

Taller FAO – Santa Marta (Colombia), Julio 2024

## Mapas de riesgo jurisdiccionales para la asignación de la deforestación



Ghislain VIEILLEDENT<sup>1</sup> Thomas ARSOUZE<sup>1</sup> equipo FAO<sup>2</sup>  
[1] Cirad UMR AMAP, [2] FAO Roma y América Latina



# Contenido

---

- 1 Introducción
  - Mejorar las metodologías de certificación
  - Asignación de la deforestación a proyectos
- 2 Metodología Verra para la cartografía de riesgos
  - Herramienta VT0007
  - Modelo de referencia
  - Modelos alternativos y validación
- 3 Programa informático de cartografía del riesgo de deforestación
  - Software Verra/Clark Labs
  - Programas informáticos existentes para modelos alternativos
  - Limitaciones
- 4 Conclusión
  - Una metodología no tan sencilla
  - Necesidad de una herramienta integradora : deforisk plugin

# Contenido

---

- 1 Introducción
  - Mejorar las metodologías de certificación
  - Asignación de la deforestación a proyectos

- 2 Metodología Verra para la cartografía de riesgos
  - Herramienta VT0007
  - Modelo de referencia
  - Modelos alternativos y validación

- 3 Programa informático de cartografía del riesgo de deforestación
  - Software Verra/Clark Labs
  - Programas informáticos existentes para modelos alternativos
  - Limitaciones

- 4 Conclusión
  - Una metodología no tan sencilla
  - Necesidad de una herramienta integradora : deforisk plugin

# Contenido

---

- 1 Introducción
  - Mejorar las metodologías de certificación
  - Asignación de la deforestación a proyectos
- 2 Metodología Verra para la cartografía de riesgos
  - Herramienta VT0007
  - Modelo de referencia
  - Modelos alternativos y validación

- 3 Programa informático de cartografía del riesgo de deforestación
  - Software Verra/Clark Labs
  - Programas informáticos existentes para modelos alternativos
  - Limitaciones
- 4 Conclusión
  - Una metodología no tan sencilla
  - Necesidad de una herramienta integradora : deforisk plugin

## Varias críticas al enfoque basado en proyectos

---

Se dirigieron varias críticas a las anteriores metodologías REDD+ para la certificación de créditos de carbono, acusándolas de sobrevender créditos.

- **No adicionalidad** : Las reducciones de emisiones se habrían producido de todos modos. Niveles de referencia inflados a nivel de proyecto. Los niveles de referencia jurisdiccionales son razonablemente buenos predictores de las tendencias futuras.
- **Fuga** : Cuanto mayor sea el área cubierta por una iniciativa REDD+, menor será el riesgo de fuga.
- **Inversión** : Las jurisdicciones tienen menos probabilidades que los proyectos de ver diezadas sus reservas forestales de carbono por una perturbación.

Frances Seymour (WRI) : **Cuatro razones por las que un enfoque jurisdiccional para la acreditación de REDD+ es superior a un enfoque basado en proyectos.**

# Nuevo enfoque jurisdiccional

---

## Intensidad de la deforestación

- Datos de referencia de la actividad o Nivel de Emisión de Referencia Forestal a nivel jurisdiccional
- Cantidad de deforestación.
- “Cantidad” o “intensidad” de la deforestación.

## Riesgo espacial de deforestación

- Mapa del riesgo de deforestación a nivel jurisdiccional.
- Probabilidad espacial relativa de deforestación.
- “Ubicación” de la deforestación.

# Contenido

---

- 1 **Introducción**
  - Mejorar las metodologías de certificación
  - **Asignación de la deforestación a proyectos**

- 2 Metodología Verra para la cartografía de riesgos
  - Herramienta VT0007
  - Modelo de referencia
  - Modelos alternativos y validación

- 3 Programa informático de cartografía del riesgo de deforestación
  - Software Verra/Clark Labs
  - Programas informáticos existentes para modelos alternativos
  - Limitaciones

- 4 **Conclusión**
  - Una metodología no tan sencilla
  - Necesidad de una herramienta integradora : deforisk plugin

# Mapa del riesgo a nivel jurisdiccional.

## Objetivos

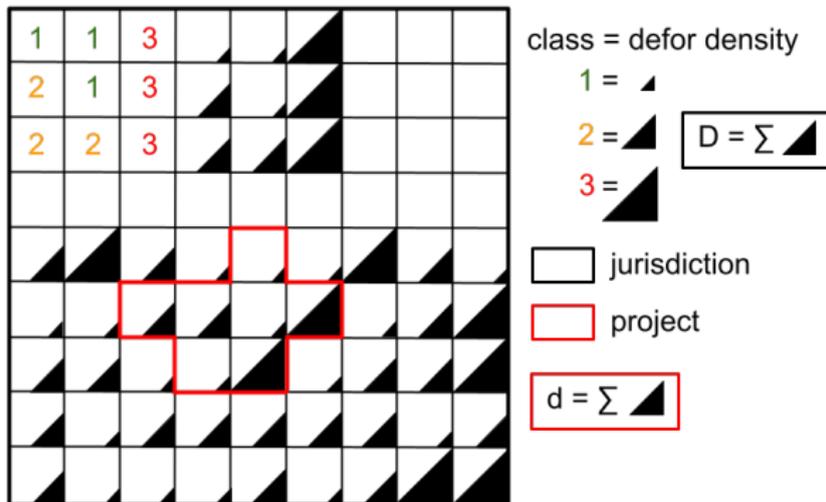
- Identificación de focos de deforestación.
- Clasificación de los píxeles forestales en función del riesgo de deforestación.
- Un modelo único para toda la jurisdicción (sin discrepancias metodológicas entre proyectos).
- Utilice este mapa para asignar la deforestación (estimada para la jurisdicción) por proyecto.



Figure – Mapa del riesgo de deforestación en Peru.  
Verde : bajo, Rojo/Negro : alto.

# Asignación de la deforestación a proyectos

- Mapa de riesgo jurisdiccional : un mapa con clases de riesgo de deforestación.
- Obtención de un mapa de densidad de deforestación : Clase de riesgo de deforestación [1, 2, ..., I] → Densidad de deforestación (ha/año/píxel).
- Puede utilizarse para asignar la deforestación por proyecto.



# Contenido

---

- 1 Introducción
  - Mejorar las metodologías de certificación
  - Asignación de la deforestación a proyectos
- 2 Metodología Verra para la cartografía de riesgos
  - Herramienta VT0007
  - Modelo de referencia
  - Modelos alternativos y validación
- 3 Programa informático de cartografía del riesgo de deforestación
  - Software Verra/Clark Labs
  - Programas informáticos existentes para modelos alternativos
  - Limitaciones
- 4 Conclusión
  - Una metodología no tan sencilla
  - Necesidad de una herramienta integradora : deforisk plugin

# Contenido

---

- 1 Introducción
  - Mejorar las metodologías de certificación
  - Asignación de la deforestación a proyectos
- 2 Metodología Verra para la cartografía de riesgos
  - Herramienta VT0007
  - Modelo de referencia
  - Modelos alternativos y validación
- 3 Programa informático de cartografía del riesgo de deforestación
  - Software Verra/Clark Labs
  - Programas informáticos existentes para modelos alternativos
  - Limitaciones
- 4 Conclusión
  - Una metodología no tan sencilla
  - Necesidad de una herramienta integradora : deforisk plugin

# Herramienta VT0007

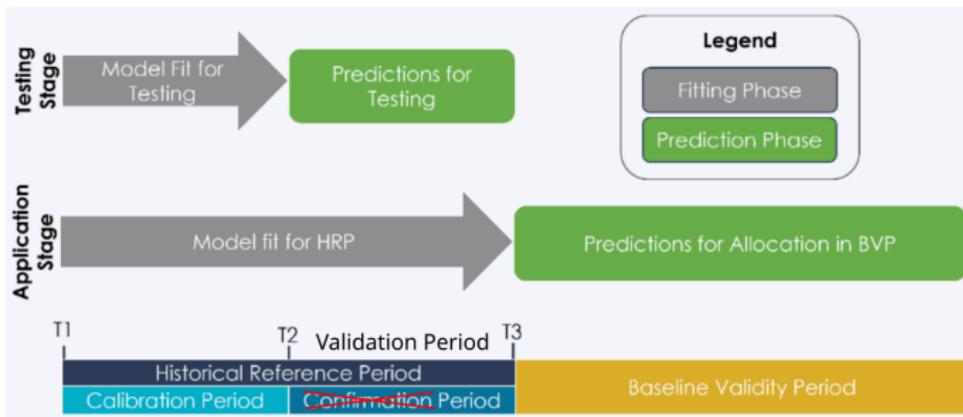
---

- Desarrollado por la Universidad Clark (J. R. Eastman y R. G. Pontius Jr.) para Verra.
- **Objetivo** : Obtener el mejor mapa de riesgos posible a nivel jurisdiccional.

## Pasos básicos

- 1 Utilizar un modelo de referencia razonablemente bueno para cartografiar el riesgo de deforestación.
- 2 Dejar que el usuario proponga mapas alternativos a partir de modelos alternativos.
- 3 Fase de validación : comprobar que los modelos alternativos son mejores que el modelo de referencia.
- 4 Utilice el mejor mapa alternativo para asignar la deforestación.

# Periodos de modelación



- Tres fechas : t1, t2, t3.
- Cuatro periodos : calibración, validación, histórico, (periodo de validez para el modelo de referencia).
- Por qué distintos periodos : las predicciones del modelo deben compararse con **datos independientes** (periodo de validación).
- Para hacer previsiones después de t3, queremos utilizar el mayor número de datos posible (periodo histórico).

# Contenido

---

- 1 Introducción
  - Mejorar las metodologías de certificación
  - Asignación de la deforestación a proyectos
- 2 Metodología Verra para la cartografía de riesgos
  - Herramienta VT0007
  - Modelo de referencia
  - Modelos alternativos y validación
- 3 Programa informático de cartografía del riesgo de deforestación
  - Software Verra/Clark Labs
  - Programas informáticos existentes para modelos alternativos
  - Limitaciones
- 4 Conclusión
  - Una metodología no tan sencilla
  - Necesidad de una herramienta integradora : deforisk plugin

## Modelo de referencia

---

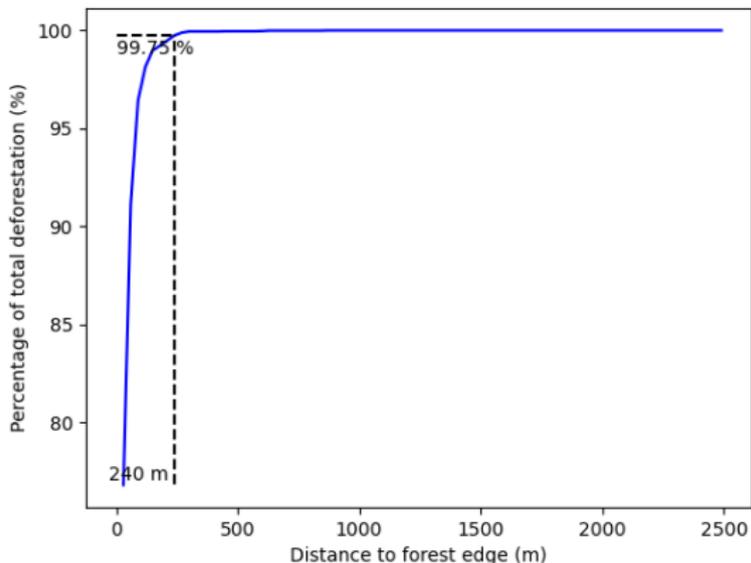
- Modelo de referencia.
- Un modelo de deforestación razonablemente bueno (mejor que un modelo nulo).
- Asumiendo una *disminución de la deforestación con la distancia al borde del bosque* (comúnmente admitido).
- Y un *modelo diferente entre subjurisdicciones* (variabilidad regional).



Figure – Subjurisdicciones en Martinica (MTQ)

# Umbral de distancia

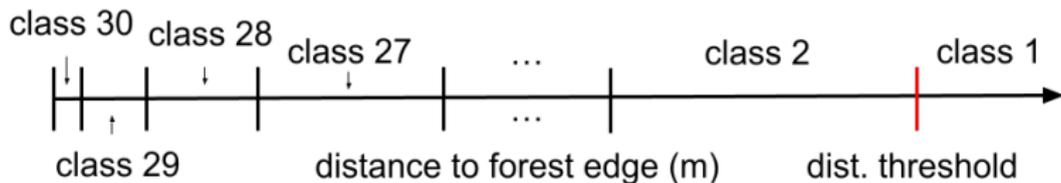
- Identifique la distancia al borde del bosque por debajo de la cual se produce el **99,5%** de la deforestación.
- Utilice esta distancia para definir la primera clase de riesgo (clase 1).



## De la distancia a la clase de riesgo

---

- Las distancias por debajo del umbral se transforman en clases de riesgo de deforestación.
- Para ello se utiliza una serie geométrica que garantiza que las clases tengan un rango más amplio para distancias mayores.
- Definimos 29 clases de riesgo adicionales, de la 2 a la 30 (la clase 1 ya está definida).



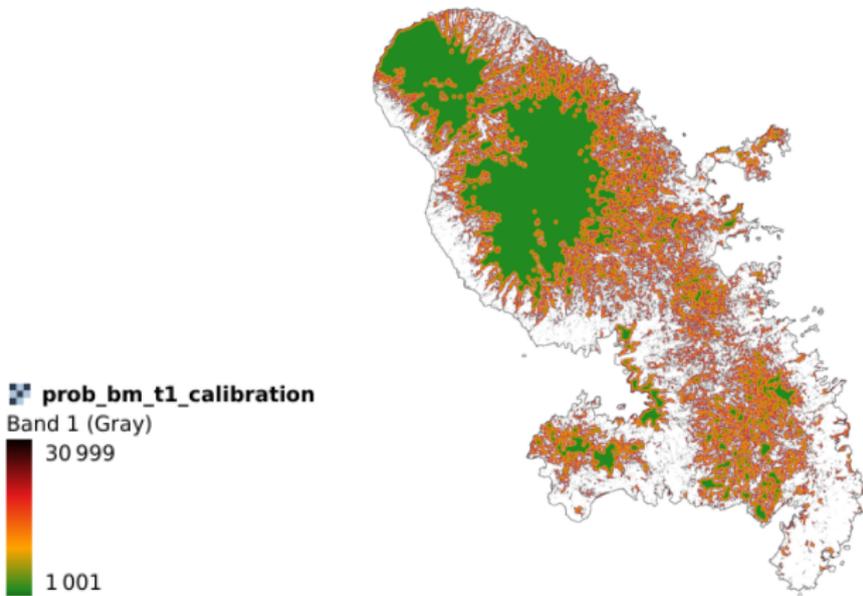
## Clases de subjurisdicciones

---

- Cada subjurisdicción recibe un número del 1 al (potencialmente) 999.
- Combinamos las clases derivadas de la distancia con las subjurisdicciones de la siguiente manera : **DDSSS**, siendo **DD** la clase de distancia y **SSS** el número de subjurisdicción.
- Obtenemos clases que van desde 01001 hasta potencialmente 30999 si hay 999 subjurisdicciones.
- Así, para 10 subjurisdicciones, obtenemos ~300 clases (pero pueden faltar algunas clases de distancia).

## Clases de subjurisdicciones

- Siguiendo estos pasos, obtenemos un mapa a nivel jurisdiccional en el que cada píxel de bosque pertenece a una clase determinada de riesgo de deforestación.
- Área en verde oscuro : clases **1SSS**, más allá del umbral de deforestación.



## Intensidad de la deforestación

---

- Cada clase  $i$  tiene asociada una **probabilidad de deforestación** :  $\theta_{m,i} = d_i/n_i$  (sin unidades), siendo  $d_i$  el número de píxeles deforestados durante el periodo, y  $n_i$  el número de píxeles forestales al principio del periodo.
- **Ajuste de la cantidad**  $\rho$  :  $\theta_{a,i} = \rho\theta_{m,i}$ , de modo que la deforestación total prevista = deforestación observada (o esperada). Para el modelo de referencia para la calibración y los periodos históricos,  $\rho = 1$ .
- **Densidad de deforestación (en ha/año por píxel)** calculada como  $\delta_i = \theta_{a,i} \times A/T$ .  $A$  : superficie del píxel (en ha),  $T$  : intervalo de tiempo del periodo (en años).
- La densidad de deforestación se utiliza para predecir la cantidad de deforestación de cada píxel perteneciente a una determinada clase de riesgo de deforestación.

## Intensidad de la deforestación

**Table** – Tasas de deforestación para cada clase de riesgo de deforestación (cifras truncadas a tres dígitos decimales).

cat	$n_i$	$d_i$	$\theta_{m,i}$	$\theta_{a,i}$	$T$	$A$	$\delta_i$
1001	33433	0	0.0	0.0	10	0.09	0.0
1002	12965	0	0.0	0.0	10	0.09	0.0
1003	91686	19	2.072e-04	2.072e-04	10	0.09	1.865e-06
1004	82279	5	6.076e-05	6.076e-05	10	0.09	5.469e-07
2001	1373	0	0.0	0.0	10	0.09	0.0

**Densidad de deforestación (en ha/año por píxel)** calculada como  

$$\delta_i = \theta_{a,i} \times A/T$$

# Intensidad de la deforestación

El mejor mapa se utilizará para **asignar la deforestación** a proyectos dentro de la jurisdicción.

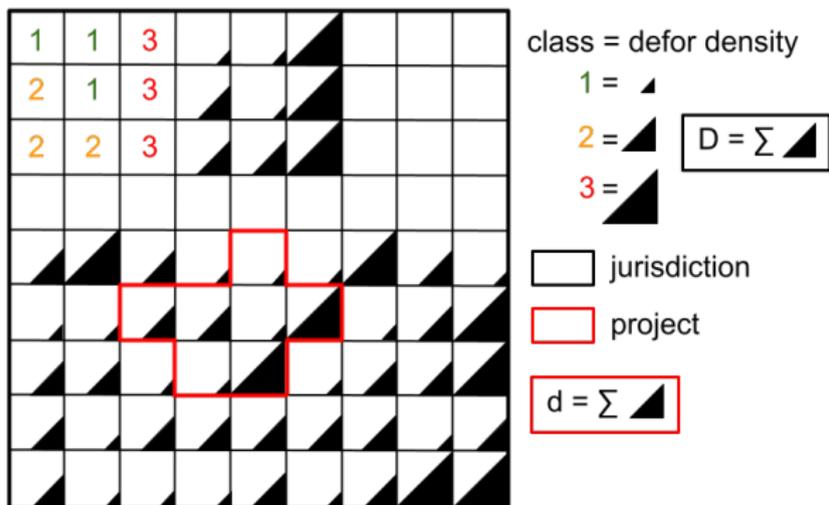


Figure – Asignación de la deforestación a proyectos dentro de la jurisdicción.

# Contenido

---

- 1 Introducción
  - Mejorar las metodologías de certificación
  - Asignación de la deforestación a proyectos
- 2 Metodología Verra para la cartografía de riesgos
  - Herramienta VT0007
  - Modelo de referencia
  - Modelos alternativos y validación
- 3 Programa informático de cartografía del riesgo de deforestación
  - Software Verra/Clark Labs
  - Programas informáticos existentes para modelos alternativos
  - Limitaciones
- 4 Conclusión
  - Una metodología no tan sencilla
  - Necesidad de una herramienta integradora : deforisk plugin

## Modelos alternativos

---

- Los mapas alternativos utilizando modelos alternativos deben compararse con el modelo de referencia.
- El modelo alternativo puede ser de diferentes formas : modelo de geoprocésamiento (ventana móvil), modelo estadístico (iCAR, GLM, RF).
- Por ejemplo, Clark Labs propone el modelo estadístico MLP (Multi-Layer Perceptron) en el módulo Land Change Modeller del software **TerrSet**.

## Modelos alternativos

---

- Debe facilitarse un mapa de riesgo con las densidades de deforestación derivadas del modelo alternativo.

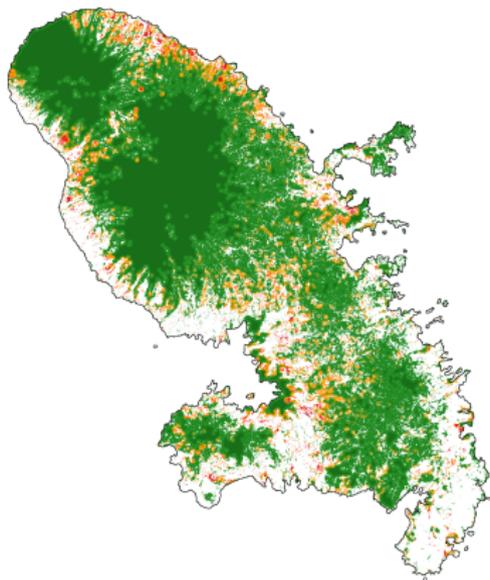


Figure – Mapa de riesgo obtenido con un modelo de ventana móvil.

# Procedimiento de validación

- Comparación de la deforestación prevista frente a la observada (en ha) en una cuadrícula gruesa.
- Durante un periodo de tiempo determinado.

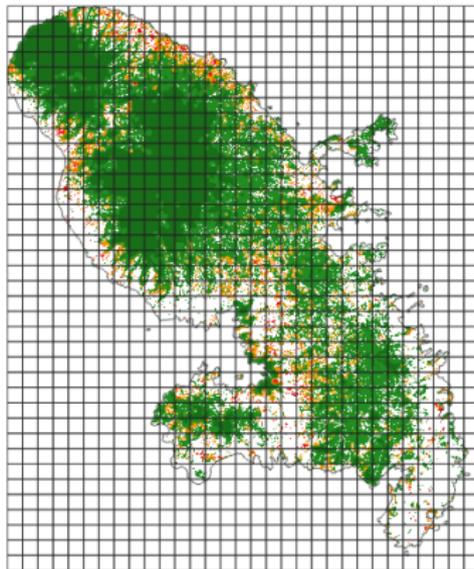
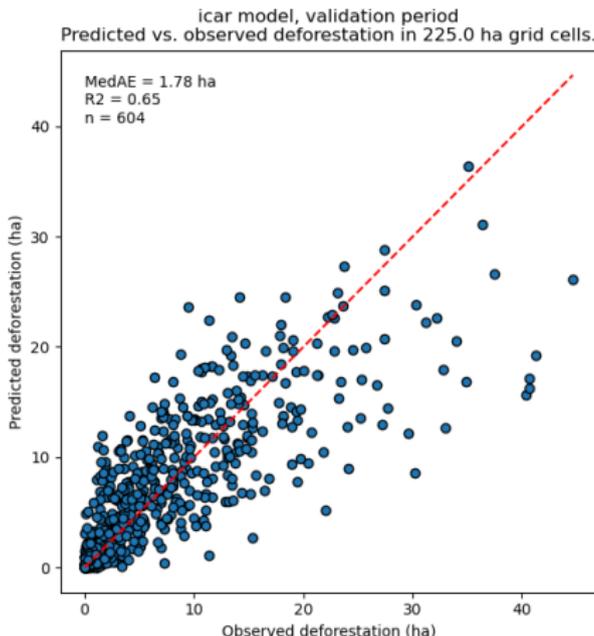


Figure – Cuadrícula gruesa que cubre el área de interés.

# Procedimiento de validación

- Comparación entre la deforestación prevista y la observada.
- Índices de rendimiento :  $R^2$ , y mediana del error absoluto (MedAE).



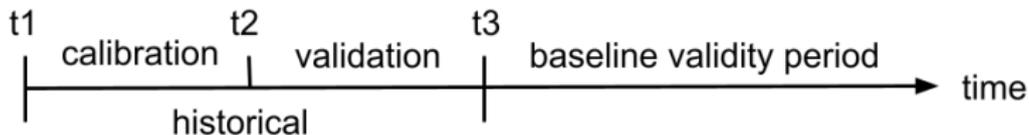
## Procedimiento de validación

- Se calculan índices de rendimiento para cada modelo.
- Se selecciona el modelo con mayor  $R^2$  y menor MedAE.

Table – Índices de rendimiento.

ncell	periodo	modelo	MedAE	R2	RMSE	wRMSE
604	validación	bm	2.71	0.43	6.08	6.22
604	validación	icar	1.78	0.65	4.79	4.59
604	validación	glm	2.39	0.38	6.39	6.52
604	validación	rf	2.09	0.50	5.69	5.74
604	validación	mw_11	2.34	0.56	7.66	6.83
604	validación	mw_21	2.51	0.56	7.54	6.66

# Procedimiento de validación



- Podemos comparar la deforestación prevista frente a la observada para tres periodos de tiempo : **calibración**, **validación** y **periodo histórico**.
- Estimar el rendimiento del modelo para predecir la deforestación en el futuro : **deforestación prevista frente a la observada** para el **periodo de validación** con un modelo ajustado durante el **periodo de calibración**.
- De este modo, utilizamos **observaciones independientes** de la deforestación para la validación del modelo (la deforestación observada durante el periodo de validación no se ha utilizado para calibrar el modelo).
- Metodología de Verra : el modelo alternativo debe ser mejor tanto para el periodo de calibración como para el de validación.

# Contenido

---

- 1 Introducción
  - Mejorar las metodologías de certificación
  - Asignación de la deforestación a proyectos
- 2 Metodología Verra para la cartografía de riesgos
  - Herramienta VT0007
  - Modelo de referencia
  - Modelos alternativos y validación

- 3 Programa informático de cartografía del riesgo de deforestación
  - Software Verra/Clark Labs
  - Programas informáticos existentes para modelos alternativos
  - Limitaciones
- 4 Conclusión
  - Una metodología no tan sencilla
  - Necesidad de una herramienta integradora : deforisk plugin

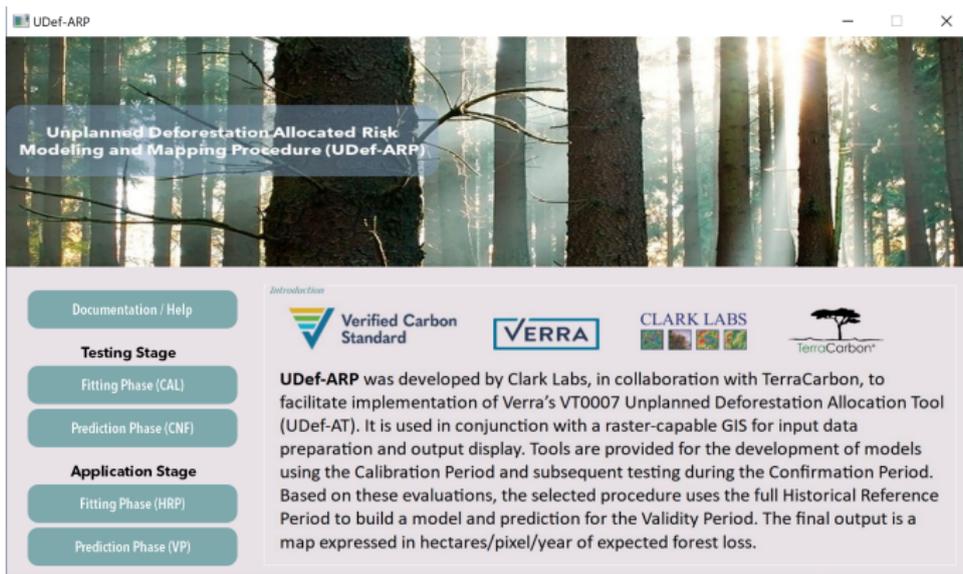
# Contenido

---

- 1 Introducción
  - Mejorar las metodologías de certificación
  - Asignación de la deforestación a proyectos
- 2 Metodología Verra para la cartografía de riesgos
  - Herramienta VT0007
  - Modelo de referencia
  - Modelos alternativos y validación

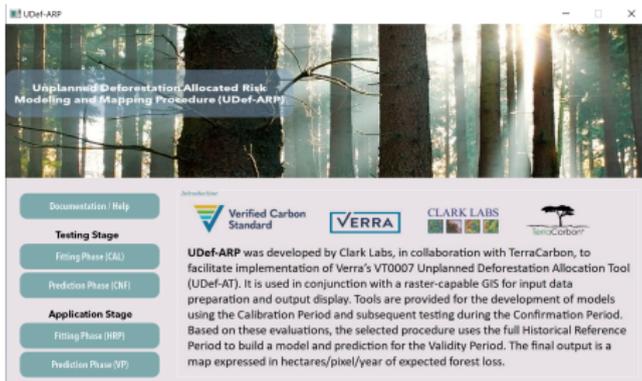
- 3 Programa informático de cartografía del riesgo de deforestación
  - Software Verra/Clark Labs
  - Programas informáticos existentes para modelos alternativos
  - Limitaciones
- 4 Conclusión
  - Una metodología no tan sencilla
  - Necesidad de una herramienta integradora : deforisk plugin

# Software Verra/Clark Labs



Aplicación independiente : <https://github.com/ClarkCGA/UDef-ARP>  
Plugin QGIS : <https://github.com/ClarkCGA/UDef-ARP-Plugin>

# Software Verra/Clark Labs



- El usuario debe proporcionar rásters : cambio de la cubierta forestal, distancia al borde del bosque en varias fechas, fronteras subjurisdiccionales, mapas de riesgo alternativo en varias fechas.
- A partir de estos datos, la UDef-ARP proporciona la base :
  - para desarrollar un modelo de referencia.
  - para comparar el modelo de referencia y los modelos alternativos.

## Limitaciones

---

- No hay ninguna herramienta que ayude a preparar los datos.
- No hay herramienta que ayude a desarrollar los **modelos alternativos**.
- Sólo Windows (de momento).
- Se requiere un ordenador con mucha RAM para una jurisdicción grande : todos los rásters se almacenan en RAM durante el procesamiento. Por lo tanto, las jurisdicciones de gran tamaño **requieren importantes asignaciones de RAM** (por ejemplo, 64Gb).
- Uso de data de tipo Float para mapas de riesgo con densidad de deforestación (ha/pixel/año) : **gran espacio en disco**.
- Documentación sólo en inglés, **no hay traducciones disponibles**.
- Herramienta reciente, algunos comentarios de los usuarios (por ejemplo, Fronterra) : [Post 1](#), [Post 2](#), [Post 3](#).

# Contenido

---

- 1 Introducción
  - Mejorar las metodologías de certificación
  - Asignación de la deforestación a proyectos
- 2 Metodología Verra para la cartografía de riesgos
  - Herramienta VT0007
  - Modelo de referencia
  - Modelos alternativos y validación

- 3 Programa informático de cartografía del riesgo de deforestación
  - Software Verra/Clark Labs
  - Programas informáticos existentes para modelos alternativos
  - Limitaciones
- 4 Conclusión
  - Una metodología no tan sencilla
  - Necesidad de una herramienta integradora : deforisk plugin

# Programas informáticos existentes para modelos alternativos

---

- **Dinamica EGO** : Universidade Federal de Minas Gerais, Brazil.
- **Land Change Modeler** : Clark Labs, Clark University, Worcester, USA.
- **CLUE** : Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Amsterdam, Netherlands .

**Grandes programas** con muchas aplicaciones. Muchos estudios científicos, publicados en un gran número de artículos científicos, han utilizado estos programas.

# Contenido

---

- 1 Introducción
  - Mejorar las metodologías de certificación
  - Asignación de la deforestación a proyectos
- 2 Metodología Verra para la cartografía de riesgos
  - Herramienta VT0007
  - Modelo de referencia
  - Modelos alternativos y validación

- 3 Programa informático de cartografía del riesgo de deforestación
  - Software Verra/Clark Labs
  - Programas informáticos existentes para modelos alternativos
  - Limitaciones
- 4 Conclusión
  - Una metodología no tan sencilla
  - Necesidad de una herramienta integradora : deforisk plugin

## Limitaciones

---

- No todos son de código abierto (por ejemplo, Dinamica EGO y LCM) : **transparencia**.
- No todos son gratuitos (por ejemplo, LCM) : pero hay descuentos para estudiantes y países en desarrollo.
- No todos permiten scripts (por ejemplo, LCM, CLUE) : **reproducibilidad**.
- Puede que no funcione con rásters de alta resolución ( $\leq 30$  m) en jurisdicciones grandes (escala de país).
- Número limitado de modelos estadísticos para modelizar el cambio de uso del suelo : precisión limitada y ajuste excesivo.

Ver **Vielledent et al.** 2021, *JOSS*, doi : [10.21105/joss.02975](https://doi.org/10.21105/joss.02975) para más detalles.

## Limitaciones

---

- La metodología de Verra incluye **varios pasos** (calibración, validación, previsión), que deben **repetirse** (modelo, periodo).
- Debe ser posible seguir la metodología de Verra con uno de estos programas (dados algunos requisitos, como un ordenador con mucha RAM).
- Pero exigiría mucho trabajo al usuario adaptar el uso del programa a la metodología de Verra (por ejemplo, paso de validación con cuadrícula gruesa).
- **Nota** : en la documentación de UDef-ARP, Clark Labs indica que tiene previsto ofrecer próximamente una utilidad para facilitar la creación de mapas de vulnerabilidad para modelos alternativos.

# Contenido

---

- 1 Introducción
  - Mejorar las metodologías de certificación
  - Asignación de la deforestación a proyectos
- 2 Metodología Verra para la cartografía de riesgos
  - Herramienta VT0007
  - Modelo de referencia
  - Modelos alternativos y validación
- 3 Programa informático de cartografía del riesgo de deforestación
  - Software Verra/Clark Labs
  - Programas informáticos existentes para modelos alternativos
  - Limitaciones
- 4 Conclusión
  - Una metodología no tan sencilla
  - Necesidad de una herramienta integradora : deforisk plugin

# Contenido

---

- 1 Introducción
  - Mejorar las metodologías de certificación
  - Asignación de la deforestación a proyectos
- 2 Metodología Verra para la cartografía de riesgos
  - Herramienta VT0007
  - Modelo de referencia
  - Modelos alternativos y validación
- 3 Programa informático de cartografía del riesgo de deforestación
  - Software Verra/Clark Labs
  - Programas informáticos existentes para modelos alternativos
  - Limitaciones
- 4 Conclusión
  - Una metodología no tan sencilla
  - Necesidad de una herramienta integradora : deforisk plugin

# Resumen

---

- Necesitamos un **mapa del riesgo de deforestación a nivel jurisdiccional**.
- Riesgo de deforestación : **densidad de deforestación** en ha/pixel/año.
- Este mapa debería ser mejor que el mapa derivado del modelo de referencia.
- El mejor mapa se utilizará para **asignar la deforestación a proyectos dentro de la jurisdicción**.

# Una metodología no tan sencilla

---

- El mapa de riesgos debe obtenerse siguiendo la metodología Verra/Clark Labs.
- La metodología se desarrolló pensando en la simplicidad.
- Pero la modelización de la deforestación es intrínsecamente complicada y la comparación y validación de modelos requiere un número mínimo de pasos.
- Esto dificulta el desarrollo de un modelo alternativo mejor que el modelo de referencia utilizando las herramientas existentes.

# Contenido

---

- 1 Introducción
  - Mejorar las metodologías de certificación
  - Asignación de la deforestación a proyectos
- 2 Metodología Verra para la cartografía de riesgos
  - Herramienta VT0007
  - Modelo de referencia
  - Modelos alternativos y validación
- 3 Programa informático de cartografía del riesgo de deforestación
  - Software Verra/Clark Labs
  - Programas informáticos existentes para modelos alternativos
  - Limitaciones
- 4 Conclusión
  - Una metodología no tan sencilla
  - Necesidad de una herramienta integradora : deforisk plugin

# Necesidad de una herramienta integradora : deforisk plugin

---

- Se necesita una utilidad que facilite la creación de mapas de riesgo para modelos alternativos.
- Especificidades :
  - **Integrativo** : todas las etapas de la metodología Verra (modelo de referencia, modelos alternativos, validación, asignación).
  - **Precisión** : alta precisión para prever la deforestación.
  - **Fácil de usar** : interfaz sencilla con documentación.
  - **Transparente y reproducible** : utilizando software de código abierto (importante para la certificación de créditos de carbono/biodiversidad).
- El Cirad y la FAO han trabajado en el desarrollo del deforisk plugin de QGIS para cumplir estos objetivos : <https://deforisk-qgis-plugin.org>.



... Gracias por su atención ...

<https://deforisk-qgis-plugin.org>

> Artículos > Referencias > Presentaciones



**cirad** **AIM** **Forests**



UK Government