizamón, "Ciclo de vida y curvas en S aplicadas al cultivo de amaranto (*Amaranthus* spp.)", *TecnoLógicas*, vol. 22, no. 46, pp. 61-76, 2019. <https://doi.org/10.22430/22565337.1287>



- ¹ Ingeniero Agropecuario, Grupo de Investigación Agricultura, Organizaciones y Frutos AOF, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad del Cauca, Popayán-Colombia, miguelgarciap@unicauca.edu.co
- ² Médico Veterinario Zootecnista, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México- México, delacruz@umam.mx
- ³ Ingeniera agrónoma, Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales, Fundación Universitaria Juan de Castellanos, Tunja-Colombia, nplazas@jdc.edu.co

Resumen

Con el objetivo de evaluar las investigaciones desarrolladas en torno a la ecofisiología y el potencial alimentario de las semillas de amaranto, se realizó un proceso de vigilancia tecnológica a través del estudio del ciclo de vida de la producción bibliográfica, obtenida de documentos publicados en la base de datos Scopus, a través de curvas en S en relación con investigaciones encaminadas a la producción primaria, la interacción con las condiciones climáticas y su potencial agroindustrial. La información se analizó utilizando el paquete estadístico Sigmaplot, y la ejecución de 13 modelos junto con la aplicación de parámetros estadísticos como el R^2 ajustado en relación al tiempo (t), la significancia (P) y la independencia de Durbin Watson, permitió calcular el punto de inflexión. Este se dio entre 2014 y 2038, según la serie de datos de artículos para el cultivo de amaranto; de 2017 a 2024 para el amaranto como alimento; y entre 2017 a 2018 para el clima de amaranto; lo que indica que en cada uno de los casos, el ciclo de vida se encuentra en fase entrante, clave y madura respectivamente y junto con las palabras clave asociadas a las ecuaciones de búsqueda, evidencian el interés agroindustrial, a partir de enfoques académicos, científicos y de innovación, para el fortalecimiento de líneas de investigación, proyectos de alto nivel y creación de *spin-off*.

Palabras clave

Amaranto, proteína vegetal, punto de inflexión, vigilancia tecnológica, curvas en S.

Abstract

In order to evaluate the research developed around the ecophysiology and the food potential of amaranth seeds, a process of technological surveillance was done through the life cycle of the bibliographic production, obtained from documents published in the database, was studied. Scopus, through S-curves in relation to research aimed at primary production, the interaction with climatic conditions and their agro-industrial potential. The information was analyzed using the Sigmaplot statistical package, and the execution of 13 models together with the application of statistical parameters such as the adjusted R^2 in relation to time (t), significance (P) and independence of Durbin Watson, allowed calculating the inflection point. This occurred between 2014 and 2038, according to the series of data of articles for the cultivation of amaranth; from 2017 to 2024 for amaranth as food; and between 2017 to 2018 for the amaranth climate; which indicates that in each of the cases, the life cycle is in the incoming, key and mature phase, respectively, and together with the keywords associated with the search equations, they show the agro-industrial interest, based on academic, scientific approaches and innovation, to strengthen research lines, high-level projects and spin-off creation.

Keywords

Amaranth, vegetable protein, inflection point, technological surveillance, S-curve.

1. INTRODUCCION

El sector productivo, incluidos los subsectores agrícola, agroindustrial y biológico, necesitan de análisis, difusión y exploración de información académica y científica, con el fin de generar la permanencia e innovación, a través del análisis del ciclo de vida bibliográfico y de Vigilancia Tecnológica (VT), que se estudian con la selección y organización de la información para analizarla, difundirla y comunicarla, con el fin de transformarla en conocimiento que aporte a los cambios y toma de decisiones [1].

En este sentido, el ciclo de vida de una tecnología de búsqueda o área en particular es el proceso de desarrollo expresado por cualquier producto o servicio durante un periodo determinado, influenciado por factores de mercado y consumo. Este puede encontrarse: emergente, entrante, clave, maduro o en

declive, de acuerdo con parámetros estadísticos de normalidad, homogeneidad e independencia, que validan junto con el ajuste de la curva el punto de inflexión, determinantes en la toma de decisiones para la construcción de propuestas de investigaciones, trabajos de maestría y doctorado, así como de proyectos estratégicos o desarrollo de empresas de *spin-off* [2].

Una de las principales herramientas que facilita la organización y proyección de la información a través del seguimiento de ciclo de vida son las curvas en S [3]-[4]. Este proceso de construcción de regresiones no lineales muestran, a través de los ejes en función del tiempo y el número de publicaciones, las áreas estratégicas a abordar en el desarrollo de nuevas tecnologías [2], [5], mostrando así el estado de evolución expresado en las fases del paradigma o la tecnología en la Fig. 1.

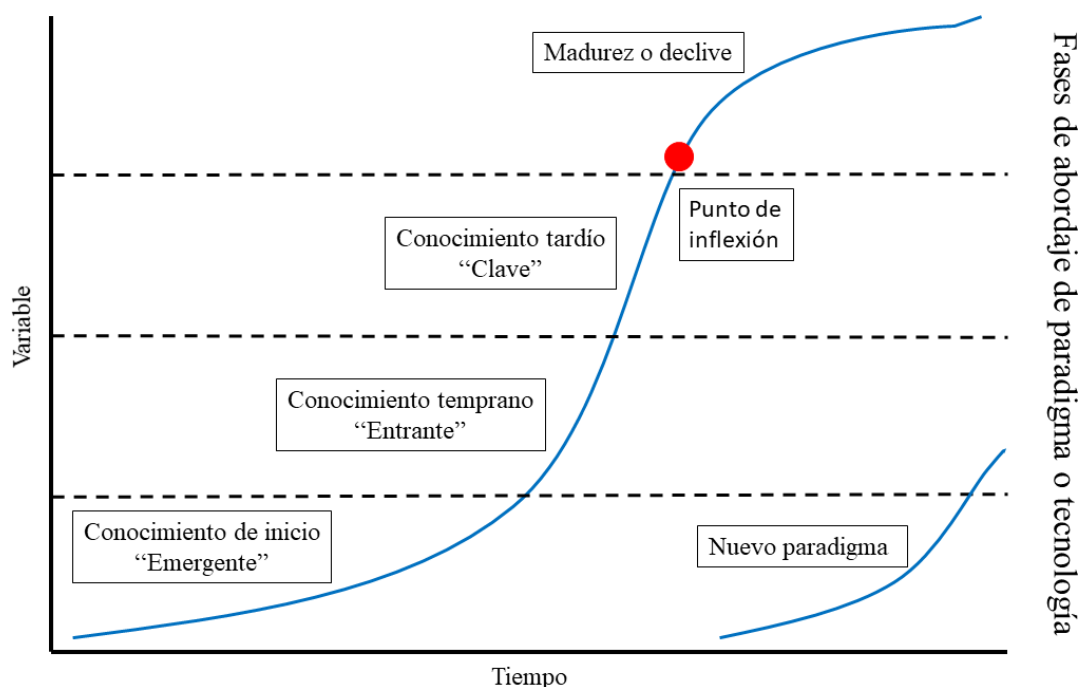


Fig. 1. Diagrama de desarrollo del ciclo de vida como herramienta para la vigilancia tecnológica.
Fuente: autores, adaptado de [6], [7].

Paralelo al reconocimiento e identificación del estado de desarrollo de dicha tecnología, se ha logrado observar que a partir del punto de inflexión, la teoría del nacimiento de un nuevo paradigma, se da al momento de la madurez o el declive, como necesidad a la especialización o generación de nuevo conocimiento, que permita fortalecer o responder a problemáticas de las diferentes disciplinas del conocimiento, presentes y expuestas en las bases de datos a través de artículos, conferencias, libros, resúmenes, notas y patentes [8], [9].

Al respecto, surge el interés de evaluar el estado del ciclo de vida del cultivo de amaranto a través de curvas en S en la base de datos Scopus, con el fin de identificar las áreas óptimas de investigación a través de los puntos de inflexión, así como los países de mayor aporte científico y las palabras clave asociadas a publicaciones para esta especie, con el fin de aportar a las líneas de investigación, proyectos de maestría y doctorado que busquen fortalecer el área de producción del cultivo, mediante la proyección social del conocimiento científico que brinde alternativas a la mitigación de los efectos del cambio climático.

Este tema ha generado interés, debido a que el amaranto es una especie vegetal perteneciente a la familia de *Amaranthaceae*, cuyas características de producción y consumo de semillas, se han extendido por todo el continente americano, así como en países europeos y asiáticos [10], [11]; esto debido a que según la NASA, las especies *A. cruentus*, *A. caudatus* y *A. hypochondriacus* son reconocidas por el alto contenido de lisina, ácido linoleico y ácido esteárico, además de carbohidratos aptos para la formación de alimentos con cualidades fisicoquímicas y reológicas [12], [13].

Dentro de los países en orden de producción de este pseudocereal, se encuentra China, seguido de India y

Estados Unidos, de igual manera Argentina, Perú, México, Bolivia y Ecuador [14], en donde se ha propuesto como alternativa para la seguridad y soberanía alimentaria [15], [16]; debido a su capacidad de resistencia a heladas, cambios de temperatura y estrés hídrico, que permite su adaptación en condiciones adversas de clima y suelo [17], [18].

2. METODOLOGÍA

La metodología se desarrolló en las siguientes fases:

2.1 Selección y organización de los datos

Mediante el uso de ecuaciones de búsqueda, se organizaron los artículos presentes en la base de datos Scopus en temas de la producción primaria de amaranto y su relación con investigaciones en torno al cultivo, la elaboración de alimentos y la interacción con el clima (Tabla 1), de manera que se pudieran organizar los datos obtenidos por año y su acumulado durante el ciclo de investigación de cada una de las ecuaciones (Tabla 2).

Tabla 1. Ecuaciones de búsqueda. Fuente: autores.

Ecuaciones de búsqueda
(Amaranthus) (limit-to (doctype, "ar))
(Amaranthus and crop) and (limit-to (Doctype, "ar))
(Amaranthus and food) and (limit-to (Doctype, "ar))
(Amaranthus and climate) and (limit-to (Doctype, "ar"))

2.2 Construcción de las curvas en S

Los datos de la columna de acumulación de artículos fue ingresada al software Sigmaplot, utilizando los modelos descritos por el programa: sigmoideas 3-4-5 parámetros, logísticos 3-4 parámetros, Weibull 4-5 parámetros, Gompertz 3-4 parámetros, Hill 3-4 parámetros y

Chapman 4-5 parámetros, siguiendo la metodología propuesta por [19].

2.3 Evaluación de cada uno de los modelos

De acuerdo con los resultados obtenidos, se analizó el punto de inflexión, según los valores del desempeño de la función en el tiempo (t) y la significancia (p). Los modelos que presentaron valores de $-2 < t < 2$ y $p < 0,0001$ fueron tomados como regresiones no lineales válidas, y para cada uno de ellos se permitió corroborar el punto de inflexión junto con

el valor de R^2 ajustado de mayor proximidad a la unidad y el valor de independencia de Durbin Watson que presentara cercanía a 2 [20].

Además, se realizó un análisis de relación entre las palabras clave de mayor importancia y su asociación con cada una de las ecuaciones de búsqueda, analizándose en contextos de la producción de amaranto y su enfoque como cultivo, interés alimentario y agroindustrial, así como su interacción con las condiciones agroclimáticas.

Tabla 2. Series de datos de artículos acumulados para cultivo, alimento y clima en relación con amaranto. A-C: cultivo de amaranto. A-F: alimento de amaranto. A-Cl: clima para amaranto. Fuente: autores.

AÑO	A-C	A-F	A-Cl				
1959	3	-	-	1989	7	9	1
1960	1	-	-	1990	1	7	0
1961	1	-	-	1991	6	7	0
1962	0	-	-	1992	9	5	0
1963	0	-	-	1993	8	6	0
1964	1	-	-	1994	2	6	0
1965	0	-	-	1995	11	13	2
1966	2	-	-	1996	28	16	0
1967	0	-	-	1997	23	14	0
1968	1	1	-	1998	18	21	2
1969	0	0	-	1999	25	10	2
1970	1	1	-	2000	35	15	1
1971	0	0	-	2001	22	10	1
1972	0	0	-	2002	29	18	2
1973	0	1	-	2003	38	20	0
1974	0	0	-	2004	46	25	1
1975	1	1	-	2005	53	25	2
1976	2	1	-	2006	69	25	2
1977	1	0	-	2007	64	42	1
1978	3	4	-	2008	69	30	1
1979	1	4	-	2009	85	41	0
1980	0	4	-	2010	75	40	6
1981	1	2	-	2011	88	38	4
1982	6	1	1	2012	80	49	3
1983	3	1	0	2013	86	56	6
1984	5	2	0	2014	60	41	4
1985	3	7	0	2015	99	73	5
1986	7	3	0	2016	101	59	1
1987	8	10	0	2017	102	44	1
1988	5	6	0	2018	69	35	6

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La producción de amaranto ha sido por muchos años una estrategia alimentaria de impacto social y cultural, lo que ha generado que países como China, India, Estados Unidos, Argentina, Perú, México, Bolivia y Ecuador sean los mayores productores de este pseudocereal; aspecto que se refleja en el interés académico y científico de sus semillas desde la primera publicación en 1912 según la base de datos Scopus (Tabla 3).

De acuerdo con el número de publicaciones en revistas de impacto mundial, se ha logrado evidenciar el aporte al conocimiento frente a su importancia para la producción agroecológica, la elaboración de alimentos y como estrategia promisoría de capacidad adaptativa a los efectos del cambio climático, dada sus características de rusticidad genética, fisiológica y metabólica.

Tabla 3. Número de publicaciones (artículos) por países. Analizados en un periodo de tiempo de 106 años. Fuente: autores.

País	Número de publicaciones
Estados Unidos	869
India	394
China	382
México	261
Japón	232
Argentina	163
Brasil	155
Alemania	134
Polonia	125
Reino Unido	120
Canadá	109

Por esta razón, Estados Unidos es el país con mayor número de publicaciones, desarrolladas principalmente por la Universidad de Arkansas, la sección de investigaciones y servicios del Departamento de Agricultura USDA y la Universidad estatal del norte de California; estos centros de investigación,

enfatan los estudios en la erradicación de arvenses pertenecientes a este género que afectan cultivos de interés agronómico como el maíz (*Zea mays* L.) y algodón (*Gossypium hirsutum* L.) [21], [22]. Además, en Argentina el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y la Universidad de la Plata, se han enfocado en el desarrollo de capacidades agroindustriales y nutricionales del grano [23], [24], seguidos de la Universidad de Sao Pablo, Brasil, y la Academia de ciencias en China, que han tenido como prioridad durante los últimos años, la evaluación de la resistencia del amaranto al glifosato, características de interés biológico para el desarrollo de cruces genéticos interespecíficos [25], [26].

Además, los artículos evaluados a través de las áreas estratégicas de mayor número de publicaciones se encuentran en ciencias biológicas y de la agricultura, ciencias químicas, biología molecular y genética, así como la medicina, el desarrollo rural y social (Tabla 4).

Tabla 4. Áreas con mayor número de publicaciones (artículos). Analizados en un periodo de tiempo de 106 años. Fuente: autores.

Área	Número de publicaciones
Agricultural and Biological Science	2330
Chemistry	848
Biochemistry Genetics and Molecular Biology	822
Medicine	514
Environmental Science	440
Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics	321
Chemical Engineering	290
Engineering	257
Materials Science	172
Immunology and Microbiology	154
Nursing	142
Physics and Astronomy	101
Social Science	67
Earth and Planetary Sciences	59

3.1 Cultivo de amaranto

El estudio del amaranto ha permitido potencializar especies que cuentan con alto valor nutricional y resistencia a factores ambientales adversos. Sin embargo, la fácil adaptabilidad de algunas especies de la familia *Amaranthaceae* han sido evaluadas como materiales de patrón genético, que pueden ser donadoras de genes de resistencia agroclimática a otras especies de interés agrícola, así como la adaptabilidad a condiciones difíciles de suelo, estrés hídrico y desarrollo en climas que van desde los 0 hasta los 4000 m.s.n.m. [27]–[29].

La ecuación de búsqueda que relacionó las palabras amaranto y cultivo se analizó mediante 13 modelos de regresión no lineal, obteniendo puntos de inflexión entre el año 2014 y 2038, con R^2 ajustado y superior al 99 % para 5 modelos (Tabla 5).

De acuerdo con los datos obtenidos en la regresión no lineal, 5 de los trece modelos se ajustaron a valores de t mayor a 2 y menor que -2, con p valor menor a 0,0001 para sigmoidal 3-4-5 y Gompertz 3-4. Sin embargo, de acuerdo con el estadístico de Durbin Watson, los valores que más se acercan a 2 son sigmoidal 4 y 5, lo que concuerda con los análisis del ciclo de vida a través de curvas en S elaborados para la *C. quinoa* (Fig. 2), especie que también perteneciente a la familia *Amaranthaceae* [30].

Según el punto de inflexión de esta fórmula de búsqueda, y de acuerdo con los

resultados obtenidos para este modelo, se puede afirmar que es un área entrante, que para [31], [32], es el momento óptimo para desarrollar propuestas que aporten a mantener el paradigma a través de la generación de proyectos de investigación, desarrollo, innovación, creación de empresas y tomar decisiones.

3.2 Alimento de amaranto

Las características nutricionales de esta semilla han permitido que se profile como una de las principales alternativas de nutrición humana, a causa de las cualidades composicionales relacionadas con la proteína (14 %), grasa (2,5 %) y fibra (16 %) [15], [33], [34], así como los altos contenidos de lisina, que le permite posesionarse junto con *Chenopodium quinoa* Willd. (*Amaranthaceae*), como cultivo promisorio y alternativa de seguridad alimentaria para diferentes regiones del mundo [35], [36].

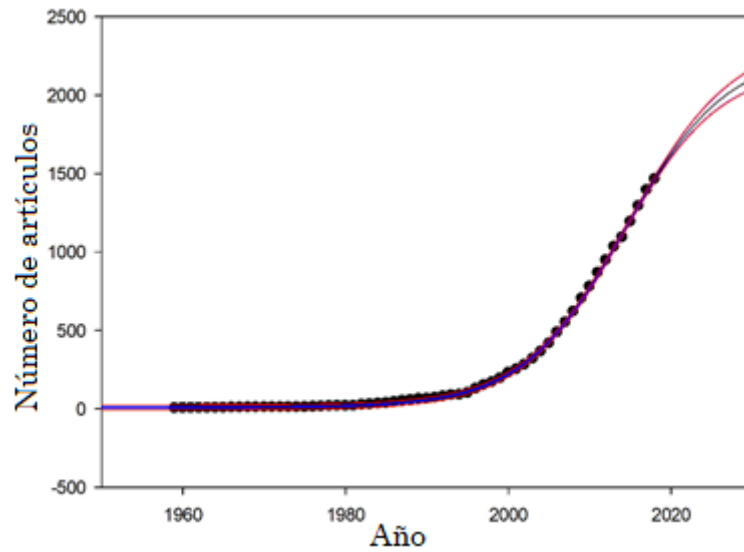
De acuerdo con los datos obtenidos (Tabla 6), se observa que los modelos de regresión no lineal sigmoidal 3-4-5, se ajustan a los parámetros estadísticos establecidos, con puntos de inflexión entre los años 2017 y 2024, lo que determina que es un área en conocimiento que ha aumentado el número de publicaciones durante los últimos años. Sin embargo, se evidenció que sigmoidal 4 y 5, muestra el mejor ajuste para R^2 y Durbin Watson (cercano a 2) (Fig. 3).

Tabla 5. Modelos de regresión no lineal para la ecuación ATK (*Amaranthus* AND crop) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar)), analizados en un periodo de 59 años. Fuente: autores.

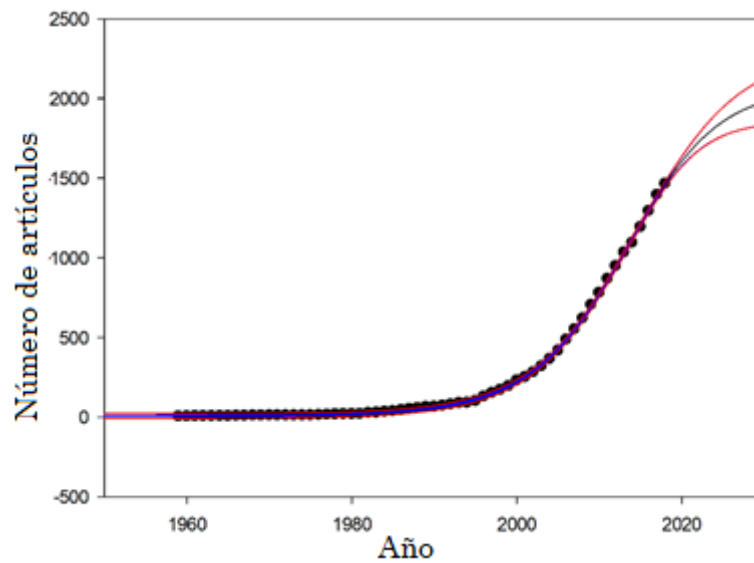
Modelo	Punto de inflexión	R^2 ajustado	Valor t	Valor $t(a)$	Valor $t(b)$	Valor p	Durbin Watson
Sigmoidal 3	2015	0,9994	5781,8	38,246	69,920	0,0001	0,4769
Sigmoidal 4	2014	0,9996	7457,7	47,231	72,266	0,0001	0,7306
Sigmoidal 5	2015	0,9996	5398,0	18,997	9,743	0,0001	0,7903
Gompertz 3	2038	0,9982	475,9	4,772	13,320	0,0001	0,2425
Gompertz 4	2028	0,998	833,2	7,524	16,942	0,0001	0,3306

Tabla 6. Modelos de regresión no lineal para la ecuación: TAK “(Amaranthus AND food) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, “ar”))”, analizados en un periodo de 50 años. Fuente: autores.

Modelo	punto de inflexión	R2 ajustado	Valor t	Valor t(a)	Valor t(b)	Valor p	Durbin Watson
Sigmoidal 3	2022	0,9991	1877,1	13,534	52,566	0,0001	0,7118
Sigmoidal 4	2024	0,0992	1154,8	8,517	33,069	0,0001	0,8680
Sigmoidal 5	2017	0,9997	11387,8	55,304	4,789	0,0001	1,1134



(a) Sigmodal-4



(b) Sigmodal-5

Fig. 2. Curva en S de mejor ajuste estadístico para artículos de la ecuación ATK (Amaranthus AND crop). Fuente: autores.

De acuerdo con [37], los puntos de inflexión que se estiman a través de análisis de regresiones, permiten evaluar el momento en el cual, una tecnología se proyecta para modificarse o especializarse, lo que concuerda con lo expuesto por [6], quienes evaluar las tecnologías o áreas de conocimiento emergentes, entrantes, claves y maduras.

Conforme a lo anterior, el punto de inflexión para ésta área del conocimiento

(*Amaranthus* AND food) según [2], corresponde a proyecciones en estado clave, con predominios de especialización del conocimiento, así como punto óptimo para desarrollar procesos de innovación en el área agroindustrial y el fortalecimiento de las propiedades nutricionales para la formulación de alimentos con capacidad funcional [38], [39].

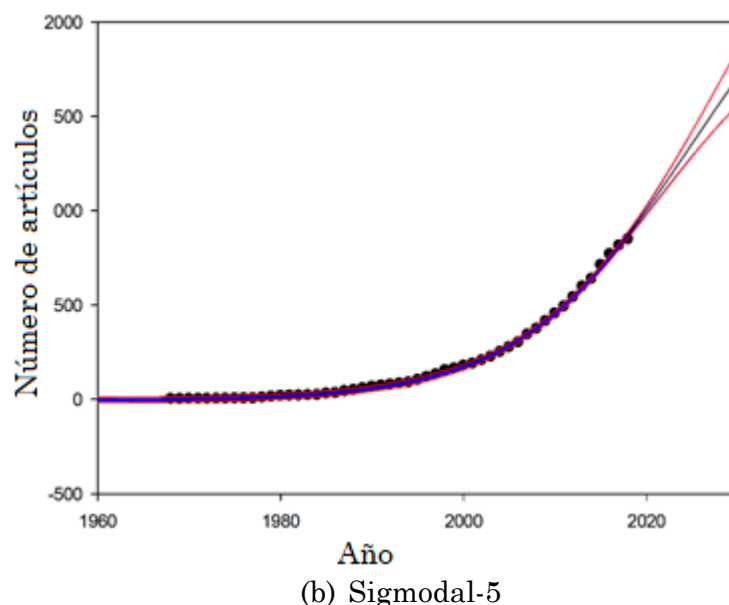
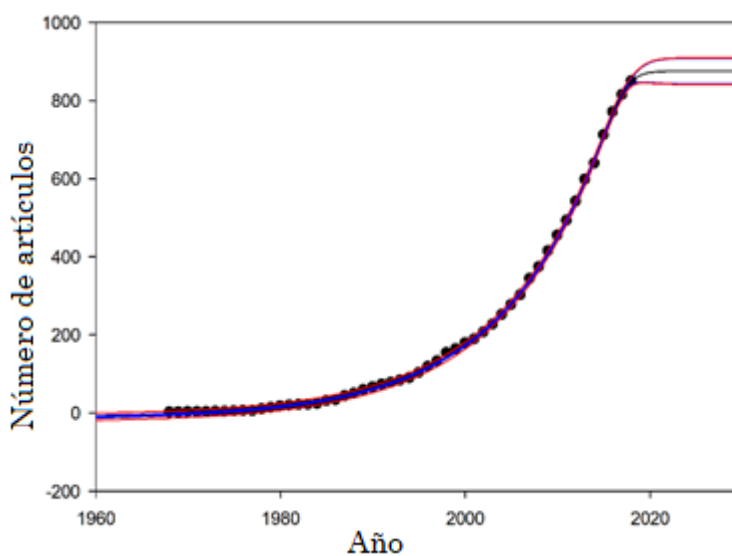


Fig. 3. Curva en S de mejor ajuste estadístico para artículos de la ecuación ATK (*Amaranthus* AND food).
Fuente: autores.

3.3 Clima para amaranto

Uno de los grandes desafíos en la actualidad para la agricultura, es el cambio de las condiciones climáticas, como consecuencia de actividades antrópicas y fenómenos naturales, lo que ha generado modificaciones en el ciclo bimodal de precipitaciones en zonas tropicales y subtropicales, oscilaciones fuertes de temperatura y cambios en las características y condiciones del suelo. Sin embargo, cualidades como la adaptabilidad de algunas especies de la familia Amaranthaceae, permiten que ésta logre colonizar zonas de difícil laboreo agronómico y convertirse en una alternativa de desarrollo en condiciones adversas.

Según los datos obtenidos (Tabla 7), los modelos sigmoidales 3-4 y logístico 4, presentaron los mejores ajustes para la regresión de curva en S, con proyección de R^2 mayor a 99 % y p menor a 0,0001; así como puntos de inflexión entre el año 2017 y 2018, no obstante, dos modelos presentaron el mejor valor para el parámetro de independencia (0,853) (Fig. 4).

De acuerdo con los modelos sigmoidal 4 (A) y logístico 4 (B), el punto de inflexión evidencia la aparición de nuevos paradigmas y áreas de investigación. Sin embargo, esto se refleja en tanto que el enfoque de investigaciones en torno al clima y la producción del amaranto ha sido

desarrollado principalmente por Estados Unidos, donde se ha evaluado el impacto de esta especie como principal amenaza (*arvense*) para la producción de cultivos intensivos de interés alimentario e industrial, dado a que las épocas agroambientales de siembra influyen en la relación cultivo-arvense [40], lo que superpone investigaciones que tienen como objetivo, resaltar la adaptabilidad edafoclimática del amaranto.

Esto, concuerda con investigaciones desarrolladas por centros de investigación argentinos, que evalúan la capacidad de resistencia a condiciones adversas de clima y suelo sobre las potencialidades alimentarias del amaranto y la resistencia a los efectos del cambio climático en condiciones de difícil adaptabilidad [41], [42].

Los resultados del análisis de ciclo de vida bibliográfico del amaranto, en relación con el clima y como alternativa alimentaria, reflejan que este pseudocereal es una fuente proteica de gran interés agroindustrial [43], lo que le ha permitido diseminarse por todo el mundo, siendo parte integral de la dieta de diferentes civilizaciones; al tiempo que ha desempeñado un papel fundamental en la construcción de estrategias para la adaptabilidad a las condiciones edafoclimáticas de zonas agrarias específicas.

Tabla 7. Modelos de regresión no lineal para la ecuación: TAK "(Amaranthus AND climate) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")), analizados en un periodo de 36 años. Fuente: autores.

Modelo	punto de inflexión	R2 ajustado	Valor t	Valor t(a)	Valor t(b)	Valor p	Durbin Watson
Sigmoidal 3	2018	0,9923	995,5	6,210	16,427	0,0001	0,0500
Sigmoidal 4	2017	0,9996	771,6	4,683	9,492	0,0001	0,8530
Logístico 4	2017	0,9920	756,0	4,610	-9,475	0,0001	0,8523

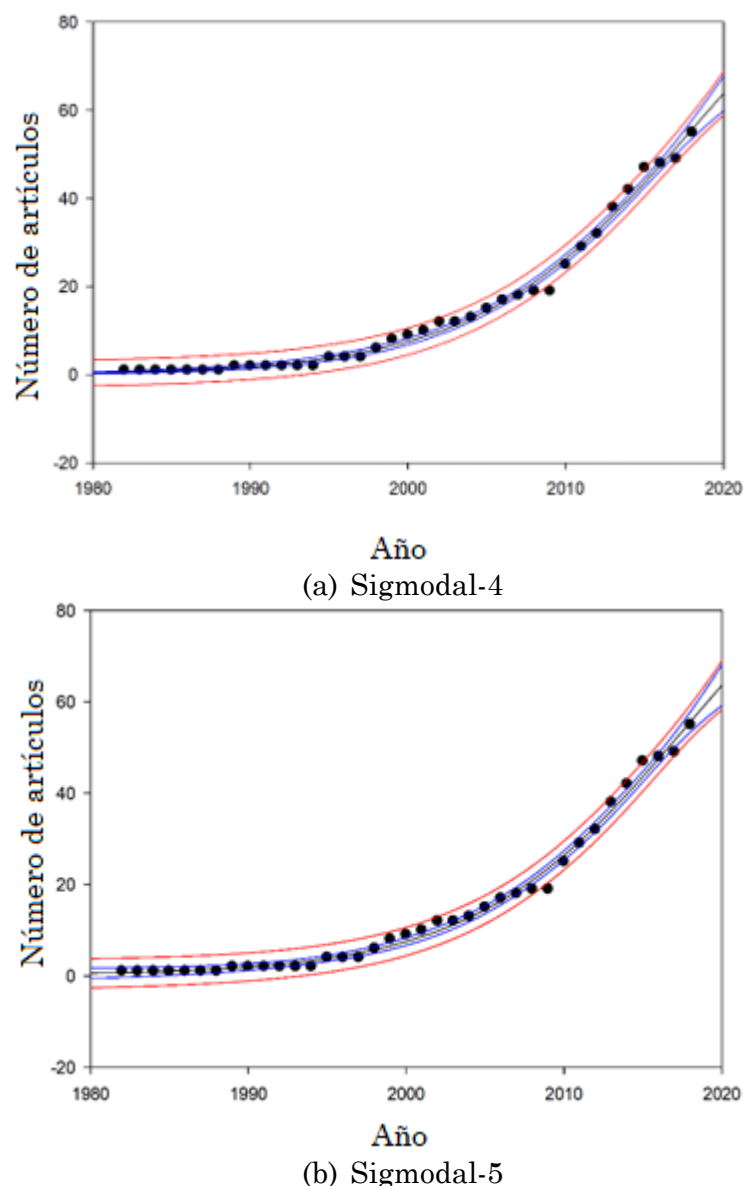


Fig. 4. Curva en S de mejor ajuste estadístico para artículos de la ecuación ATK (*Amaranthus* AND climate).
Fuente: autores.

En la Tabla 8, las palabras clave de mayor relación e interés en los artículos publicados para la relación cultivo de amaranto, según la base de datos Scopus, son control de arvenses, maíz (*Zea mays*) y herbicidas; esto resalta los avances que han realizado instituciones y universidades principalmente norteamericanas, en relación con el control de especies de la familia *Amaranthaceae*, ya que desarrollan gran adaptabilidad a diferentes condiciones y ponen en riesgo la producción

de algunos cereales [44]. Para esto, han evaluado el efecto de diferentes ingredientes activos (herbicidas) en el manejo y control de estas especies que aumentan la competitividad por luz, agua y nutrientes. Por el contrario, países como Argentina y México han aportado al fortalecimiento de la producción de amaranto, por su estrecha relación con especies del género *Chenopodium* y principalmente de *C. quinoa* [45].

Tabla 8. Palabras clave de mayor uso en las fórmulas de búsqueda en Scopus. Fuente: autores.

Cultivo: amaranto		
Cultivo	Alimento	Clima
Weed control	Chemistry	Climate change
Zea mays	Food analysis	<i>A. retroflexus</i>
Herbicide	Metabolism	<i>A. caudatus</i>
Crop yield	Nutritive value	Biomass
Chenopodium	Plant protein	Carbon dioxide

Respecto al valor nutricional, las palabras de mayor uso para la relación de búsqueda de amaranto como alimento fueron: química, análisis de alimento, metabolismo y valor nutricional. Esto permite describir el desarrollo académico y científico establecido en torno a las semillas de esta planta, así como su mayor proporción proteica, en comparación al maíz (*Zea mays*), arroz (*Oryza sativa* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.) [46], [47]. Además, las palabras en relación con la tercera ecuación de búsqueda, permiten reconocer el papel de especies con características de rusticidad fisiológica a las condiciones de cambio climático, encontrando que especies como *A. caudatus* y *A. retroflexus*, expresan adaptabilidad a factores edafoclimáticos adversos, aportando así a la captura de CO₂, que es transformado en biomasa y retornado al ciclo natural del carbono [48], [49], [50].

Por esta razón de acuerdo con [51], la relación entre áreas del conocimiento para un tema específico de evaluación académica y científica, permiten que los ciclos de vida aporten a las oportunidades para la generación de innovaciones incrementales o radicales, cuyo propósito concuerda con la evaluación del ciclo de vida bibliográfico para esta especie vegetal de interés agronómico, alimentario, industrial y climático.

Así, el uso de herramientas bibliométricas que facilitan la medición de los aportes a las investigaciones desde la construcción de regresiones no lineales

(curvas en S), han contribuido con muy buenos resultados en áreas de interés administrativo, financiero y comercial, dadas las proyecciones que esta metodología permite realizar [3][6]. Por esta razón, acoplar herramientas que favorezcan el desarrollo del sector agropecuario, se convierte en una estrategia intrínseca entre los sistemas de producción y la comunidad académica.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo con el comportamiento de las publicaciones respecto a la producción de artículos, el área de conocimiento de amaranto, como cultivo, presenta puntos de inflexión tanto superiores e inferiores que reflejan la necesidad de fortalecer el desarrollo académico y científico que integren la producción del cultivo sostenible de amaranto como principal alternativa para la adaptabilidad a los efectos del cambio climático, principalmente en zonas tropicales y subtropicales, así como en zonas europeas y asiáticas.

Además, para la relación entre amaranto y alimento, el punto de inflexión se expresó entre el año 2017 y 2024, lo que evidencia la importancia de este cultivo como estrategia para la seguridad y soberanía alimentaria de diferentes regiones del mundo, por sus características proximales y agroindustriales, convirtiéndose en una alternativa de desarrollo de investigaciones de alto nivel

académico y científico, con énfasis transdisciplinar.

De igual manera, la relación entre el clima y la producción de amaranto muestran la capacidad de adaptabilidad de esta especie a las condiciones cambiantes de clima y suelo, que permitiría potencializar la producción de este pseudocereal, por su rusticidad fisiológica y genética, logrando así afianzar procesos productivos a razón de la resistencia a herbicidas que ha sido el área de mayor interés para los productores y académicos de maíz (*Z. mays*) en Norte América.

Al respecto, la ausencia de publicaciones por parte de Colombia genera una oportunidad de investigación para los sistemas de producción que integren especies de la familia *Amaranthaceae*, permitiendo implementarse en características del clima y del suelo propias de zonas de producción andina que logren evidenciar el desarrollo y la formulación de alimentos, a través de la creación de trabajos académicos, fortalecimiento de líneas de investigación, desarrollo e innovación científica y tecnológica que aporte a la generación de nuevo conocimiento y al uso de estas especies vegetales.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al apoyo de Colciencias y la Gobernación de Boyacá en la convocatoria 779-2017.

6. REFERENCIAS

- [1] J. B. Padilla, J. W. Zartha, V. T. Álvarez, and G. L. Orozco, "Vigilancia Tecnológica para la Identificación de Innovaciones en Subproductos de la Curtición," *Inf. tecnológica*, vol. 29, no. 4, pp. 127–142, Aug. 2018. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000400127>
- [2] A. Escobar and J. W. Zartha, "Application of the Technology Life Cycle and S-Curves to the 'Brain Drain' Area of Knowledge," *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 10, no. 43, pp. 1–8, Nov. 2017. <https://doi.org/10.17485/ijst/2017/v10i43/116247>
- [3] A. M. McGahan, N. Argyres, and J. A. C. Baum, "Context, technology and strategy: forging new perspectives on the industry life cycle," in *Business Strategy over the Industry Lifecycle*, vol. 21, Australia, Emerald Group Publishing Limited 2004. [https://doi.org/10.1016/S0742-3322\(04\)21015-4](https://doi.org/10.1016/S0742-3322(04)21015-4)
- [4] R. Siedlecki, D. Papla, and A. Bem, "A logistic law of growth as a base for methods of company's life cycle phases forecasting," *Proc. Rom. Acad.*, pp. 141–146, 2018. <https://acad.ro/sectii2002/proceedings/doc2018-1s/continut/141-146.pdf>
- [5] J. Overall and S. Wise, "An S-Curve Model of the Start-Up Life Cycle Through the Lens of Customer Development," *J. Priv. Equity*, vol. 18, no. 2, pp. 23–34, Feb. 2015. <https://doi.org/10.3905/jpe.2015.18.2.023>
- [6] J. He, S. Tanaka, X. Wen, and J. Kamath, "Rapid S-Curve Update Using Ensemble Variance Analysis with Model Validation," in *SPE Western Regional Meeting*, Apr. 2017. <https://doi.org/10.2118/185630-MS>
- [7] M. A. Schilling and M. Esmundo, "Technology S-curves in renewable energy alternatives: Analysis and implications for industry and government," *Energy Policy*, vol. 37, no. 5, pp. 1767–1781, May 2009. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.01.004>
- [8] Z. Hojjati Tavassoli, S. Iranmanesh, and A. Tavassoli Hojjati, "Designing a Framework to Improve Time Series Data of Construction Projects: Application of a Simulation Model and Singular Spectrum Analysis," *Algorithms*, vol. 9, no. 3, p. 45, Jul. 2016. <https://doi.org/10.3390/a9030045>
- [9] C. A. Grajales-López *et al.*, "Vigilancia Tecnológica y Análisis del Ciclo de Vida de la Tecnología: Revisión de herramientas para el diagnóstico empresarial y la aplicación del ciclo de vida del producto en el sector turismo," *Espacios*, vol. 37, no. 36, Aug. 2016. <http://www.revistaespacios.com/a16v37n36/16373619.html>
- [10] J. W. Zartha, F. P. Marro, B. Arango, F. M. Vélez, and A. F. Avalos, "S - Curve analysis and technology life cycle . Application in series of data of articles and patents," *Espacios*, vol. 37, no. 7, Nov. 2016. <https://www.revistaespacios.com/a16v37n07/16370719.html>
- [11] E. G. Tovar-Pérez, A. Lugo-Radillo, and S. Aguilera-Aguirre, "Amaranth grain as a potential source of biologically active

- peptides: a review of their identification, production, bioactivity, and characterization," *Food Rev. Int.*, vol. 35, no. 3, pp. 221–245, Oct. 2019.
<https://doi.org/10.1080/87559129.2018.1514625>
- [12] M. O. Jimoh, A. J. Afolayan, and F. B. Lewu, "Suitability of *Amaranthus* species for alleviating human dietary deficiencies," *South African J. Bot.*, vol. 115, pp. 65–73, Mar. 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.01.004>
- [13] D. F. Roa, R. I. Baeza, and M. P. Tolaba, "Effect of ball milling energy on rheological and thermal properties of amaranth flour," *J. Food Sci. Technol.*, vol. 52, no. 12, pp. 8389–8394, Dec. 2015.
<https://doi.org/10.1007/s13197-015-1976-z>
- [14] A. Svirskis, "Investigation of amaranth cultivation and utilisation in Lithuania," *Agron. Res.*, vol. 1, no. 2, pp. 253–264, 2003.
<https://agronomy.emu.ee/vol012/Svirskis.pdf>
- [15] F. R. Alemayehu, M. A. Bendevis, and S.-E. Jacobsen, "The Potential for Utilizing the Seed Crop Amaranth (*Amaranthus* spp.) in East Africa as an Alternative Crop to Support Food Security and Climate Change Mitigation," *J. Agron. Crop Sci.*, vol. 201, no. 5, pp. 321–329, Oct. 2015.
<https://doi.org/10.1111/jac.12108>
- [16] A. Ebert, "Potential of Underutilized Traditional Vegetables and Legume Crops to Contribute to Food and Nutritional Security, Income and More Sustainable Production Systems," *Sustainability*, vol. 6, no. 1, pp. 319–335, Jan. 2014.
<https://doi.org/10.3390/su6010319>
- [17] Xarvier, J. B.; Souza, D. C. de; Souza, L. C. de; Guerra, T. S.; Resende, L. V.; Pereira, J. "Nutritive potential of amaranth weed grains," *African J. Agric. Res.*, vol. 13, no. 22, pp. 1140–1147, May 2018.
<https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13151>
- [18] F. Bavec and S. . Mlakar, "Effects of soil and climatic conditions on emergence of grain amaranths," *Eur. J. Agron.*, vol. 17, no. 2, pp. 93–103, Sep. 2002.
[https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(01\)00144-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(01)00144-7)
- [19] M. J. Kabir, M. Alauddin, and S. Crimp, "Farm-level adaptation to climate change in Western Bangladesh: An analysis of adaptation dynamics, profitability and risks," *Land use policy*, vol. 64, pp. 212–224, May. 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.026>
- [20] R. Hernández Zarta *et al.*, "Vigilancia tecnológica y análisis del ciclo de vida de la tecnología: evaluación del potencial comercial de un prototipo de guantes biodegradables a partir de almidón termoplástico de yuca," *Espacios*, vol. 37, no. 13, Mar. 2016.
<https://www.revistaespacios.com/a16v37n13/6371328.html>
- [21] J. W. Zartha, D. F. Zuluaga, J. C. Palacio, and J. M. Montes, "Ciclo de Vida de Tecnologías y Curvas en S Aplicadas en Subproductos de la Agroindustria Piscícola," *Inf. tecnológica*, vol. 28, no. 2, pp. 105–114, Apr. 2017. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000200012>
- [22] D. J. Spaunhorst, P. Devkota, W. G. Johnson, R. J. Smeda, C. J. Meyer, and J. K. Norsworthy, "Phenology of Five Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) Populations Grown in Northern Indiana and Arkansas," *Weed Sci.*, vol. 66, no. 4, pp. 457–469, Mar. 2018.
<https://doi.org/10.1017/wsc.2018.12>
- [23] E. J. Kistner and J. L. Hatfield, "Potential Geographic Distribution of Palmer Amaranth under Current and Future Climates," *ael*, vol. 3, no. 1, pp. 1–5, Apr. 2018. <https://doi.org/10.2134/ael2017.12.0044>
- [24] J. López-Sánchez, E. Ponce-Alquicira, R. Pedroza-Islas, A. de la Peña-Díaz, and J. Soriano-Santos, "Effects of heat and pH treatments and in vitro digestion on the biological activity of protein hydrolysates of *Amaranthus hypochondriacus* L. grain," *J. Food Sci. Technol.*, vol. 53, no. 12, pp. 4298–4307, Dec. 2016.
<https://doi.org/10.1007/s13197-016-2428-0>
- [25] D. N. López, M. Galante, M. Robson, V. Boeris, and D. Spelzini, "Amaranth, quinoa and chia protein isolates: Physicochemical and structural properties," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 109, no. 1, pp. 152–159, Apr. 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.12.080>
- [26] M. G. Schryver, N. Soltani, D. C. Hooker, D. E. Robinson, P. J. Tranel, and P. H. Sikkema, "Control of Glyphosate-Resistant Common Waterhemp (*Amaranthus tuberculatus* var. *rudis*) in Soybean in Ontario," *Weed Technol.*, vol. 31, no. 6, pp. 811–821, Dec. 2017.
<https://doi.org/10.1017/wet.2017.50>
- [27] J. Ye and B. Wen, "Seed germination in relation to the invasiveness in spiny amaranth and edible amaranth in Xishuangbanna, SW China," *PLoS One*, vol. 12, no. 4, p. e0175948, Apr. 2017.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175948>
- [28] R. D. Briscoe Runquist, T. Lake, P. Tiffin, and D. A. Moeller, "Species distribution models throughout the invasion history of Palmer amaranth predict regions at risk of
- [74] TecnoLógicas, ISSN-p 0123-7799 / ISSN-e 2256-5337, Vol. 22, No. 46, sep-dic de 2019, pp. 61-76

- future invasion and reveal challenges with modeling rapidly shifting geographic ranges,” *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, p. 2426, Feb. 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38054-9>
- [29] N. E. Korres *et al.*, “Cultivars to face climate change effects on crops and weeds: a review,” *Agron. Sustain. Dev.*, vol. 36, no. 1, p. 12, Mar. 2016. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0350-5>
- [30] C. Pulvento, A. Lavini, M. Riccardi, R. D’Andria, and R. Ragab, “Assessing Amaranth Adaptability in a Mediterranean Area of South Italy under Different Climatic Scenarios,” *Irrig. Drain.*, vol. 64, no. 1, pp. 50–58, Feb. 2015. <https://doi.org/10.1002/ird.1906>
- [31] M. Á. García-Parra and N. Z. Plazas-Leguizamón, “Análisis del ciclo de vida de las publicaciones sobre la producción de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), a través de curvas en S,” *Rev. Investig. Desarro. E Innovación*, vol. 9, no. 2, pp. 379–391, Feb. 2019. <https://doi.org/10.19053/20278306.v9.n2.2019.9189>
- [32] M. Taylor and A. Taylor, “The technology life cycle: Conceptualization and managerial implications,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 140, no. 1, pp. 541–553, Nov. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.07.006>
- [33] K. Kalasin, A. Cuervo-Cazurra, and R. Ramamurti, “State ownership and international expansion: The S-curve relationship,” *Glob. Strateg. J.*, p. gsj.1339, Apr. 2019. <https://doi.org/10.1002/gsj.1339>
- [34] B. Pedersen, L. S. Kalinowski, and B. O. Eggum, “The nutritive value of amaranth grain (*Amaranthus caudatus*),” *Qual. Plant. Plant Foods Hum. Nutr.*, vol. 36, no. 4, pp. 309–324, Dec. 1987. <https://doi.org/10.1007/BF01892352>
- [35] O. L. Torres Vargas, A. J. García Salcedo, and H. Ariza Calderón, “Physical-chemical characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), amaranth (*Amaranthus caudatus* L.), and chia (*Salvia hispanica* L.) flours and seeds,” *Acta Agronómica*, vol. 67, no. 2, pp. 215–222, Apr. 2018. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n2.63666>
- [36] D. Bazile, S.-E. Jacobsen, and A. Verniau, “The Global Expansion of Quinoa: Trends and Limits,” *Front. Plant Sci.*, vol. 7, no. May, pp. 1–6, May 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00622>
- [37] A. Shukla *et al.*, “Untapped amaranth (*Amaranthus* spp.) genetic diversity with potential for nutritional enhancement,” *Genet. Resour. Crop Evol.*, vol. 65, no. 1, pp. 243–253, jun. 2018. <https://doi.org/10.1007/s10722-017-0526-0>
- [38] S. Aguilar, A. F. Ávalos, D. P. Giraldo, S. Quintero, J. W. Zartha, and F. B. Cortés, “La Curva en S como Herramienta para la Medición de los Ciclos de Vida de Productos,” *J. Technol. Manag. Innov.*, vol. 7, no. 1, pp. 238–248, Mar. 2012. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242012000100016>
- [39] F. F. Dinssa, R.-Y. Yang, D. R. Ledesma, O. Mbwambo, and P. Hanson, “Effect of leaf harvest on grain yield and nutrient content of diverse amaranth entries,” *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. 236, no. 16, pp. 146–157, Jun. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.028>
- [40] C. Silva-Sánchez, J. González-Castañeda, A. De León-Rodríguez, and A. P. B. De la Rosa., “Functional and Rheological Properties of Amaranth Albumins Extracted From Two Mexican Varieties,” *Plant Foods Hum. Nutr.*, vol. 59, no. 4, pp. 169–174, Oct. 2004. <https://doi.org/10.1007/s11130-004-0021-6>
- [41] P. S. Chahal *et al.*, “Control of Photosystem II– and 4-Hydroxyphenylpyruvate Dioxygenase Inhibitor–Resistant Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) in Conventional Corn,” *Weed Technol.*, vol. 32, no. 3, pp. 326–335, Jun. 2018. <https://doi.org/10.1017/wet.2017.111>
- [42] A. Rastogi and S. Shukla, “Amaranth: A New Millennium Crop of Nutraceutical Values,” *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol. 53, no. 2, pp. 109–125, Jan. 2012. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.517876>
- [43] F. D. Castaño, “The sunflower crop in Argentina: past, present and potential future,” *OCL - Oilseeds fats, Crop. Lipids*, vol. 25, no. 1, p. D105, Jan. 2018. <https://doi.org/10.1051/ocl/2017043>
- [44] F. Cornejo, G. Novillo, E. Villacrés, and C. M. Rosell, “Evaluation of the physicochemical and nutritional changes in two amaranth species (*Amaranthus quitensis* and *Amaranthus caudatus*) after germination,” *Food Res. Int.*, vol. 121, pp. 933–939, Jul. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.022>
- [45] V. Sarabi, A. Ghanbari, M. H. R. Mohassel, M. N. Mahallati, and M. Rastgoo, “Broadleaf Weed Control in Corn (*Zea mays* L.) with Sulfonyleurea Herbicides Tank-mixed with 2,4-D + MCPA,” *Agron. J.*, vol. 110, no. 2, p. 638–645, Mar. 2018. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.07.0419>
- [46] E. Rojas-Rivas, A. Espinoza-Ortega, H. Thomé-Ortiz, and S. Moctezuma-Pérez, “Consumers’ perception of amaranth in Mexico,” *Br. Food J.*, vol. 121, no. 6, pp.

- 1190–1202, Jun. 2019.
<https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2018-0334>
- [47] W. Carrillo, R. Vilcacundo, and C. Carpio, “Compuestos bioactivos derivados de amaranto y quinua,” *Actual. en Nutr.*, vol. 16, no. 1, pp. 18–22, Mar. 2015.
http://www.revistasan.org.ar/pdf_files/trabajos/vol_16/num_1/RSAN_16_1_18.pdf
- [48] S. Navruz-Varli and N. Sanlier, “Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.),” *J. Cereal Sci.*, vol. 69, pp. 371–376, May 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.05.004>
- [49] N. Jamalluddin, F. J. Massawe, and R. C. Symonds, “Transpiration efficiency of *Amaranth* (*Amaranthus* sp.) in response to drought stress,” *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, vol. 94, no. 4, pp. 448–459, Oct. 2019.
<https://doi.org/10.1080/14620316.2018.1537725>
- [50] J. Ochieng, P. Schreinemachers, M. Ogada, F. F. Dinssa, W. Barnos, and H. Mndiga, “Adoption of improved amaranth varieties and good agricultural practices in East Africa,” *Land use policy*, vol. 83, pp. 187–194, Apr. 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.02.002>
- [51] M. L. T. Clavijo *et al.*, “Vigilancia tecnológica y análisis del ciclo de vida de la tecnología: técnicas de evaluación de la usabilidad, métricas y herramientas en el sector TICs,” *Espacios*, vol. 38, no. 22, pp. 28, Dec. 2017.
<https://www.revistaespacios.com/a17v38n22/a17v38n21p28.pdf>