

EL SISTEMA DE MUESCAS LINEALES (SIMUL): UNA ALTERNATIVA EFICIENTE PARA EL MARCAJE PARA TORTUGAS DE CAPARAZÓN DURO

LINEAR NOTCHING SYSTEM (SIMUL): AN ALTERNATIVE MARKING SYSTEM FOR HARD-SHELLED TURTLES

Eduardo Reyes-Grajales^{1,2*}, Lauren De Nardi³ y Thomas S. Akre⁴

¹ Departamento de Conservación de la Biodiversidad, El Colegio de la Frontera Sur, carretera Panamericana y periférico sur s/n Barrio María Auxiliadora, 29290, San Cristobal de las Casas, Chiapas, México

² Turtle Survival Alliance, 5900 Core Rd Ste 504, 29406, North Charleston, South Carolina, United States of America

³ Institute for Development, Ecology and Cooperation, Universidad, Via Giuseppe Tomasi di Lampedusa, 33, 00144, Rome, Italy

⁴ Departamento, Universidad, 1500 Remount Rd, 22630, Front Royal, Virginia, United States of America

RECIBIDO: 03/10/2025

RESUMEN

ACEPTADO: 10/12/2025

Palabras clave:

Conservación,
Tortugas dulceacuícolas,
Sistema de identificación,
Monitoreo,
Testudines,
Tortugas terrestres.

Presentamos el nuevo Sistema de Muecas Lineales (SIMUL) para la identificación individual de tortugas de caparazón duro, que minimiza la invasividad, y mejora la legibilidad y persistencia de las marcas. Este sistema utiliza un esquema de codificación numérica acumulativa aplicado a los tres primeros escudos marginales por grupo numérico, permitiendo la identificación única de hasta 9,999 individuos y evitando los escudos centrales para reducir el riesgo de lesiones. Nuestra propuesta es sencilla de aplicar en campo, adecuada para estudios ecológicos y de conservación a largo plazo, y rentable, ofreciendo una alternativa práctica y ética a los métodos de marcaje convencionales.

Key words:

Conservation,
Freshwater turtles,
Identification system,
Monitoring,
Testudines,
Tortoises.

ABSTRACT

We present a novel linear notching system (SIMUL) for individual identification of hard-shelled turtles that minimizes invasiveness while improving legibility and persistence. This system uses a cumulative numerical coding scheme applied to the first three marginal scutes per numeric group, allowing unique identification of up to 9,999 individuals while avoiding central scutes to reduce the risk of injury. Our proposal is simple to apply in the field, suitable for long-term ecological and conservation studies, and cost-effective, providing a practical and ethical alternative to conventional marking methods.

INTRODUCCIÓN

La capacidad de identificar individuos es un requisito fundamental para la investigación y el monitoreo de la fauna silvestre (Broderick y Godley, 1999). Se han utilizado diversos métodos para identificar individualmente a las tortugas de caparazón duro, entre ellos el pintado del caparazón con un identificador (Woodbury y Hardy, 1948), las inyecciones de tinta en el plastrón (Burger y Montevecchi, 1975), el uso de etiquetas plásticas y/o metálicas (p. ej. aquellas

utilizadas en el anillamiento en aves), y los microchips implantables (p. ej. transpondedores pasivos integrados o PIT tag por sus siglas en inglés; Omeyer et al., 2019).

En general, para fines de investigación y manejo, las marcas de identificación deben ser permanentes, fáciles de leer y no interferir con el comportamiento y movilidad natural de los animales (Cagle, 1939). Los huesos del caparazón de las tortugas de caparazón duro proporcionan un soporte resistente que puede brindar y asignar conjuntos de marcas relativamente permanentes y únicas a numerosos individuos. Esto ha conducido al

desarrollo de un método estándar en la investigación con tortugas, que consiste en realizar muescas en los escudos marginales del caparazón.

Los escudos marginales suelen marcarse haciendo muescas con una lima metálica triangular o semicircular, o perforando con una broca del tamaño adecuado (Nagle et al., 2017). Este conjunto de marcas puede generar diversos sistemas de codificación. Algunos sistemas asignan una letra a cada escudo (Nagle et al., 2017), mientras que otros emplean un sistema numérico basado a partir del método desarrollado por Cagle (1939), mediante el cual se generan códigos de identificación únicos al asignar un valor numérico específico a cada muescada y sumar dichos valores. Sin embargo, todas estas técnicas presentan limitaciones: 1) los métodos de marcado como la pintura o la tinta sobre la piel o el caparazón no son duraderos (Omeyer et al., 2019); 2) las técnicas como el uso de transpondedores (PIT tags) pueden resultar costosas (Nagle et al. 2017); y 3) los métodos de muescado, especialmente aquellos que emplean muescas triangulares, a veces pueden confundirse con daños causados por depredadores o individuos de la misma población (Fig. 1).



Figura 1. Mordeduras naturales en los escudos marginales de una tortuga de madera silvestre (*Glyptemys insculpta* Le Conte, 1830). Foto: Eduardo Reyes-Grajales.

Debido a lo anterior, en este trabajo presentamos un Sistema de Muecas Lineales (SIMUL), una alternativa que incorpora un esquema de codificación numérica específico mediante muescas lineales, diseñado para abordar las limitaciones de los métodos de marcaje convencionales. Con el fin de optimizar la consulta del sistema de marcaje, el contenido se ha dividido en las siguientes secciones.

LÓGICA

El SIMUL se basa en un esquema de codificación numérica que utiliza únicamente los tres primeros escudos marginales por grupo numérico (Fig. 2) el cual está presente en todas las especies de tortugas de caparazón duro. Las unidades se cuentan sobre los escudos marginales anteriores derechos, de izquierda a derecha (1–9); las decenas, sobre las anteriores izquierdas, de derecha a izquierda (10–90); las centenas, sobre las posteriores izquierdas, de derecha a izquierda (100–900); y los millares, sobre las posteriores derechas, de izquierda a derecha (1,000–9,000; Fig. 2). De esta manera, el valor máximo de marcaje alcanzable es 9,999.



Figura 2. Representación del sentido numeración en el sistema de muescas lineales (SIMUL) en el caparazón de una tortuga casquito pardo (*Kinosternon abaxillare* Baur in Stegner 1925). Las marcas en la parte frontal derecha (sección de unidades) y posterior izquierda (sección de centenas) se muestran únicamente para ejemplificar el sentido de aplicación y el número total de marcas que pueden aplicarse a cada escudos marginales. Foto e ilustración: Eduardo Reyes-Grajales.

Por ejemplo, para representar el valor 1, se realiza una muesca en el punto medio del primer escudo marginal anterior derecha. Para el valor 2, se hacen dos muescas paralelas en el mismo escudo.

El valor 3 se representa sin marcar el primera escudo; en su lugar, se realiza una muesca en el punto medio del segundo escudo. El valor 5 corresponde a una muesca en el punto medio del tercer escudo marginal.

Para todos los valores superiores (6–9), la representación siempre incluye la muesca correspondiente al 5, seguida de las muescas de los valores iniciales (1–4). Por ejemplo, el número 8 se representa como 5 + 3, es decir, con la muesca del 5 más la del valor 3 (ver ejemplos en Fig. 3).

Siguiendo esta secuencia y las consideraciones anteriores, los grupos numéricos (por ejemplo, decenas, centenas o millares) pueden combinarse para obtener la numeración deseada (Fig. 3).

entre sí, evitando el punto medio (Fig. 3). Finalmente, debido a la cercanía de las extremidades la cabeza y/o la cola, al momento de aplicar el marcaje se recomienda cubrir para evitar el contacto.

RECOMENDACIONES METODOLÓGICAS

Las marcas deben realizarse utilizando una segueta metálica (entre 0.6 mm y 0.9 mm de grosor dependiendo del tamaño del caparazón), manteniendo la orientación vertical tanto como sea posible. Cuando se requieran dos muescas en el mismo escudo, éstas deben espaciarse lo suficiente para mantener una separación claramente visible (ver figura 2 y 3). La profundidad de cada muesca debe alcanzar la mitad de la longitud del escudo, a fin de asegurar su adecuada visibilidad y persistencia. Al final de la realización de las marcas, se recomienda aplicar mediante aspersión una solución antiséptica-cicatrizante de uso veterinario sobre las áreas intervenidas del caparazón, así como una desinfectante para la segueta utilizada durante el procedimiento

Durante la recaptura de individuos previamente marcados, se recomienda realizar una revisión minuciosa, ya que el lodo o materia orgánica pueden acumularse en las muescas y dar la falsa impresión de ausencia de marca. Una inspección visual cuidadosa suele ser suficiente, y si es necesario, una sola pasada con la segueta permite limpiar la marca y restablecer su visibilidad.

DISCUSIÓN

El SIMUL representa un perfeccionamiento del método tradicional de muescado en los escudos marginales, al abordar diversas limitaciones inherentes a las técnicas convencionales de marcaje en tortugas. El muescado de escudos marginales ha sido reconocido durante décadas como un método duradero, económico y mínimamente invasivo para la identificación individual. Sin embargo, los métodos existentes presentan problemas comunes, como errores de identificación ocasionados por el desgaste natural o por daños infligidos por depredadores (Nagle et al., 2017), altos costos y limitaciones logísticas asociados al uso PIT tags (Omeyer et al., 2019), así como riesgos de bienestar animal derivados de muescas profundas o mal posicionadas (Nagle et al., 2017). Nuestra propuesta, el SIMUL, mitiga estos desafíos mediante la implementación de un esquema de codificación numérica lineal y acumulativa, que permite la identificación única de hasta 9,999 individuos, al

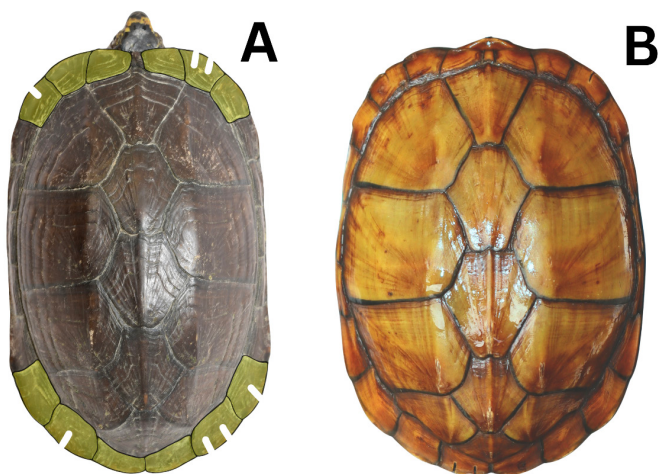


Figura 3. Representación esquemática del sistema de marcaje del número individual 9,354 (A) y ejemplo aplicado del número 255 (B) en el caparazón de la tortuga casquito pardo (*Kinosternon abaxillare* Baur in Stejneger, 1925). Fotografías e ilustración: Eduardo Reyes-Grajales.

CONSIDERACIONES

Para la marcación es necesario utilizar una segueta (sierra manual de hoja delgada). El marcaje es acumulativo: pueden realizarse hasta dos muescas en cada uno de los dos primeros escudos marginales, y una sola muesca en la tercero (Fig. 2). Las muescas únicas deben colocarse en el punto medio del escudo, mientras que, cuando se requieren dos muescas, éstas deben situarse paralelas

tiempo que mejora la claridad, precisión y repetibilidad del marcaje.

Es importante destacar que el SIMUL ha sido aplicado durante más de siete años para el estudio de las poblaciones de la Casquito Pardo (*Kinosternon abaxillare*) en el municipio de Villaflores, Chiapas, México. Hasta noviembre de 2025 se han marcado más de 600 individuos, sin registrarse dificultades en su identificación ni evidencia de afectaciones aparentes asociadas al método. Un hallazgo que respalda esta afirmación es la recaptura en 2025 del individuo número 18, originalmente marcado en 2018 (Reyes-Grajales, com. pers.).

Una ventaja clave del SIMUL es que evita deliberadamente realizar muescas en los escudos marginales ubicadas en el punto medio del caparazón. Este diseño minimiza el riesgo de generar una abertura expuesta en la cavidad celómica, lo que podría representar un riesgo de bienestar si se marcaran escudos a profundidad de manera inadecuada. Al preservar la integridad de los escudos centrales, el SIMUL reduce la probabilidad de lesiones o infecciones, mejora la seguridad en estudios de campo a largo plazo y se alinea con los estándares éticos de la investigación en fauna silvestre. Entre estos destaca el criterio fundamental que establece que los procedimientos empleados no deben comprometer la integridad de los individuos ni alterar la dinámica de la comunidad biológica en el que se desarrollan (Beaupre et al. 2004).

La lógica jerárquica del sistema numérico (unidades, decenas, centenas, millares) aumenta la confiabilidad del método, ya que los valores mayores se consultan primero, lo que reduce errores de lectura tanto durante el marcaje inicial como en las recapturas. Las recomendaciones precisas sobre el espaciamiento, orientación y profundidad de las muescas estandarizan la aplicación del método entre distintos observadores de campo, minimizando el sesgo y los errores acumulativos a lo largo del tiempo. Además, el hecho de que el sistema utilice solo los tres primeros escudos marginales por grupo numérico simplifica la capacitación y aplicación del método sin comprometer el número máximo de códigos posibles.

No obstante, es necesario capacitar adecuadamente al personal de campo para asegurar una colocación e interpretación correctas de las muescas, especialmente en códigos numéricos altos que involucran múltiples escudos. El acceso físico al caparazón sigue siendo

un requisito indispensable, y el desgaste extremo o la pérdida de escudos podrían representar desafíos en algunos casos. Estudios comparativos futuros que evalúen el SIMUL frente a los métodos convencionales de muescado y al uso de PIT tags en diferentes especies y hábitats, serán valiosos para cuantificar su confiabilidad, aplicabilidad y durabilidad a largo plazo.

CONCLUSIÓN

El SIMUL constituye un avance metodológico en el marcaje de tortugas, al combinar permanencia, legibilidad y mínima invasividad. Su sistema de codificación numérica, la evitación deliberada de los escudos centrales y las recomendaciones prácticas de campo mejoran tanto la integridad de los datos como el bienestar animal, posicionándolo como una herramienta prometedora para la investigación ecológica y el monitoreo de conservación de las tortugas de caparazón duro.

AGRADECIMIENTOS

La y los autores agradecen el apoyo del Turtle Survival Alliance, el Mohamed bin Zayed Species Conservation Fund (242536595) y el Turtle Conservation Fund, Chelonian Research Foundation (TCF-0790) por respaldar el trabajo de campo, y el desarrollo de este manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Beaupre, S. J., Jacobsen, E. R., Lillywhite, H. B. y Zamudio, K. 2004. Guidelines for use of live amphibians and reptiles in field and laboratory research. 2nd Edition. Herpetological Animal Care and Use Committee-American Society of Ichthyologists and Herpetologists. Lawrence, Kansas, USA. <https://ssarherps.org/wp-content/uploads/2014/07/guidelinesherpsresearch2004.pdf>
- Broderick, A. C. y Godley, B. J. 1999. Effect of tagging marine turtles on nesting behaviour and reproductive success. *Animal Behaviour* 58(3): 587–591. <https://doi.org/10.1006/anbe.1999.1183>
- Burger, J. y Montevecchi, W. A. 1975. Nest site selection in the Terrapin *Malaclemys terrapin*. *Copeia* 1975(1): 113–119. <https://doi.org/10.2307/1442413>
- Cagle, F. R. 1939. A system of marking turtles for

future identification. *Copeia* 1939(3): 170. <https://doi.org/10.2307/1436818>

Nagle, R. D., Kinney, O. M., Gibbons, J. W. y Congdon, J. D. 2017. A simple and reliable system for marking hard-shell turtles: the North American Codee. *Herpetological Review* 48(2): 327–330. <https://sites.lsa.umich.edu/esgr/wp-content/uploads/sites/105/2020/03/NagleetalTuCode.pdf>

Omeyer, L. C. M., Casale, P., Fuller, W. J., Godley, B. J., Holmes, K. E., Snape, R. T. E. y Broderick, A. C. 2019. The importance of passive integrated transponder (PIT) tags for measuring life-history traits of sea turtles. *Biological Conservation* 240: 108248. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108248>

Woodbury, A. M. y Hardy, R. 1948. Studies of the Desert Tortoise, *Gopherus agassizii*. *Ecological Monographs* 18(2): 145–200. <https://doi.org/10.2307/1948638>