

## PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE *Enterolobiums contortisiquum* MEDIANTE RIEGO CON AGUAS RESIDUALES DE LA GANADERÍA

Daniel Fonseca de Carvalho<sup>1</sup>, Isaac da Mota Moraes<sup>2</sup>, Giovani de Azevedo Silva<sup>3</sup>,  
Letícia Marques Silva<sup>4</sup>, Jaidson Gonçalves da Rocha<sup>5</sup>, Yan Vidal de Figueiredo Gomes  
Diniz<sup>6</sup>

**RESUMEN:** La producción de plántulas de árboles es esencial en la restauración forestal. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el requerimiento de agua y el crecimiento de plántulas de *Enterolobium contortisiliquum* utilizando aguas residuales de ganadería (ARG) y manejo de riego automático. Las plántulas se produjeron en tubos de 280 cm<sup>3</sup> llenos de biosólidos puros. Luego de la siembra, las bandejas plásticas que contenían los tubos fueron colocadas sobre bancos metálicos cubiertos con pantallas de poliolefina negra (sombreado). La parcela experimental estuvo compuesta por 6 plantas, totalizando 24 plantas por bandeja. Las plántulas se regaron con emisores (PCJ-LCNL/Netafim) con un caudal de 3,0 L h<sup>-1</sup>, utilizando agua de suministro local (A1), agua de suministro y fertirrigación con ARG (A2), y ARG tratado con ozonización (A3). La fertirrigación se realizó cada 14 días, con la aplicación de 25 cm<sup>3</sup> por tubo, definido en función del análisis químico del ARG y las necesidades nutricionales de la especie. La gestión del riego se realizó de forma automática, con activación independiente para cada tipo de agua de riego. Se evaluaron las alturas de las plántulas cada 14 días y 146 días después de la siembra, se midieron los diámetros del tallo y se determinó la masa seca de la parte aérea, lo que permitió el cálculo de la eficiencia de uso del agua (EUA). Las plántulas recibieron 2.416,0 cm<sup>3</sup> (A1), 2.290,6 cm<sup>3</sup> (A2) y 2.199,8 cm<sup>3</sup> (A3), y alcanzaron mayor altura (26.34 cm), diámetro (5.06

---

<sup>1</sup> Profesor Titular del Departamento de Ingeniería/Instituto de Tecnología, Universidad Federal Rural de Río de Janeiro, Seropédica, Río de Janeiro, Brasil. daniel.fonseca.carvalho@gmail.com; carvalho@ufrj.br. (Autor que presenta)

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniería Agrícola y Ambiental, Universidad Federal Rural de Río de Janeiro, Seropédica, Río de Janeiro, Brasil. isaacmoraes560@ufrj.br

<sup>3</sup> Estudiante de Ingeniería Forestal, Universidad Federal Rural de Río de Janeiro, Seropédica, Río de Janeiro, Brasil. 20230008974@ufrj.br

<sup>4</sup> Estudiante de Agronomía, Universidad Federal Rural de Río de Janeiro, Seropédica, Río de Janeiro, Brasil. leticia.marques2456@hotmail.com

<sup>5</sup> Ingeniero Agrónomo, Universidad Federal Rural de Río de Janeiro, Seropédica, Río de Janeiro, jaidsongr@gmail.com

<sup>6</sup> Estudiante de doctorado en Agronomía-Ciencias del Suelo, Universidad Federal Rural de Río de Janeiro, Seropédica, Río de Janeiro, Brasil. yaanvidal@gmail.com

mm) y EUA ( $1.32 \text{ g L}^{-1}$ ) cuando fueron regadas con A2, según la prueba de Kruskal-Wallis. Al regar con A1, las plántulas alcanzaron 22,86 cm de altura y 4,54 mm de diámetro. Es posible concluir que el uso de ARG proporcionó mayor altura y eficiencia hídrica en plántulas de *Enterolobium contortisiliquum*, con énfasis en el tratamiento con fertirrigación.

**PALABRAS CLAVE:** Riego automatizado, reutilización de agua, plantones forestales, Mata Atlántica.

### **PRODUCTION OF *Enterolobium contortisiliquum* SEEDLINGS USING IRRIGATION WITH WASTEWATER FROM CATTLE FARMING**

**ABSTRACT:** The production of tree seedlings is essential in forest restoration. This study aimed to evaluate the water requirement and growth of *Enterolobium contortisiliquum* seedlings using cattle wastewater (CWW) and automatic irrigation management. The seedlings were produced in 280 cm<sup>3</sup> tubes filled with pure biosolids. After sowing, the plastic trays containing the tubes were placed on metal benches covered with black polyolefin screens (shading). The experimental plot consisted of 6 plants, totaling 24 plants per tray. The seedlings were irrigated with emitters (PCJ-LCNL/Netafim) with a flow rate of 3.0 L h<sup>-1</sup>, using local supply water (A1), supply water and fertigated with CWW (A2), and CWW treated by ozonation (A3). Fertigation was performed every 14 days, with an application of 25 cm<sup>3</sup> per tube, defined based on the chemical analysis of CWW and the nutritional needs of the species. Irrigation management was performed automatically, with independent activation for each type of irrigation water. The heights of the seedlings were evaluated every 14 days and, 146 days after sowing, the diameters of the stem were measured and the dry mass of the aerial part was determined, allowing the calculation of the water use efficiency (WUE). The seedlings received 2,416.0 cm<sup>3</sup> (A1), 2,290.6 cm<sup>3</sup> (A2), and 2,199.8 cm<sup>3</sup> (A3), and reached greater height (26.34 cm), diameter (5.06 mm), and WUE ( $1.32 \text{ g L}^{-1}$ ) when irrigated with A2, according to the Kruskal-Wallis test. When irrigated with supply water (A1), the seedlings reached 22.86 cm in height and 4.54 mm in diameter. It is possible to conclude that the use of cattle wastewater provided greater

height and water use efficiency in the production of *Enterolobium contortisiliquum* seedlings, with emphasis on the treatment with fertigation.

**KEYWORDS:** Automated irrigation, water reuse, forest seedlings, Atlantic Forest.

## INTRODUCCIÓN

La Mata Atlántica es reconocida como uno de los principales centros de biodiversidad del mundo (Santos et al., 2019), y por ello, existe un gran interés en su restauración (Strassburg et al., 2020), especialmente debido al bajo porcentaje de bosque original aún presente (Santana et al., 2020). Entre las especies arbóreas nativas de este bioma destaca el Tamboril (*Enterolobium contortisiliquum*), un árbol de gran tamaño, de 20 a 35 m de altura, con un tronco robusto y grueso, de hasta 1,5 m de diámetro y excelente sombra asociada a su copa extendida y rala (Lorenzi, 2008). Durante un largo período, hubo una intensa explotación de esta especie, destinada principalmente a su uso en aserraderos y construcción civil, lo que provocó una reducción significativa de las poblaciones naturales. Es una planta que pertenece al grupo ecológico de especies pioneras (Guedes & Krupek, 2017).

La eficacia de los proyectos de restauración se ve afectada por la calidad de las plántulas de árboles y el entorno de producción ejerce una influencia significativa en este aspecto. Varios factores ambientales influyen en la máxima expresión de la especie, entre ellos la disponibilidad del agua, la calidad del sustrato utilizado y la adecuada presencia de sombra (Bueno et al., 2021; Silva et al., 2022).

En los viveros forestales, por ejemplo, el uso del agua no ha sido una preocupación, ya que la falta de gestión del riego genera un desperdicio significativo, que puede alcanzar hasta el 70% del volumen aplicado (Dumroese et al., 2005). Para superar este desafío, se deben implementar técnicas de aplicación de agua para satisfacer las necesidades hídricas de las especies. En este sentido, el uso de la automatización en la gestión del riego puede contribuir a maximizar el uso del agua, permitiendo el suministro de agua en la cantidad adecuada y en el momento adecuado (Koech & Langat, 2018). El actuador automático (AAR) propuesto por Medici et al. (2010), que opera en respuesta a la tensión hídrica del suelo, ha sido utilizado eficientemente en varios ambientes (Gomes et al., 2017; Mello et al., 2018; Bueno et al.,

2021; Cruz et al., 2022; Silva et al., 2022), y se destaca por ser de bajo costo y fácil operación.

Con el objetivo de optimizar los recursos hídricos, existe una tendencia mundial a utilizar aguas residuales en diversas actividades económicas. Las aguas residuales ganaderas (ARG), adecuadamente tratadas, aparecen como una alternativa para su utilización en el riego de viveros, o incluso para aplicaciones de fertirrigación.

A pesar de la importancia de la conservación del agua y el uso de aguas residuales en los sistemas de producción, aún existen pocos estudios e información disponible en la literatura, especialmente respecto a la cantidad de agua necesaria para producir plántulas de calidad (Bueno et al., 2020), y el uso de ARG tratado en la producción de plántulas de especies arbóreas. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el crecimiento de plántulas de *Enterolobium contortisiliquum* utilizando riego automatizado con aguas residuales de ganadería orgánica.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Federal Rural de Río de Janeiro (UFRRJ), ubicada en Río de Janeiro, Brasil, de junio a octubre de 2024. Se utilizaron tubos de 280 cm<sup>3</sup> llenos de biosólidos puros (lodos de depuradora), en los que se insertaron dos semillas de *Enterolobium contortisiliquum*, colectadas de matrices dentro del área de la UFRRJ.

Los tubos sembrados fueron colocados en bandejas plásticas con capacidad máxima de 54 tubos y luego de la emergencia de las plántulas se realizó el trasplante, dejando la planta con mayor vigor. Cuando las plántulas alcanzaron una altura promedio de alrededor de 8,0 cm, se realizó el espaciamiento con plántulas alternas, totalizando 6 plantas por bandeja.

Simultáneamente, se realizaron tres experimentos, diferenciándose entre sí en relación a la calidad del agua utilizada para riego: el primero utilizando sólo agua de abastecimiento local (A1), el segundo con agua de abastecimiento y fertirrigación con ARG (A2), y el tercero con ARG tratada por ozonización (O<sub>3</sub>), con un tiempo de exposición de 1 h (A3), según la metodología presentada por Souza et al. (2020). El manejo de la fertirrigación se definió en función del análisis químico del ARG y las

necesidades nutricionales de la especie, aplicándose 6 dosis de 25 cm<sup>3</sup> por planta en intervalos de 14 días.

Las bandejas fueron colocadas sobre bancos metálicos recubiertos, superior y lateralmente, por pantallas agrícolas de poliolefina negra (sombreado) con una atenuación nominal del 50%. Se adoptó un diseño de bloques al azar, donde cada parcela experimental estuvo compuesta por 6 plantas.

Se utilizó un sistema de riego por goteo con emisores (Netafim, modelo PCJ-HCNL) con un caudal nominal de 3,0 L h<sup>-1</sup>, y el manejo se realizó de manera automática mediante el actuador automático de riego (AAR) (Medici et al., 2010). El AAR opera en respuesta a la tensión del agua en el sustrato, y las activaciones del sistema de riego, así como el tiempo de aplicación, fueron registrados en un dispositivo electrónico desarrollado para tal fin.

El monitoreo meteorológico se realizó mediante una estación automática del Instituto Nacional de Meteorología (INMET) (A601 – Ecología Agrícola), ubicada cerca del sitio del experimento, lo que permitió la estimación de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>). Además, se instalaron pluviómetros en las bandejas para monitorear la cantidad de precipitación dentro de los bancos.

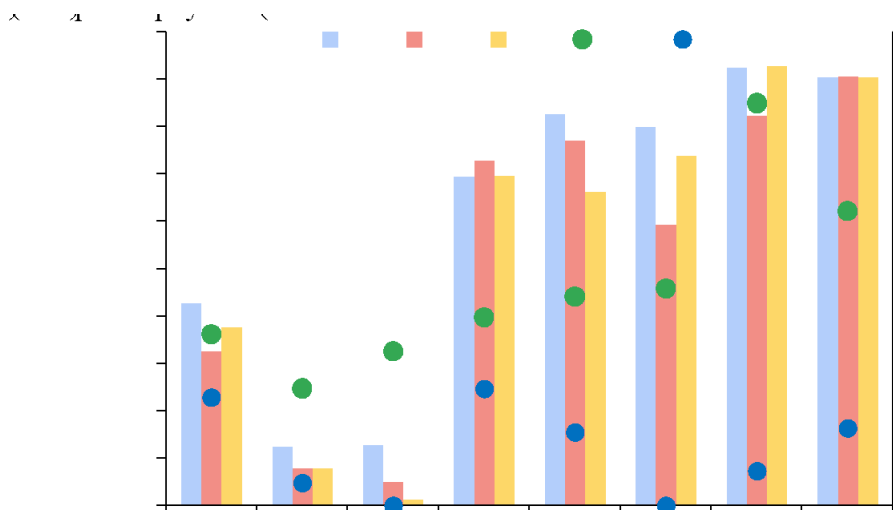
La altura (H) de las plántulas se midió periódicamente y al final de los experimentos, cuando las plántulas alcanzaron estándares comerciales, se midió el diámetro del tallo (DT) y se determinó la materia seca de la parte aérea (MSPA). Las plántulas fueron colocadas en bolsas de papel y luego llevadas a un horno a 65°C hasta que alcanzaron un peso constante. Con los datos del MSPA y el volumen de agua aplicado a las plantas, fue posible determinar la eficiencia de uso del agua (EUA) en cada experimento.

Como las plántulas de *Enterolobium contortisiliquum* recibieron diferentes volúmenes de agua, se realizó un análisis estadístico no paramétrico y los valores de las variables H, DT, MSPA y EUA fueron sometidos a la prueba de Kruskal-Wallis, al 10% de probabilidad, utilizando el software R versión 4.3.2 (R Core Team, 2022).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el período experimental, las temperaturas del aire variaron de 32,8 a 39,6 °C (máxima) y de 9,3 a 16,3 °C (mínima). La ET<sub>o</sub> osciló entre 0,78 y 7,98 mm día<sup>-1</sup>,

acumulando 444,2 mm, mientras que la precipitación totalizó 109,8 mm. De este total, un promedio de 45,2; 49,4 y 49,1 mm fueron precipitados, respectivamente, en los bancos regados con A1, A2 y A3. Como resultado, se repuso agua a lo largo del experimento (Figura 1), totalizando 92, 79 y 81 activaciones del sistema de riego. El suministro de agua a las plántulas de *Enterolobium contortisiliquum* fue de 2.416,0; 2.290,6 y 2.199,8 cm<sup>3</sup>, considerando agua de riego y precipitación en los bancos experimentales.



**Figura 1.** Volúmenes de agua aplicados a plántulas de *Enterolobium contortisiliquum* y láminas de precipitación y evapotranspiración totalizadas para cada período de evaluación experimental.

Las variables evaluadas en plántulas de *Enterolobium contortisiliquum* mostraron diferencias en respuesta al agua utilizada (Tabla 1). El uso de ARG en el riego de plántulas proporcionó mejores índices en todas las variables evaluadas, con énfasis en el ensayo con fertirrigación (A2).

**Tabla 1.** Valores promedio de altura, diámetro del tallo, masa seca de la parte aérea y eficiencia de uso del agua (EUA) en plántulas de *Enterolobium contortisiliquum*, regadas con diferentes aguas

| Tipos de agua* | Variáveis       |                  |                   |                                |
|----------------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------------------|
|                | Altura (cm)**   | Diámetro (mm)*** | Masa seca (g)**** | EUA (g L <sup>-1</sup> ) ***** |
| A1             | 22,86 ± 1,86 b  | 4,54 ± 0,07 b    | 2,26 ± 0,10 b     | 0,94 ± 0,04 b                  |
| A2             | 26,34 ± 1,18 a  | 5,06 ± 0,43 ab   | 3,02 ± 0,21 a     | 1,32 ± 0,09 a                  |
| A3             | 26,24 ± 1,72 ab | 5,26 ± 0,46 a    | 2,83 ± 0,40 a     | 1,29 ± 0,18 ab                 |

\* A1 - agua de abastecimiento local; A2 - agua de abastecimiento y fertirrigación con ARG; A3 - ARG tratado mediante ozonización. \*\* p < 0,061; \*\*\* p < 0,055; \*\*\*\* p < 0,022; \*\*\*\*\* p < 0,023; Las medias seguidas de la misma letra en la columna no difieren entre sí mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, en el nivel de significancia correspondiente.

Las condiciones ambientales durante el período experimental afectaron, en cierta medida, el crecimiento de las plántulas, ya que incluso en invierno y principios de primavera hubo altas temperaturas. Las plántulas se produjeron en un ambiente sombreado, a pesar de que *Enterolobium contortisiliquum* se considera una especie pionera (Guedes y Krupek, 2017). Incluso en estas condiciones, las plántulas alcanzaron una altura y un diámetro acordes con el estándar de transporte de la especie. Araújo & Paiva Sobrinho (2011) produjeron plántulas de Tambaril en bolsas de polietileno de 29 cm de altura y 9 cm de diámetro, rellenas con diferentes sustratos. A los 120 días, las plántulas alcanzaron 90,3 cm de altura y 5,9 mm de diámetro, cuando fueron cultivadas con tierra y estiércol de ganado. Cabe señalar que en el presente estudio las plántulas se produjeron en tubos con un volumen mucho menor (280 cm<sup>3</sup>), lo que limita el crecimiento de las raíces, sin embargo, facilita el transporte de plántulas y su plantación en el campo.

Como se ha mencionado, la gestión del riego en los viveros forestales aún no está muy extendida, especialmente en lo que respecta al aprovechamiento de aguas residuales. Silva et al. (2022) utilizaron ARG con tratamiento de ozonización para regar plántulas de *Dalbergia nigra* producidas con 50% de sombreado. El uso de ARG proporcionó un crecimiento satisfactorio de las plántulas, especialmente con el tratamiento de ozonización de 1 h, proporcionando un índice de calidad de Dickson de 0,10 y una eficiencia de uso del agua de (1,24 g L<sup>-1</sup>), con reposición total de las necesidades hídricas de las plántulas.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, es posible concluir que el uso de aguas residuales de la ganadería bovina proporcionó mayor altura y eficiencia en el uso del agua en la producción de plántulas de *Enterolobium contortisiliquum*, con énfasis en el tratamiento con fertirrigación.

## EXPRESIONES DE GRATITUD

El estudio fue financiado por la Fundación Carlos Chagas Filho de Apoyo a la Investigación del Estado de Río de Janeiro (FAPERJ) (Procesos 210.155/2023 y 200.388/2023) y por el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) (Proceso 305919/2022-9).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A. P.; PAIVA SOBRINHO, S. Germinação e produção de mudas de tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (VELL.) MORONG) em diferentes substratos. **Revista Árvore**, v. 35, p. 581-588, 2011.

BUENO, M. M.; LELES, P.S.S.; ABREU, J. F. G.; SANTOS, J. J. S.; CARVALHO, D. F. Water requirement and growth indicators of forest tree species seedlings produced with automated irrigation management. **PLoS One**, v. 15, p. e0238677, 2020.

BUENO, M. M.; LELES, P. S. S.; PINTO, M. F.; RESENDE, A. S.; COUTO, B. R. M.; CARVALHO, D. F. Water use in the growth of Atlantic Forest tree species seedlings under different shading levels. **Ciência & Agrotecnologia**, v. 45, p. e025220., 2021. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202145025220>

CRUZ, E. S.; MEDICI, L. O.; LELES, P. S. S.; AMBROZIM, C. S.; SOUZA, W. L.; CARVALHO, D. F. Growth of black pepper plantlets under different substrates and irrigation levels. **Scientia Agricola**, v. 79, p. 20200094, 2022. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2020-0094>

DUMROESE, R. K.; PAGE-DUMROESE, D. S.; SALIFU, K. F.; JACOBS, D. F. Exponential fertilization of *Pinus monticola* seedlings: nutrient uptake efficiency, leaching fractions, and early outplanting performance. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 35, p. 2961-2967, 2005.

GOMES, D. P.; CARVALHO, D. F.; PINTO, M. F.; VALENÇA, D. D. C.; MEDICI, L. O. Growth and production of tomato fertilized with ash and castor cake and under varying water depths, cultivated in organic potponics. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 39, p. 201-209, 2017. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v39i2.32547>

GUEDES, J. D. S.; KRUPKE, R. A. Ecological characteristics and phytosanitary of tree species in a Rain Forest fragment of southeast region of São Paulo state. **Ambiência**, v. 13, p. 311-324, 2017. <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2017.02.04>

KOECH, R.; LANGAT, P. Improving Irrigation Water Use Efficiency: A Review of Advances, Challenges and Opportunities in the Australian Context. **Water**, 10:1771, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10121771>

LORENZI, H. (2008). **Árvores brasileiras: Manual de identificação e Cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. v. 1, 5ª ed. São Paulo: Plantarum.

MEDICI, L. O.; ROCHA, H. S.; CARVALHO, D. F.; PIMENTEL, C.; AZEVEDO, R. A. Automatic controller to water plants. **Scientia Agricola**, v. 67, p. 727-730, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000600016>

MELLO, G. A. B.; CARVALHO, D. F.; MEDICI, L. O.; SILVA, A. C.; GOMES, D. P.; PINTO, M. F. Organic cultivation of onion under castor cake fertilization and irrigation depths. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 40, p. 34993, 2018. [doi:10.4025/actasciagron.v40i1.34993](https://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.34993)

R CORE TEAM: **The R Project for Statistical Computing**, 2022. Available from: <https://www.r-project.org/>.

SANTANA, R. O.; DELGADO, R. C.; SCHIAVETTI, A. The past, present and future of vegetation in the Central Atlantic Forest Corridor, Brazil. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 20, p. 100357, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100357>

SANTOS, J. F. C.; GLERIANI, J. M.; VELLOSO, S. G. S.; DE SOUZA, G. S. A.; DO AMARAL, C. H.; TORRES, F. T. P.; MEDEIROS, N. D. G.; DOS REIS, M. Wildfires as a major challenge for natural regeneration in Atlantic Forest. **Science of The Total Environment**, v.650, p. 809-821, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.016>

SILVA, L. O.; MENDONÇA, H. V.; CONFORTO, B. A. A. F.; PINTO, M. F.; CARVALHO, D. F. Production of forest seedlings using sewage sludge and automated irrigation with ozonated cattle wastewater. **PLoS One**, v. 7, p. 0276633, 2022. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276633>

SOUZA, D. S.; MACIEL, A. M.; OTENIO, M. H.; MENDONÇA, H. V. Optimization of Ozone Application in Post-Treatment of Cattle Wastewater from Organic Farms. **Water Air Soil Pollution**, v. 231, p. 362, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04736-2>

STRASSBURG, B. B. N.; IRIBARREM, A.; BEYER, H. L.; CORDEIRO, C. L.; CROUZEILLES, R.; JAKOVAC, C. C.; BRAGA JUNQUEIRA, A.; LACERDA, E.; LATAWIEC, A. E.; BALMFORD, A.; BROOKS, T. M.; BUTCHART, S. H. M.; CHAZDON, R. L.; ERB, K. H.; BRANCALION, P.; BUCHANAN, G.; COOPER, D.; DÍAZ, S.; DONALD, P. F.; KAPOS, V.; LECLÈRE, D.; MILES, L.; OBERSTEINER, M.; PLUTZAR, C.; SCARAMUZZA, C. A.; SCARANO, F. R.; VISCONTI, P. Global priority areas for ecosystem restoration. **Nature**, v. 586: p. 724-729, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2784-9>