



# PROYECTO PILOTO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN EL ECOSISTEMA DE MANGLE EN COSTA RICA Y BENÍN



# CUAJINIQUIL, COSTA RICA

DIAGNOSTICO AMBIENTAL E INSTALACIÓN DE MONITOREO:

AVANCES

- Estructura forestal, bioindicadores (neumatóforos, invasoras, plagas, condición de la madera)
- Sedimentos: Textura, Nitrógeno y fosforo Total, densidad aparente, Carbono orgánico e inorgánico, pH, potencial redox
- Agua intersticial: Nutrientes, salinidad, potencial redox, pH, temperatura
- Instalación de Thalimedes (modelo hidrológico)
- Productividad: Hojarasca y biomasa radicular
- Secuestro de carbono
- Emisión de metano

Rehabilitación hidrológica: Desazolve de canal natural  
Excavación de canales artificiales

Reforestación: *Rhizophora sp.*, *Laguncularia sp.*, *Avicennia sp.*

Monitoreo: Antes, durante y posterior a la rehabilitación  
Nutrientes, salinidad, potencial redox



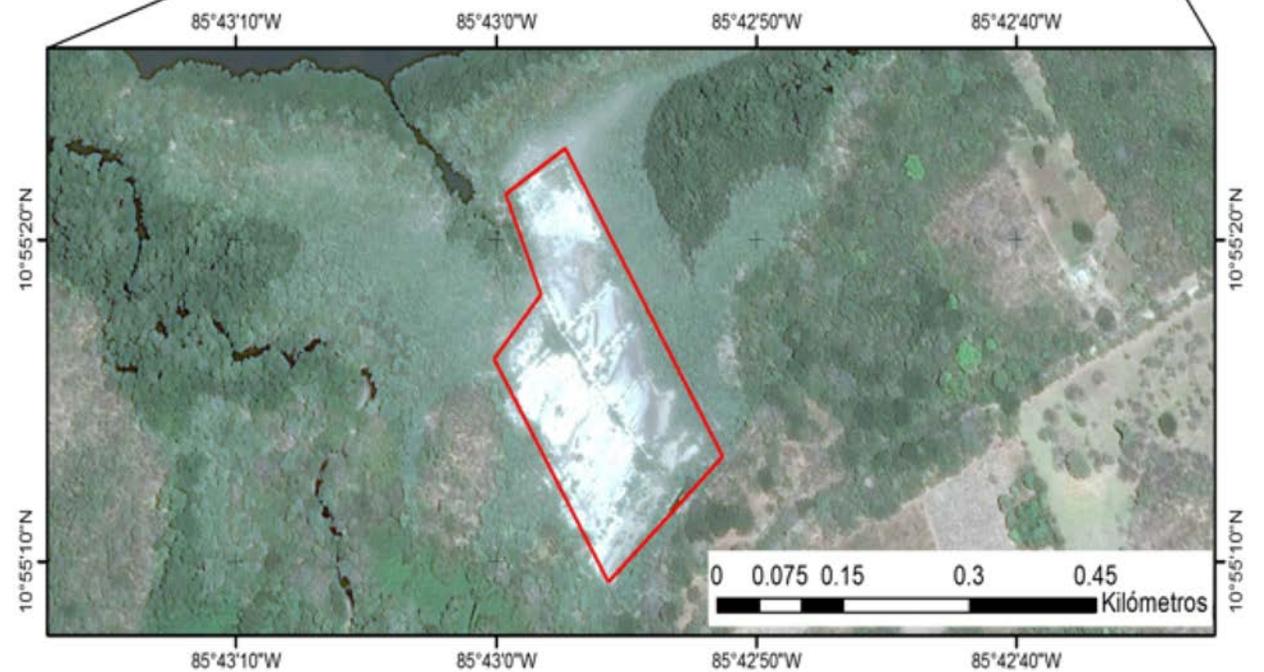
Cuajiniquil, Salina (aprox. 7 ha)  
Golfo del Papagayo



UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Leyenda

Área a compensar



## CANAL

pH  $7.8 \pm 0.07$ , °C  $29.2 \pm 0.83$ , mV  $89.3 \pm 86.1$ , UPS  $89 \pm 86$ .



## FRANJA 1

pH  $6.5 \pm 0.15$ , °C  $28.2 \pm 0.88$ , mV  $25.6 \pm 136.8$ , UPS  $42 \pm 9$ .

### Variables biológicas

*Avicennia germinans*

Densidad:  $1,225.23 \text{ Ind.m}^{-2}$ ; Área basal:  $13.32 \text{ ha}^{-1}$ ; Altura 6.21 m.

Fustes: 29.4 %, Tala: 5%, Mortalidad 22%



## FRANJA 2

pH  $6.3 \pm 0.16$ , °C  $28.0 \pm 0.85$ , mV  $36.776 \pm 105.93$ , UPS  $48 \pm 5$ .

### Variables biológicas

*Avicennia germinans*

Densidad:  $1,950 \text{ Ind.m}^{-2}$ ; Área basal:  $15.38 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ ; Altura 5.65 m.

Fustes: 5 %, Tala: 2%, Mortalidad 21%



## RESTAURACIÓN

pH  $6.7 \pm 0.36$ , °C  $31.73 \pm 1.04$ , mV  $89.95 \pm 30.90$ , UPS  $70.33 \pm 11.72$ .



0 m

25m

50m

70m

DIAGNOSTICO AMBIENTAL E INSTALACIÓN DE MONITOREO:  
AVANCES \_CUAJINIQUIL, COSTA RICA

Estructura forestal y productividad

51.0 +/- 5.7 UPS; 6.3 pH



Química del agua intersticial

Sedimentos



Carbono



181.5 mV; 85 mV: **restauración**



70.0 +/- 12 UPS; 6.7 pH

Excavación de canales artificiales



Instalación



Colecta de muestras

Determinación *in situ*



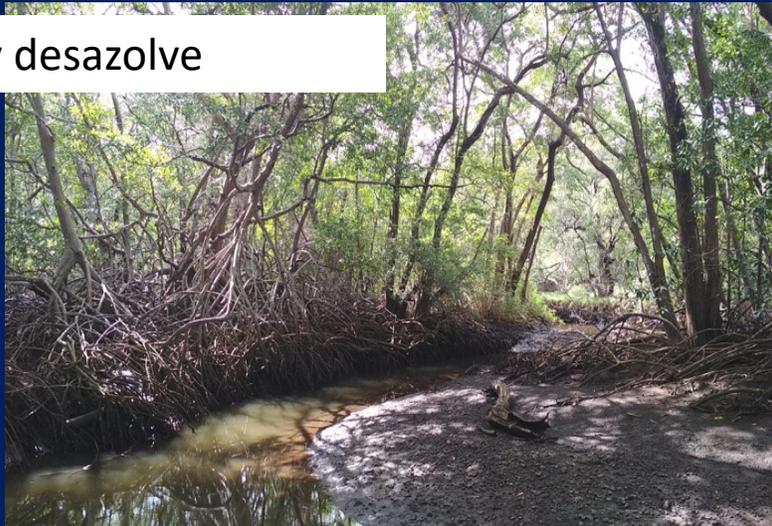
89.9 +/- 30.9 mV "acciones"

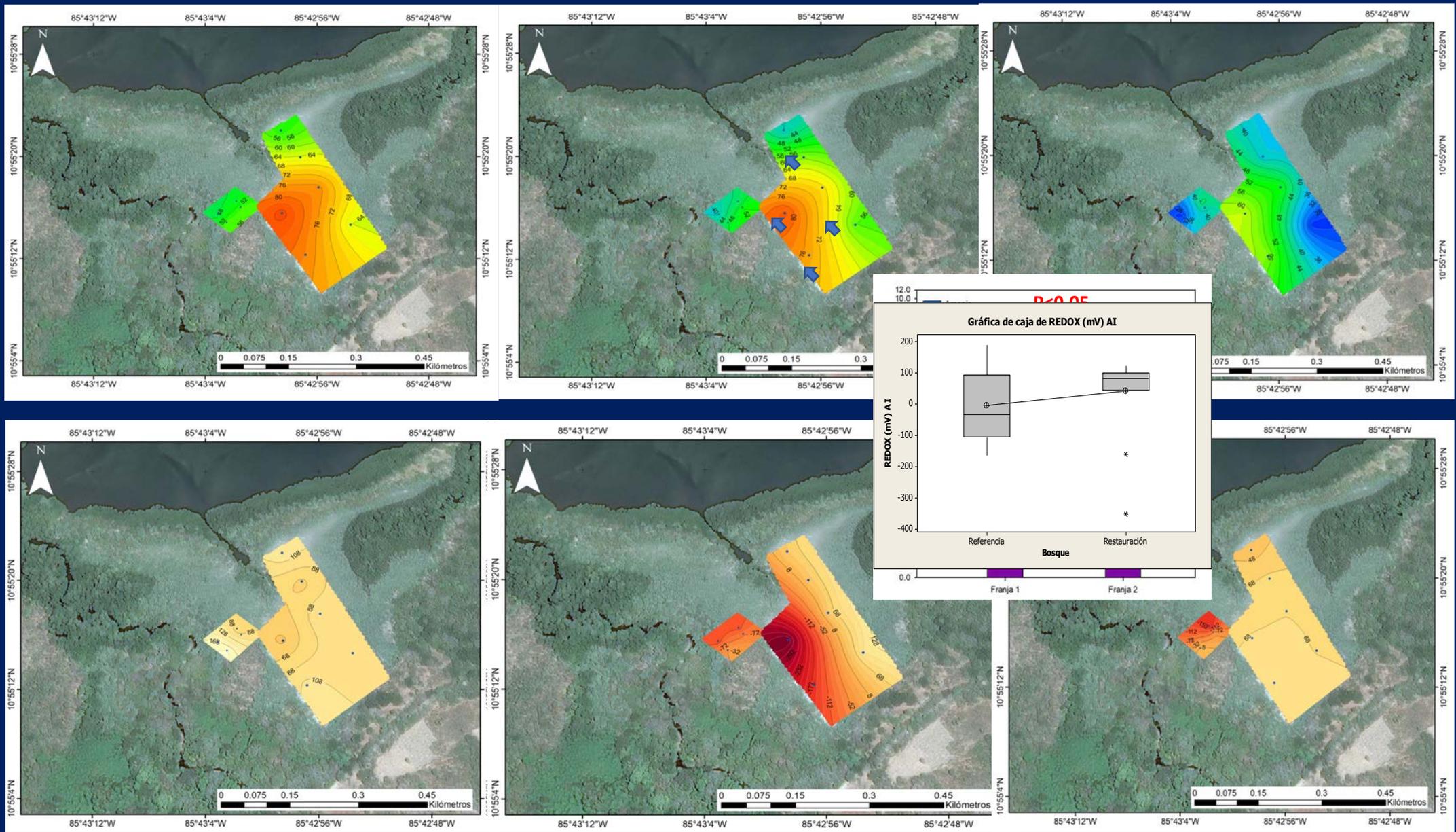
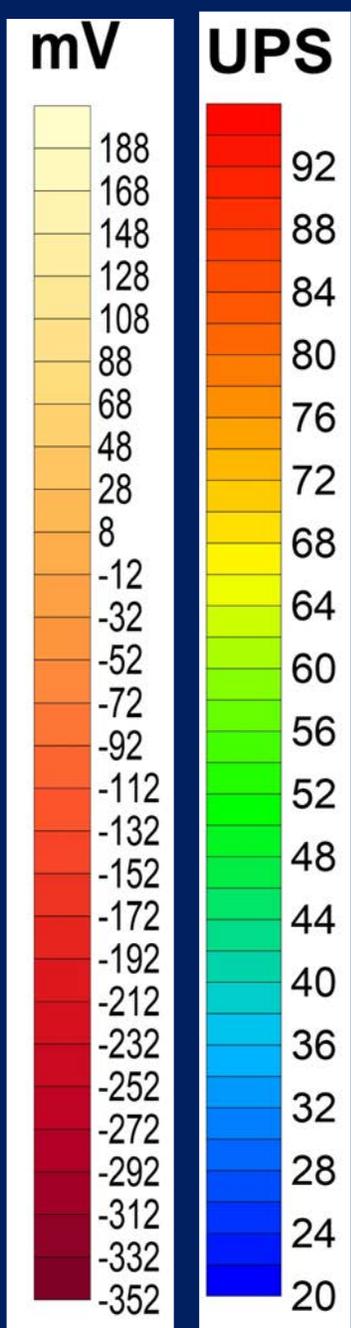


0 UPS, 185 mV, 7.9 pH



Limpieza y desazolve





AGOSTO-2018

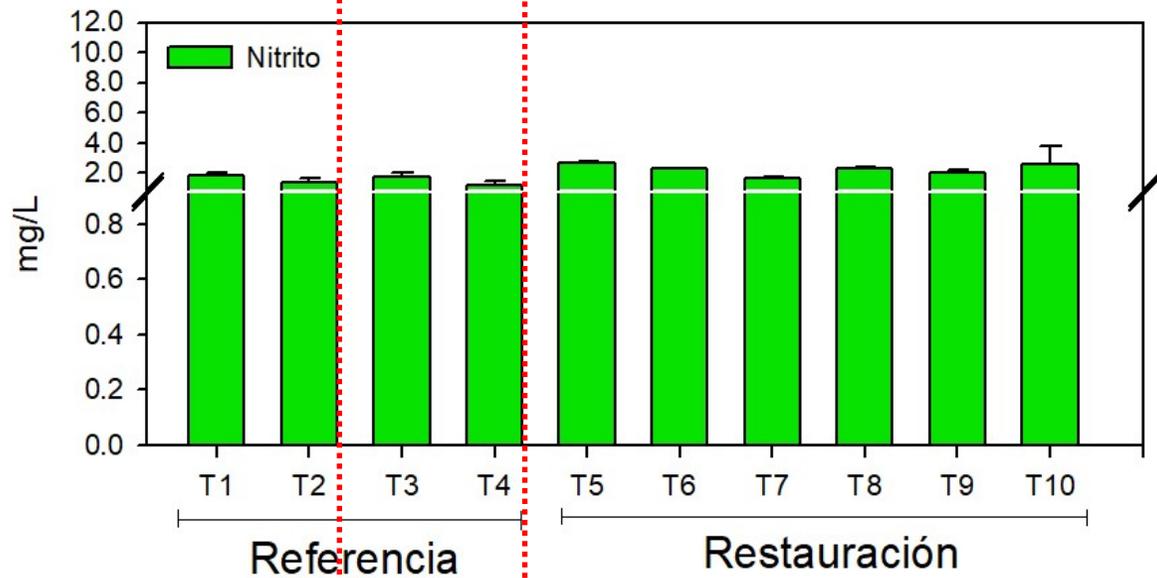
SEPTIEMBRE-2018

OCTUBRE-2018

# FRANJA

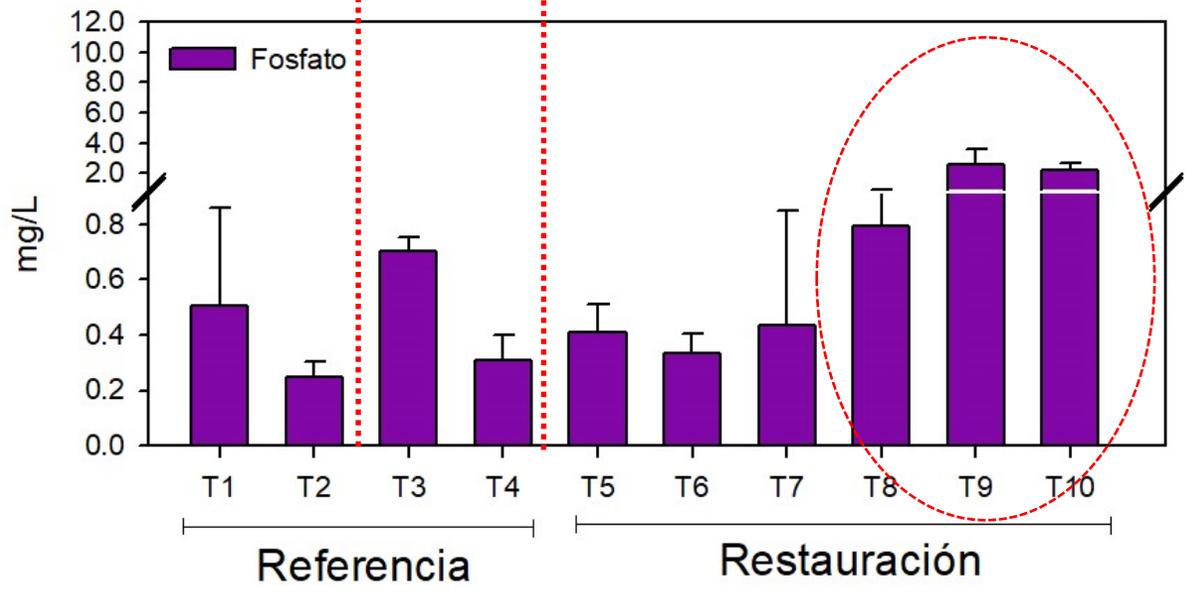
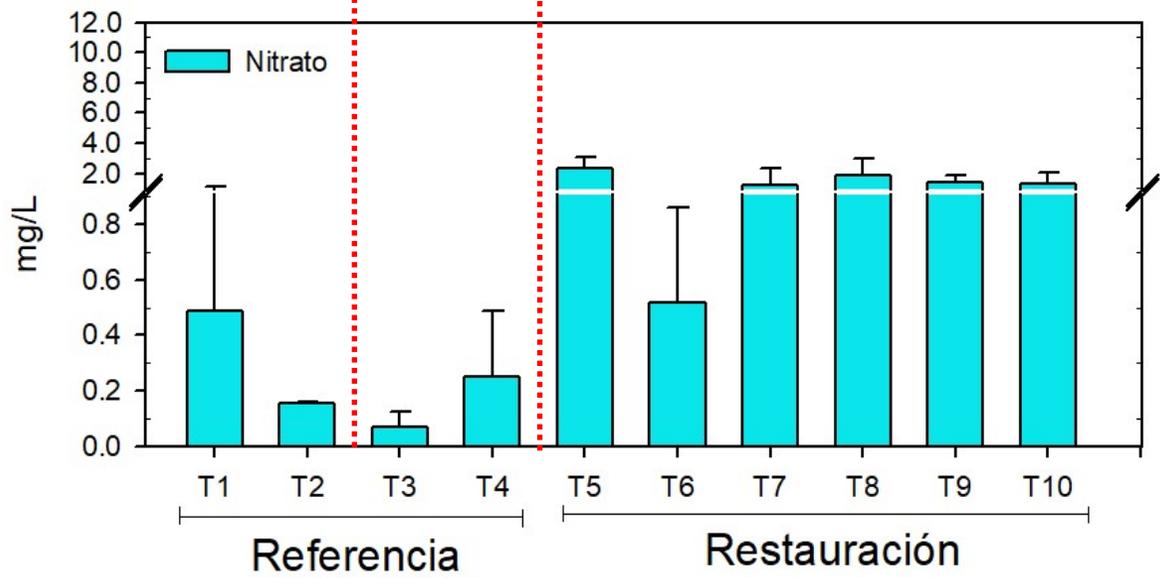
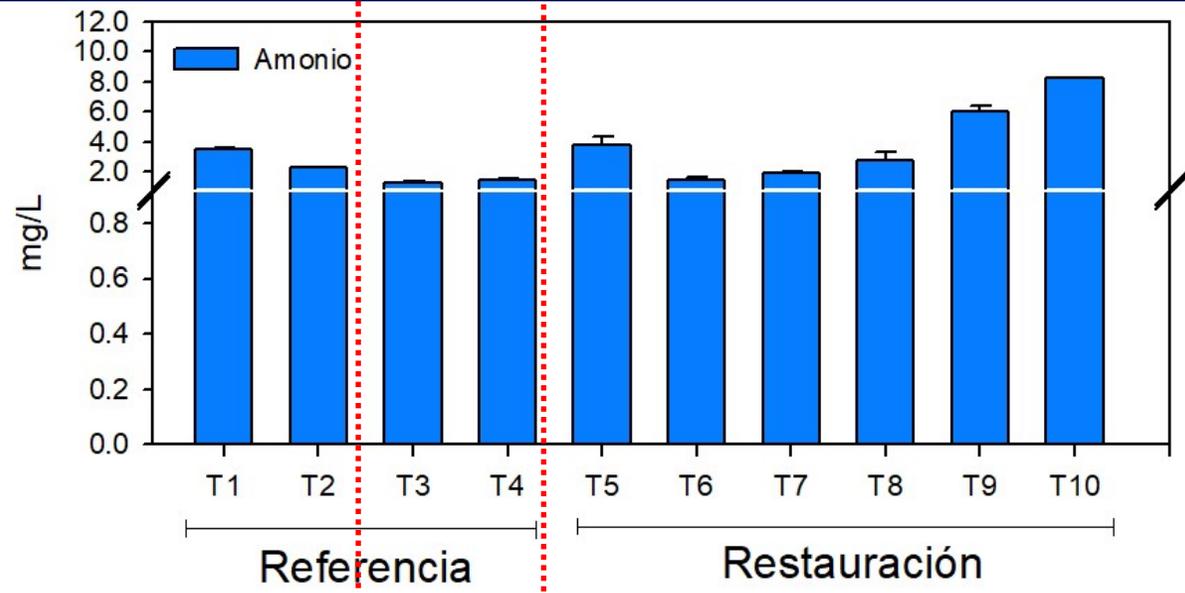
1

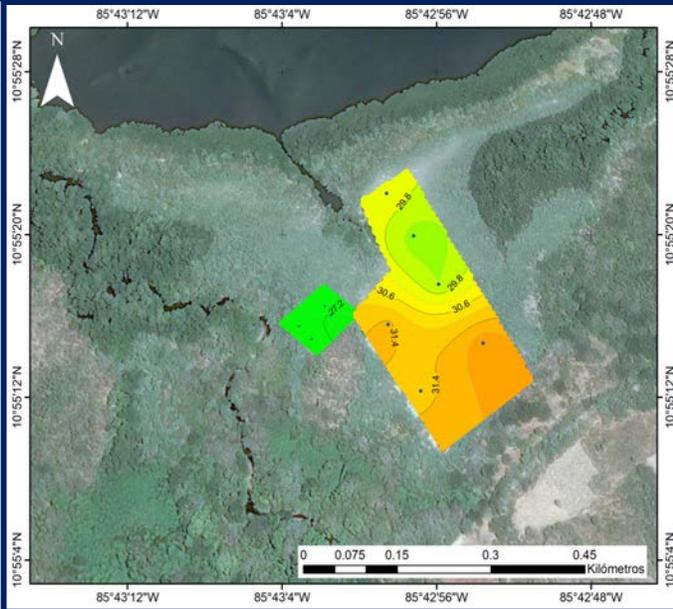
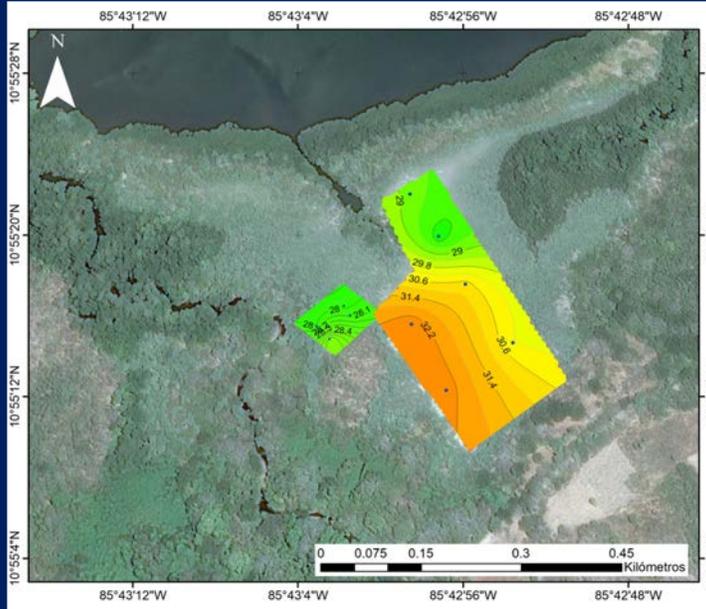
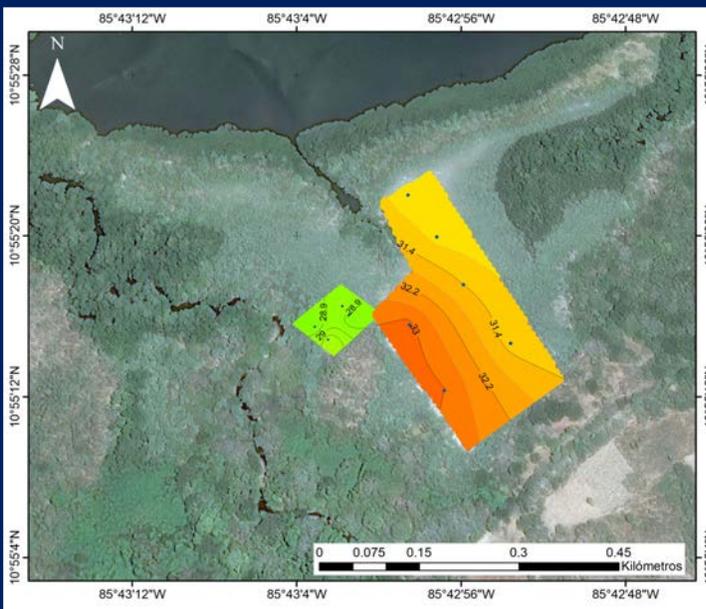
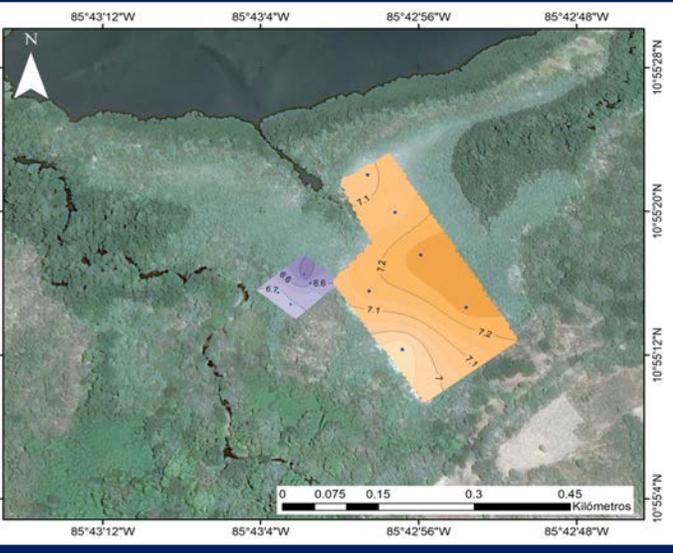
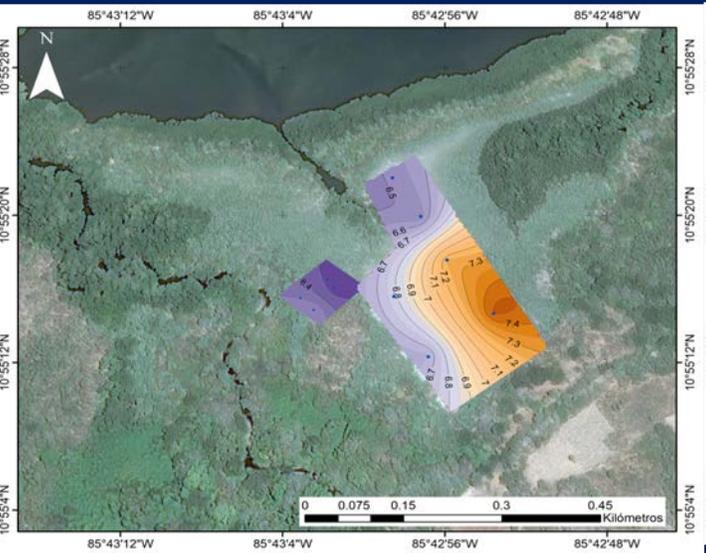
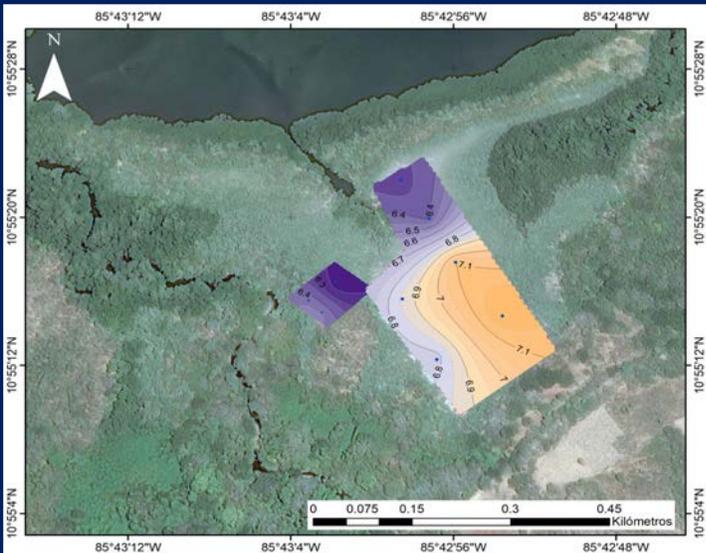
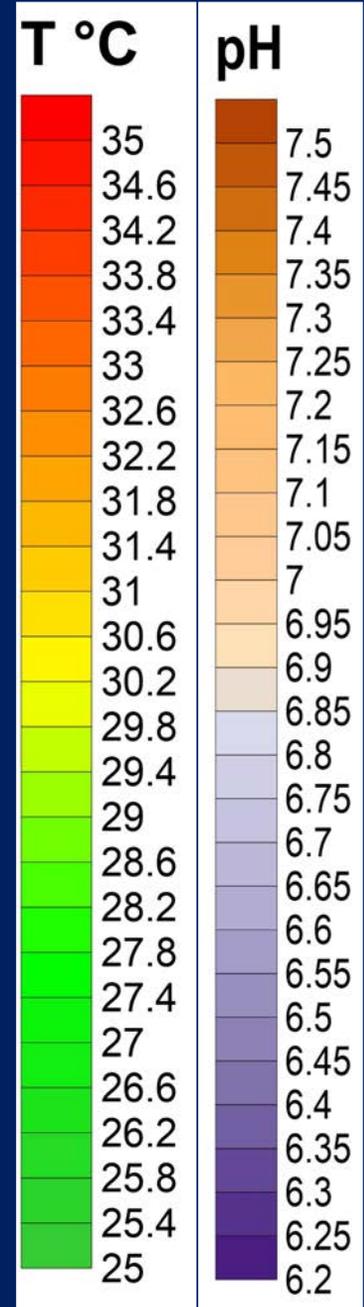
2



1

2





# TERRABA-SIERPE

AREAS DE RESTAURACIÓN

## Leyenda

○ Polígono

Polígono 1

Polígono 2

Polígono 3

Google Earth

Image © 2018 CNES / Airbus

© 2018 Google

1 km



# CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE LOS MANGLARES TERRABA SIERPE



Factores de estres



Cambios hidrológicos

Gradientes: salinidad  
oxigenación intersticial

FENOTIPOS



Fisonomía y especies





## Cambios hidrológicos, dinámica de sedimento y nivel topográfico



# ÁREA POTENCIAL: RESTAURACIÓN



6.0 ha





# PROPUESTAS





# PROPUESTA CON *Acrostichum aureum*

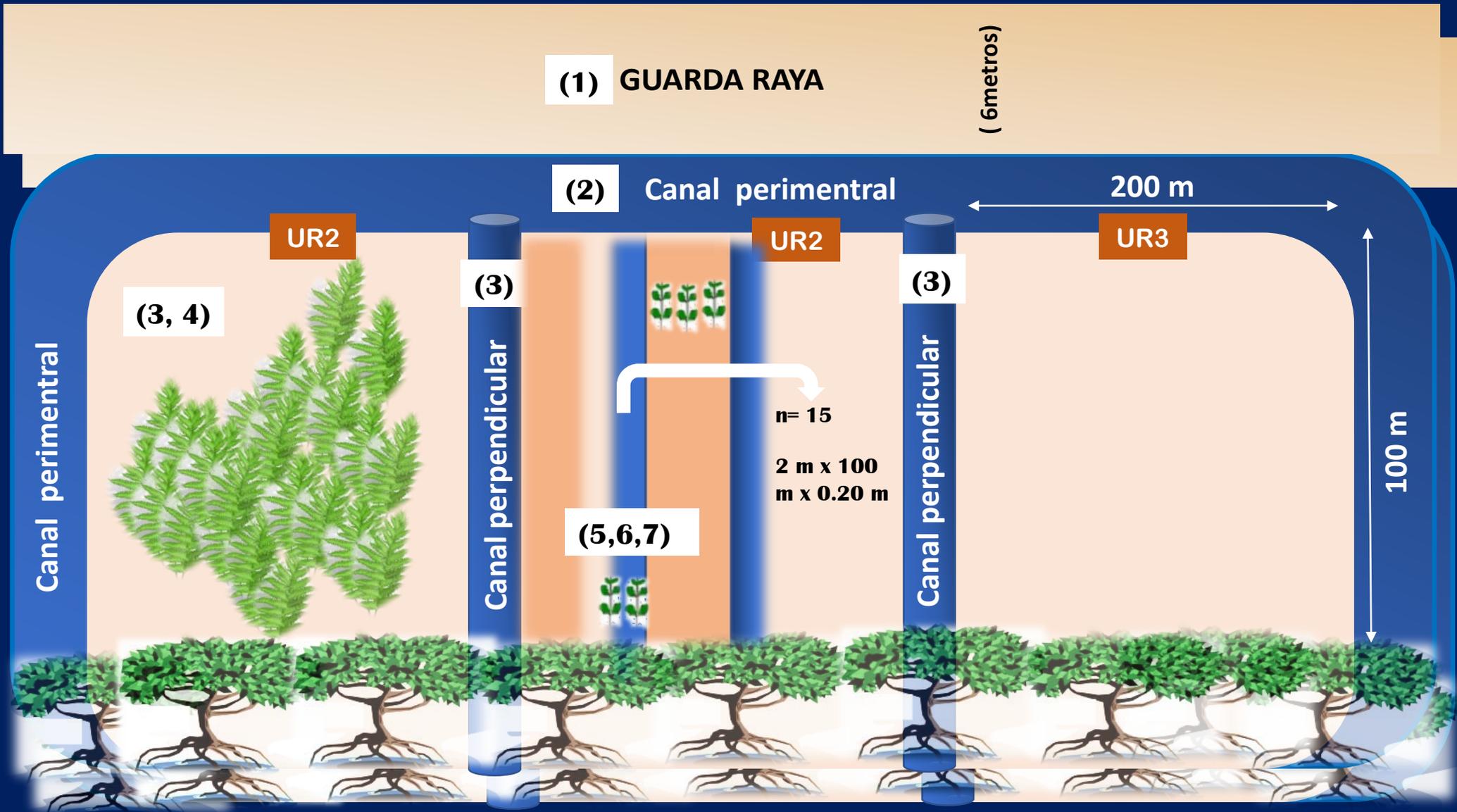
## Costos y numero de hectareas



14 +/- 5 UPS; + 90 cm nivel



Incremento topográfico\_+ cobertura



Este diseño podría tener ajuste dependiendo de los resultados microtopográficos y comportamiento del cauce del río. UR#: Unidad de restauración de 2 ha.

**Figura 1.** Diseño del desarrollo tecnológico del área de restauración.

# CARBONO ORGÁNICO

Biomasa aérea (Mg /ha)	Biomasa subterránea (Mg /ha)	Caéreo (Mg C/ha)	C subterráneo (Mg C/ha)	SITIO	Fuente	Características
58.38	64.67	28.02	25.22	Sofala Bay, sur de África	Siteo 2013	
<b>129.33</b>	<b>122.45</b>	<b>64.66</b>	<b>47.76</b>	Cuajiniquil, Costa Rica	UAC-FN-FFEM-SINAC	Borde
<b>58.43</b>	<b>64.29</b>	<b>29.22</b>	<b>25.07</b>	Cuajiniquil, Costa rica	UAC-FN-FFEM-SINAC	Borde-Impacto Medio
<b>533.50</b>	<b>228.10</b>	<b>266.75</b>	<b>88.96</b>	Terraba Sierpe	UAC-FN-FFEM-SINAC	Ribereño-Conservado
330.27	ND	153.25	ND	Laguna de Gandoca, Costaric	Manrow & Alvarado (2012)	Laguna
257.1	ND	119.29	ND	Estero Moín, Costa Rica		Estero
275	98.4	137.5	38.376	Republica dominicana	Kauffman et. al. 2014	Altos
60.5	46.7	30.25	18.213			Medium
11.9	14.6	5.95	5.694			Bajos
<b>436.4</b>	180.7	218.2	70.473	Indonesia (Halmahera)	Komiya et al. (1988)	Bosque primario
<b>299.1</b>	177.2	149.55	69.108			Bosque primario
<b>142.2</b>	50.3	71.1	19.617	Thailand (Trat Eastern)	Poungparn (2003)	Bosque secundario
62.2	11.4	31.1	4.446	Thailand (Southern Pang-nga)		Bosque secundario
176.2	156.6	88.1	61.074	Sian Ka'an Biosphere Reserve, Mexico.	Adame et. al. 2013	Manglares altos*
114.2	71.6	57.1	27.924			Manglares medios*

Biomasa aérea (Mg /ha)	Biomasa subterránea (Mg /ha)	Caéreo (Mg C/ha)	C subterráneo (Mg C/ha)	SITIO	Fuente	Características
154.92	nd	77.46	ND	South-western Campeche (municipality of Carmen)	Guerra-Santos et. al (2014)	Estuario
200.46	nd	100.23	ND	South-western Campeche (municipality of Carmen)		Estuario
228.74	nd	114.37	ND	South-western Campeche (municipality of Carmen)		Estuario
<b>421.1</b>	<b>308.48</b>	<b>210.55</b>	<b>120.3072</b>	<b>Encrucijada Biosphere Reserve, Chiapas</b>	Adame et. al.2015	Estuario
208	115	104	44.85	Río San Pedro, Pantanos de Centla, Tabasco	Kauffman at. al. (2015)	Manglar de borde/Estuario
23.95	19.86	11.975	7.7454	Rio San Pedro, Nayarit, México	Alonso Campos (2018)	Bosque con mediano impacto
48.7	44.51	24.35	17.3589			Bosque con bajo impacto
172.46	188.23	86.23	73.4097			Bosques impactado
129.33	122.45	64.66	47.76	Cuajiniquil, Costa Rica	UAC-FN-FFEM-SINAC	Borde
58.43	64.29	29.22	25.07	Cuajiniquil, Costa rica	UAC-FN-FFEM-SINAC	Borde-Impacto Medio
330.97	212.33	165.485	82.8087	Río San Pedro, Pantanos de Centla, Tabasco	Chavez Barrea (2018)	Mediano Impacto
315.81	160.3	157.905	62.517	Río San Pedro, Pantanos de Centla, Tabasco		Mediano Impacto
133.58	70.26	66.79	27.4014	Río San Pedro, Pantanos de Centla, Tabasco		Bosque impactado
165.09	105.31	82.545	41.0709	Rio Verde, Los Petenes Campeche	Guzman Jimenez 2018	Bosque con influencia antrópica
64.32	51.9	32.16	20.241	Petenezac, Los Petenes Campeche		Bosque Conservado

Especie	Densidad de madera	Región	Fuente	Salinidad (UPS)
<i>R. mangle</i>	1.05	Puerto Rico	Zanne et. al. (2009)	
<i>R. mangle</i>	0.84	Costa rica	Zanne et. al. (2009)	
<i>A. germinans</i>	0.9	Islas Virgenes	Zanne et. al. (2009)	
<i>A. germinans</i>	0.792	Guayana Francesa	Zanne et. al. (2009)	
<i>L. racemosa</i>	0.6	Puerto rico	Zanne et. al. (2009)	
<i>L. racemosa</i>	0.62	Guayana francesa	Zanne et. al. (2009)	ND
<i>R. mangle</i>	0.823 ±0.104	Pantanos de Centla, Tabasco	Chavez Barrera et al., (2018)	19.6 ± 15.8
<i>L. racemosa</i>	0.765±.120	Pantanos de Centla, Tabasco	Chavez Barrera et al., (2018)	19.6 ± 15.8
<i>A. germinans</i>	0.798±.076	Pantanos de Centla, Tabasco	Chavez Barrera et al., (2018)	19.6 ± 15.8
<i>R. mangle</i>	0.88±0.02	Rio Verde, Los Petenes, Campeche	Agraz Hernandez et al. (2018)	37.30±6.91
<i>A. germinans</i>	0.86±0.02	Rio Verde, Los Petenes, Campeche	Agraz Hernandez et al. (2018)	37.30±6.92
<i>L. racemosa</i>	0.60±0.02	Rio Verde, Los Petenes, Campeche	Agraz Hernandez et al. (2018)	37.30±6.93
<i>R. mangle</i>	0.87±0.02	Petenyac, Los Petenes, Campeche	Agraz Hernandez et al. (2018)	40.30±9.76
<i>A. germinans</i>	0.76±0.04	Petenyac, Los Petenes, Campeche	Agraz Hernandez et al. (2018)	40.30±9.77
<i>L. racemosa</i>	0.59±0.05	Petenyac, Los Petenes, Campeche	Agraz Hernandez et al. (2018)	40.30±9.78
<i>R. mangle</i>	1.087±0.095	Benin, Africa	Agraz Hernandez et al. (2018)	
<i>A. germinans</i>	0.713±0.149	Benin, Africa	Agraz Hernandez et al. (2018)	
<i>R. mangle</i>	1.308±0.151	Sierpe, Costa Rica (Franja 1)	Agraz Hernandez et al. (2018)	
<i>A. germinans</i>	1.192±0.122	Cuajinicuil, Costarica (Franja 1)	Agraz Hernandez et al. (2018)	
<i>A. germinans</i>	0.869±0.151	Cuajinicuil, Costarica (Franja 2)	Agraz Hernandez et al. (2018)	

# PUENTARENA



# TERRABA - SIERPE





# PROYECTO PILOTO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA Y CAPTURA DE CARBONO Y EMISIÓN DE METANO EN LOS DE MANGLARES DE COSTA RICA Y BENÍN

## INFORME TÉCNICO-CIENTÍFICO

*Diciembre 2017 a Junio 2018*

**Claudia Maricusa Agraz Hernández, Jordán Reyes Castellano, Juan Osti Sáenz, Kenia Paohla Conde Medina, Carlos Chan Keb, Sor Juana Guzmán Jiménez, Adriana Gregorio Cortés, Gilberto Martínez Muñoz, Federico Escamilla Escamilla, Eduardo Luciano Angulo Padilla, Julio Cesar Chávez**

Universidad Autónoma de Campeche. Instituto EPOMEX  
[clmagraz@uacam.mx](mailto:clmagraz@uacam.mx); [claudiaagraz@outlook.com](mailto:claudiaagraz@outlook.com)





**ESTRATEGÍAS DE CONSERVACIÓN EN LOS ECOSISTEMAS DE MANGLE:  
IMPACTO ANTROPOGÉNICO Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA**



**CORTO PLAZO**

**LARGO PLAZO (3 años\_inicio)**

**CARACTERIZACIÓN Y DIAGNOSTICO AMBIENTAL (1 años)**

**CONSERVACIÓN Y VULNERABILIDAD DEL ECOSISTEMA DE MANGLAR**

**DINÁMICA HIDROLÓGICA**  
*(Modelos hidrológicos)*  
*Estacionalidad (Estiaje y Lluvias)*

**SUSTENTABILIDAD DEL ECOSISTEMA**

**RESTAURACIÓN DEL ECOSISTEMA DE MANGLAR: REHABILITACIÓN HIDROLÓGICA Y REFORESTACIÓN**

**MONITOREO\_TEMPERATURA\_PRECIPITACIÓN**

**UAM**

- Menor costo,
- Óptimo manejo
- Detección de efectos positivos/negativos

*Valoración las incidencias de las actuaciones que prevé plan de manejo*

**CAPACIDAD DE CAPTURA DE CARBONO EN EL ECOSISTEMA DE MANGLAR**

*(Grado de conservación y vulnerabilidad; fase de restauración; recuperación natural, bosques degradados)*

**VULNERABILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS DE MANGLAR AL CAMBIO CLIMÁTICO**

*Modelos climáticos para el 2030, 2050 y 2080 Tasa de sedimentación e hidroperiodo*



**BUSQUEDA DE LOS SITIOS SUSCEPTIBLES PARA LA RESTAURACIÓN.**  
**■ ÁREAS A RESTAURAR, ● BOSQUES DE REFERENCIA.**



**OUIDAH, BENÍN.**





# DETECCIÓN DE FACTORES DE IMPACTO



## OUIDAH, BENÍN.



Généticamente mejorado



Acreción: altas tasas de crecimiento radicular y foliar

*Ajonina et al. (2008)*

*Ajonina et Usongo (2001)*

*Ajonina et al. (2005)*



# DETECCIÓN DE FACTORES DE IMPACTO



5/22/2018



Descarga del Lake Ahémé



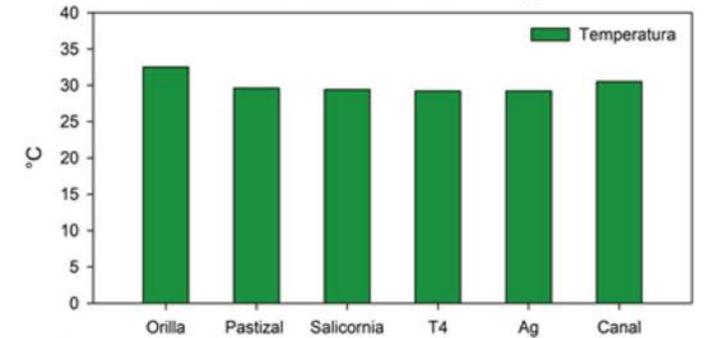
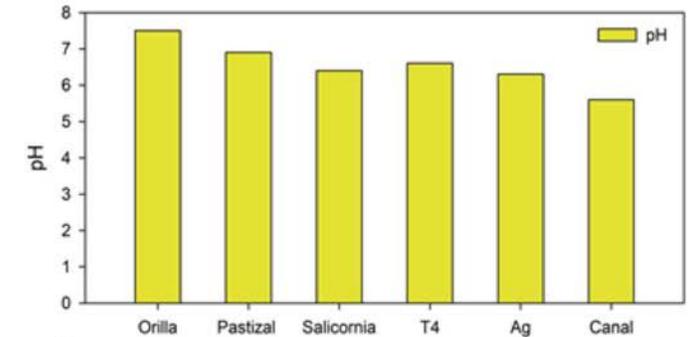
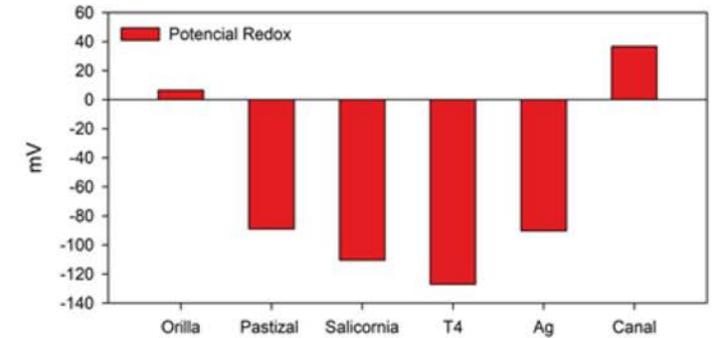
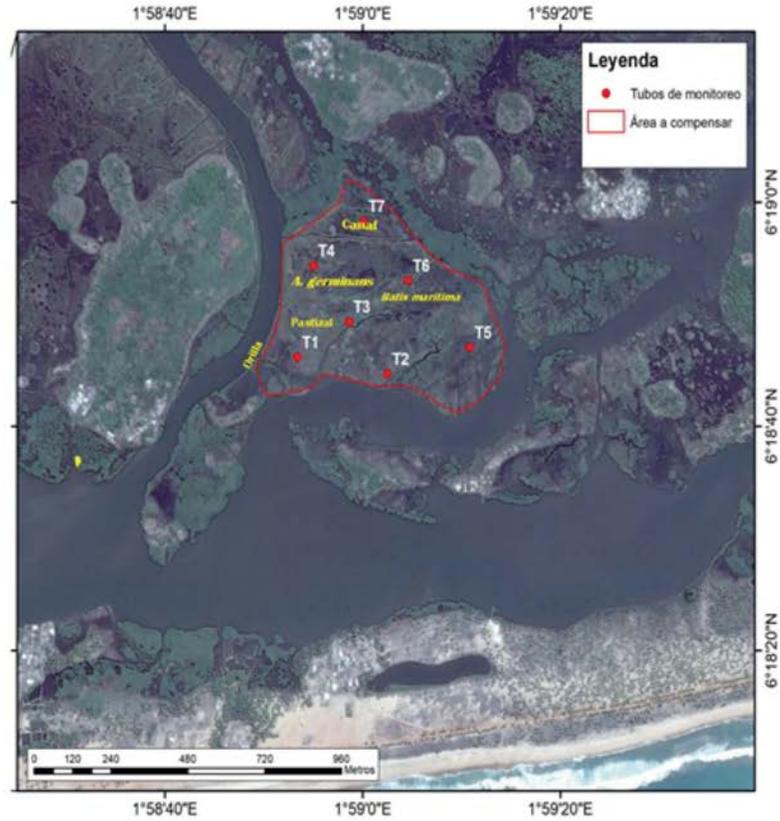
**OUIDAH, BENÍN.**



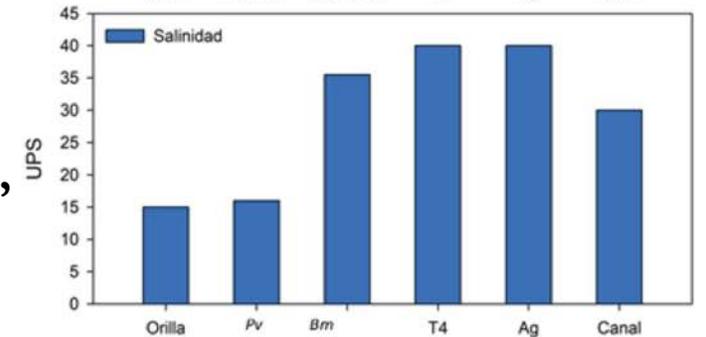


OUIDAH, BENÍN.

Óxica ( $-75.9 \pm 64.9$  mV)



Mesohalinas ( $32.3 \pm 10.0$  UPS),





Análisis multivariado de componentes principales, aplicado en los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial en la zona de restauración durante la prospección.



OUIDAH, BENÍN.

Parámetro	Componente 1 (63 %)	Componente 2 (29 %)
pH	0.37332	0.725161
Redox (mV)	0.444265	0.650651
Temperatura (°C)	-0.59498	-0.136671
Salinidad (UPS)	-0.556111	-0.17921

*Avicennia germinans* y *Rhizophora* sp.

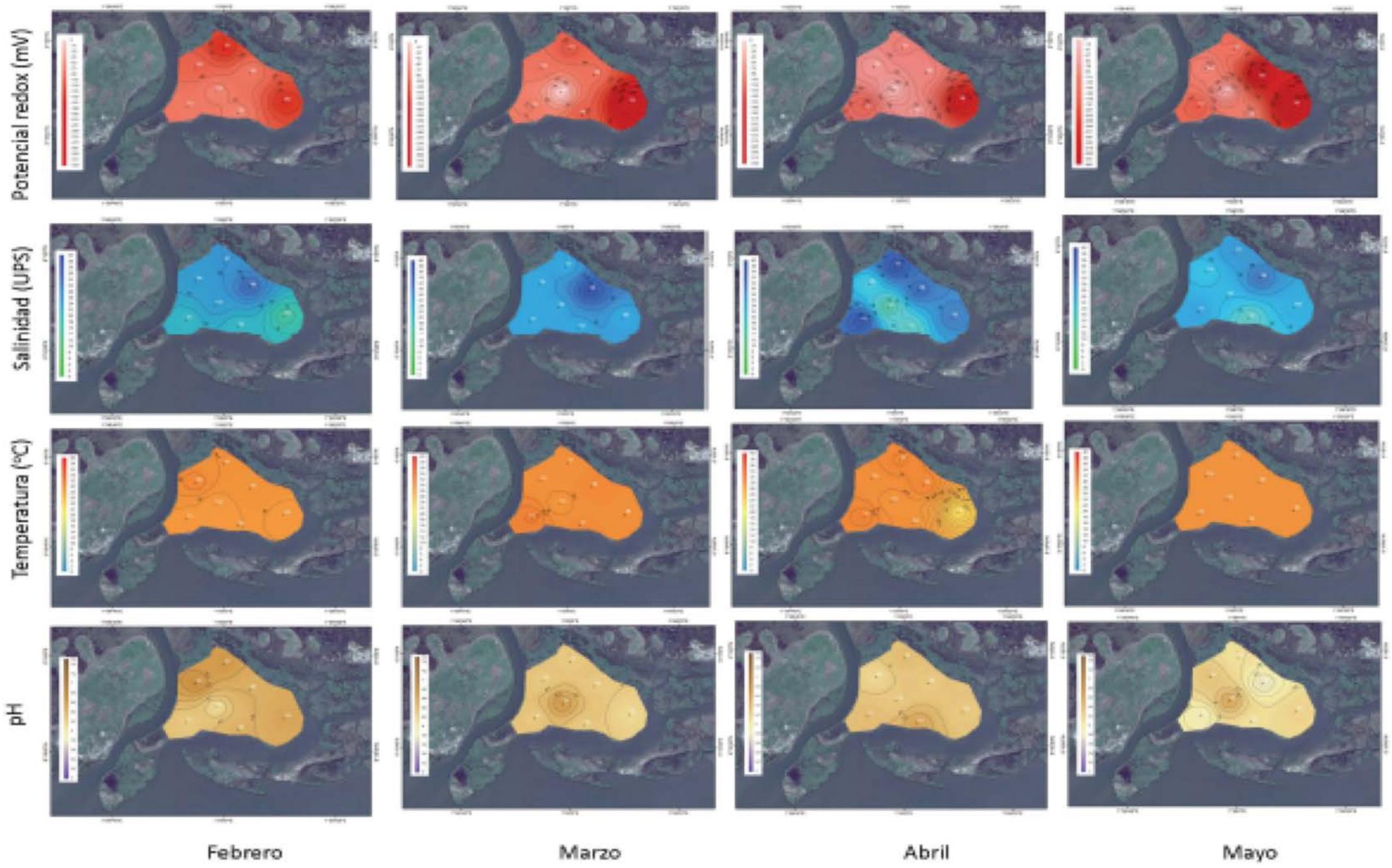
*Batis maritima*



OUIDAH, BENÍN.



**ESTRUCTURA Y FUNCIÓN:** densidad y área basal



Febrero

Marzo

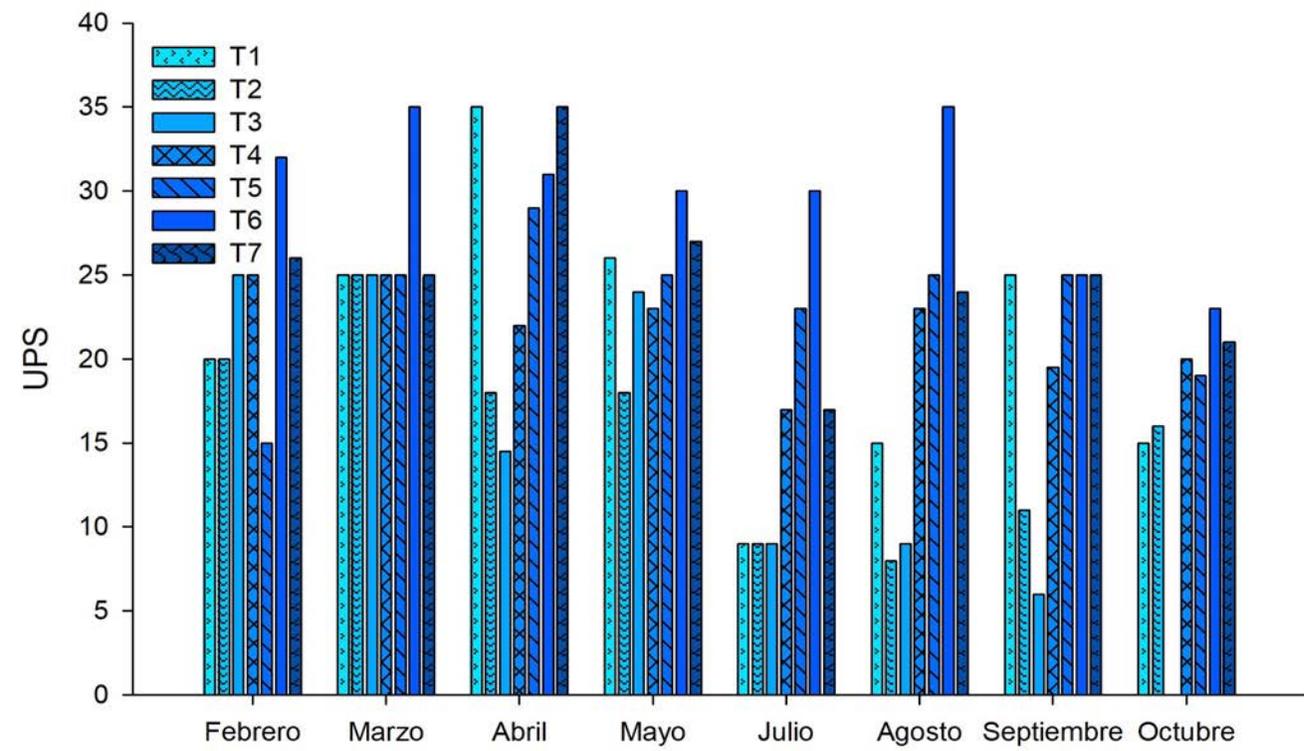
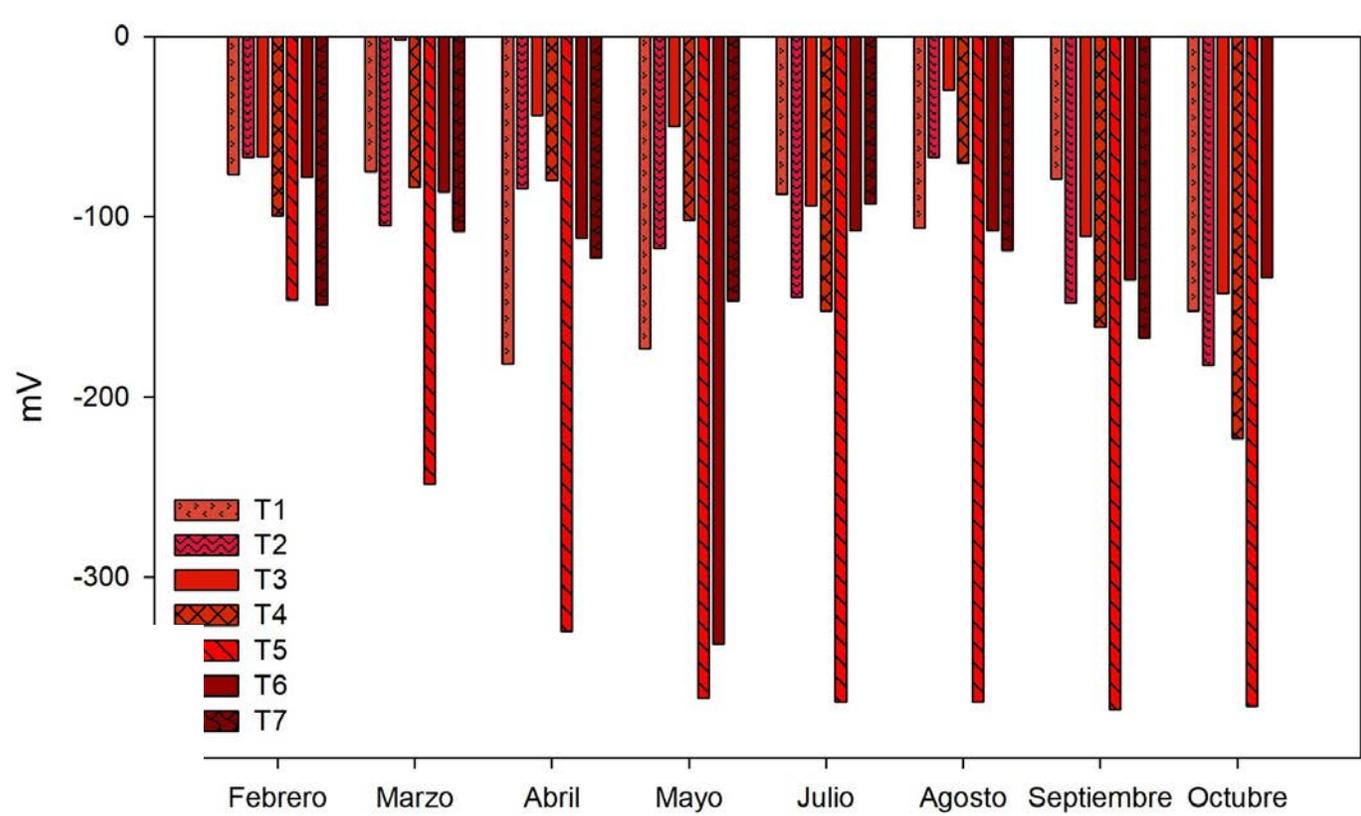
Abril

Mayo

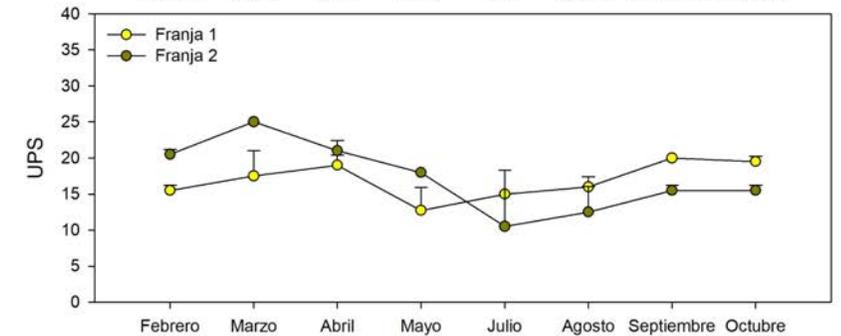
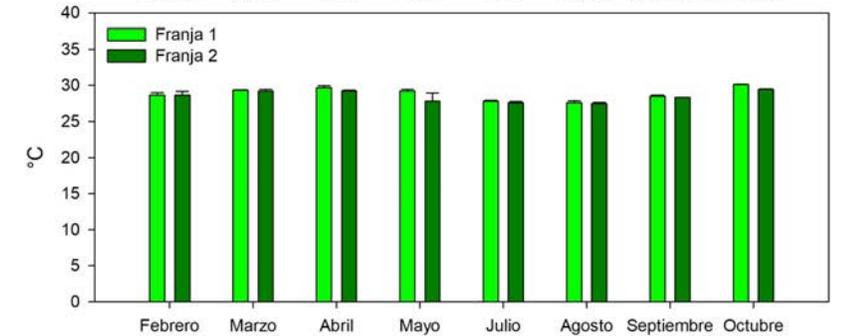
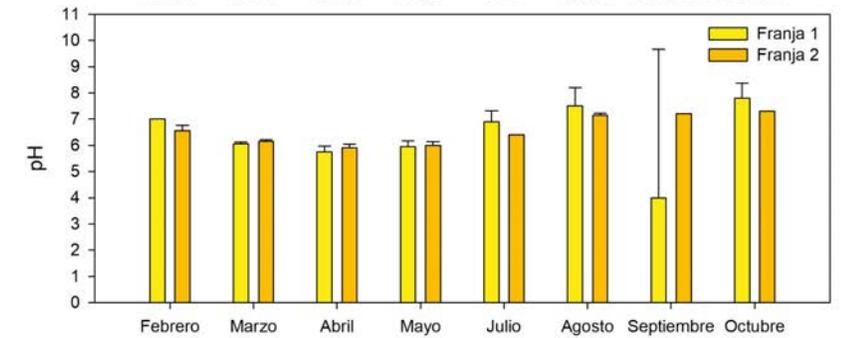
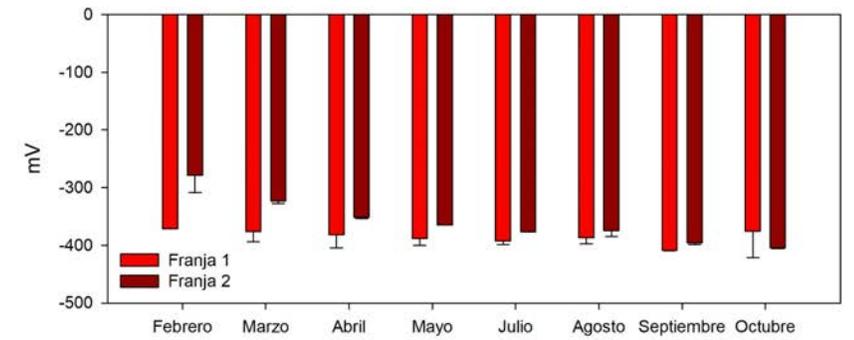
## Análisis multivariado de componentes principales, aplicado en los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial

### RESTAURACIÓN

Parámetro	Componente 1 (43%)	Componente 2 (28%)
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	<b>0.4200</b>	0.2030
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	-0.1620	0.2360
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	<b>0.4350</b>	-0.008
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	<b>0.4060</b>	0.3010
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	0.2480	<b>0.4130</b>
pH	-0.3620	0.2580
Potencial redoxo (mV)	-0.0290	<b>-0.6190</b>
Temperatura ( C)	0.2660	<b>0.4130</b>
Salinidad (UPS)	<b>0.4230</b>	-0.1460

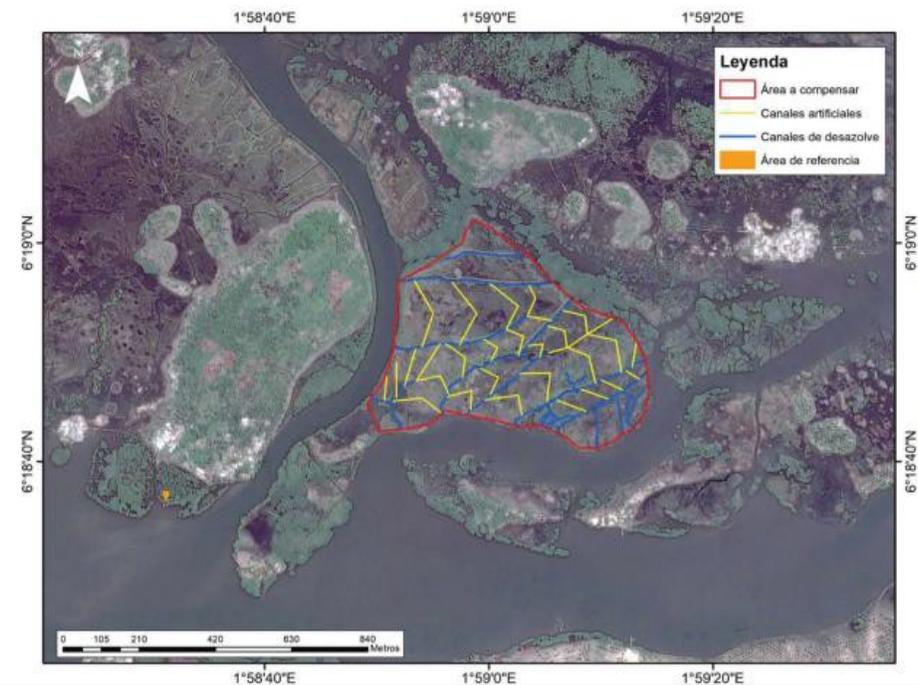
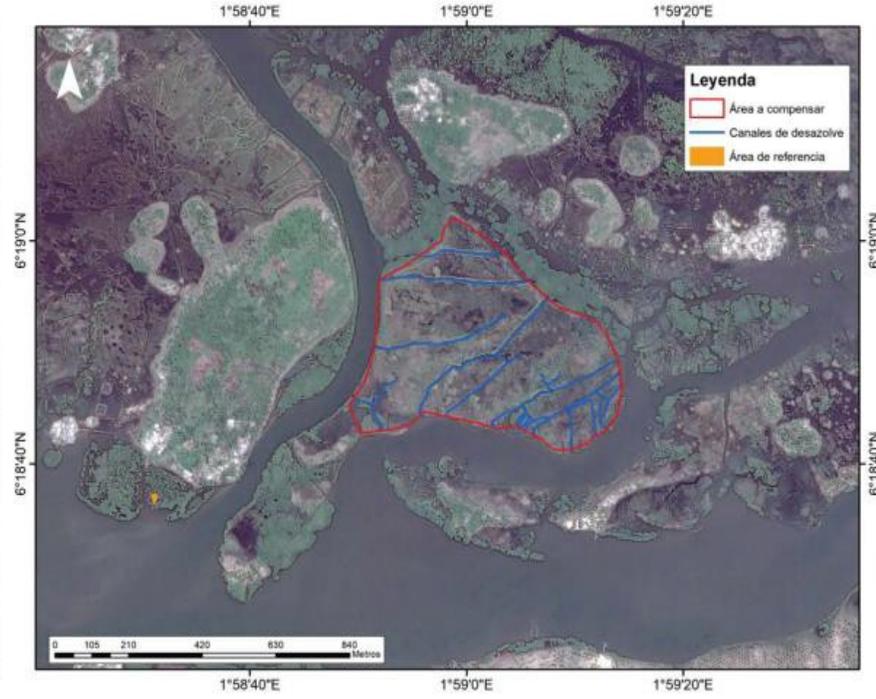
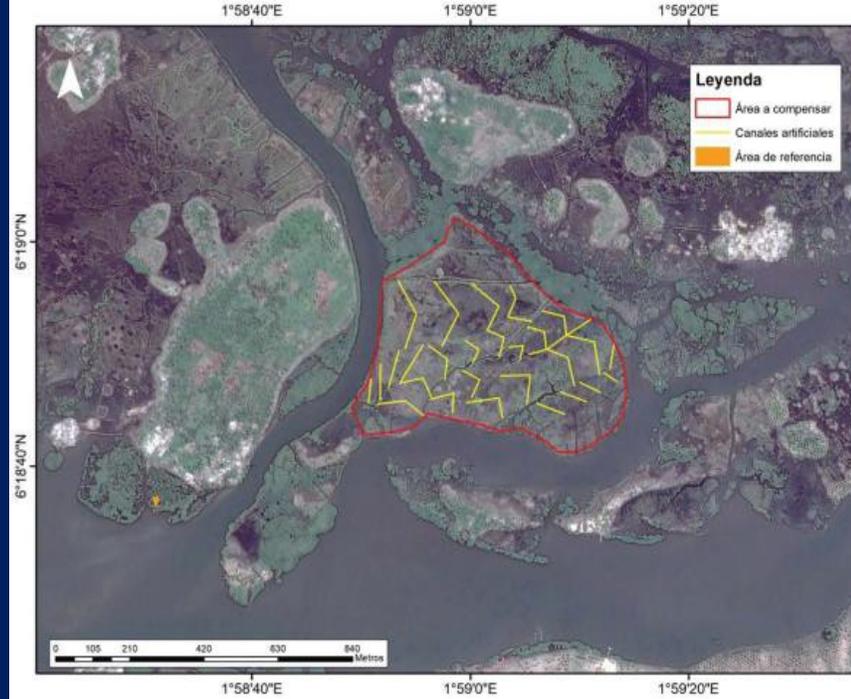


Parámetro	Componente 1 (42 %)	Componente 2 (31.5 %)
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	-0.0390	-0.0790
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	0.0423	0.2980
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	<b>0.4270</b>	0.2620
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	0.3570	<b>-0.2000</b>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	<b>0.4510</b>	0.0950
pH	0.2780	<b>0.4940</b>
Potencial redox (mV)	-0.2560	<b>0.3740</b>
Temperatura (°C)	<b>-0.3200</b>	<b>0.4380</b>
Salinidad (UPS)	0.247	<b>-0.4610</b>



ANOVA de dos vías, factor 1 con 2 niveles: Sitios de muestreo (Zona de referencia y de restauración); factor 2 con 3 niveles: Frecuencia (mes de febrero, marzo, abril y mayo) en los parámetros fisicoquímicos del agua intersticial de los bosques de manglar de Benín, con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .

Factores de respuesta	gl	REDOX (mV)	pH	Salinidad (UPS)	Temperatura (oC)
<b>Zona</b>	1	0.0001*	0.016*	0.001*	0.572
<b>Mes</b>	3	0.405	0.0001*	0.2600	0.680
<b>Zona* Mes</b>	3	0.976	0.0001*	0.539	0.732
<b>Error</b>	40				
<b>Total</b>	47				





**ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN EN LOS ECOSISTEMAS DE MANGLE:  
IMPACTO ANTROPOGÉNICO Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA**

