



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería Marítima, Biológicas,
Oceánicas y Recursos Naturales**

**ESTUDIO DEL POTENCIAL DE CAPTURA DE
CARBONO FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO DE UN
SISTEMA AGROPRODUCTIVO ARROZ (*ORYZA
SATIVA*)-AZOLLA SSP. EN LA PROVINCIA DEL
GUAYAS**

TESIS DE POSTGRADO

Previo a la obtención del título de:

MÁSTER EN CAMBIO CLIMÁTICO

Presentada por:

Vladimir David Holguín Alvarado

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año 2014

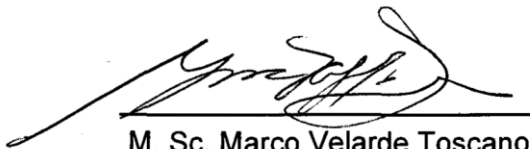
AGRADECIMIENTO

A Dios Padre Todopoderoso, a las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente a mi Director de Tesis Doctor Mariano Montaña Armijos, por su invaluable ayuda

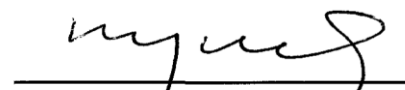
DEDICATORIA

A MI ESPOSA
A MI HIJA
A MIS PADRES
A MIS HERMANOS

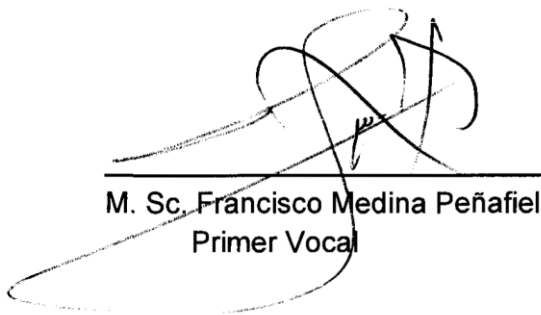
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



M. Sc. Marco Velarde Toscano
DECANO FIMCBOR
PRESIDENTE



Dr. Mariano Montano Armijos
Director de Tesis



M. Sc. Francisco Medina Peñafiel
Primer Vocal

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Vladimir David Holguín Alvarado

RESUMEN

El estudio del potencial de captura de Dióxido de carbono a través del sistema agroproductivo Arroz-*Azolla* fue determinado mediante el contenido de carbono en los órganos de cada vegetal como la panca, tamo, polvillo y grano de arroz y también del helecho *Azolla*.

Posteriormente se tomaron muestras de estos materiales vegetales y se proyectaron a 1 hectárea, luego se calculó el grado de oxidación de este carbono, para obtener valores de CO₂ y cuyos valores para la captura fueron de 10.63, 8.96 y 1.34 t.ha⁻¹.año⁻¹ para la panca, grano y tamo con polvillo respectivamente.

También se estimó los valores correspondientes a las emisiones de tCO₂.ha⁻¹.año⁻¹ que fueron de 1.60, 0.00 y 0.36 para la panca, grano y tamo con polvillo de arroz respectivamente. En el caso de *Azolla* tuvo el mayor valor de captura, que fue de 400 tCO₂.ha⁻¹.año⁻¹, en el caso de las emisiones en *Azolla* fue nula.

Además se hizo un análisis económico marginal de este modelo productivo, donde se obtuvo ingresos de 7.88 dólares de retorno por cada dólar invertido.

ÍNDICE GENERAL

	Paginas
RESÚMEN.....	I
INDICE GENERAL.....	II
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
JUSTIFICACIÓN.....	5
CAPÍTULO I. SISTEMA AGROPRODUCTIVO ARROZ – <i>AZOLLA</i>	8
1.1. El sistema agrícola del Arroz en el mundo y en el Ecuador...	9
1.2. Expresión Biótica del <i>Azolla</i>	11
1.3. Intercultivo Arroz- <i>Azolla</i>	12
1.3.1. Biomasa.....	13
1.3.2. Rendimiento.....	13
CAPÍTULO II. ASPECTOS ECOLÓGICOS DE LA ZONA DE CULTIVO	14

2.1. Clima.....	17
2.1.1. Precipitaciones.....	17
2.1.2. Humedad.....	17
2.1.3. Altitud.....	17
2.1.4. Latitud.....	18
2.2. Temperatura.....	18
2.2.1. Invierno.....	18
2.2.2. Verano.....	18
2.3. Luminosidad.....	19
2.3.1. Fotosíntesis.....	19
2.4. Biodiversidad.....	19
2.4.1. Fauna benéfica.....	20
2.4.2. Plagas.....	20
2.5. Fuentes hídricas.....	20
2.5.1. Precipitaciones.....	21
2.5.2. Escorrentía.....	21
2.5.2.1. Riego.....	22
2.6. Edafología.....	22
2.6.1. Estructura del suelo.....	22
2.6.2. Textura del suelo.....	23
2.6.3. Impermeabilidad.....	24

CAPÍTULO III. EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL SISTEMA AGROPRODUCTIVO ARROZ-AZOLLA SPP.....	25
3.1. Tipos de gases de efecto invernadero.....	27
3.1.1. Dióxido de carbono.....	28
3.1.2. Óxido de azufre.....	28
3.1.3. Óxido de nitrógeno.....	29
3.1.4. Gas metano.....	29
3.1.5. Vapor de agua.....	31
3.2. Fuentes de emisiones.....	31
3.2.1. Cultivo.....	31
3.2.2. Evotranspiración.....	32
CAPÍTULO IV. SUMIDEROS DE CARBONO EN EL SISTEMA AGROPRODUCTIVO ARROZ-AZOLLA SPP.....	33
4.1. Cultivos.....	34
4.1.1. Biomasa.....	35
4.1.2. Tipos de Biomasa.....	36
4.1.2.1. Gramínea.....	36
4.1.2.2. Follaje.....	37
4.1.2.3. Residuos vegetales.....	38
4.2. Agua.....	39

4.2.1. Demanda química de oxígeno.....	39
4.2.2. Demanda biológica de oxígeno.....	39
4.3. Suelo.....	40
4.3.1. Materia orgánica.....	40
CAPÍTULO V. BALANCE DE CARBONO EN EL SISTEMA AGROPRODUCTIVO ARROZ-AZOLLA.....	41
5.1. Entradas de Carbono al Sistema.....	41
5.1.1. Carbono almacenado en el suelo.....	42
5.1.2. Carbono almacenado en el agua.....	43
5.1.3. Carbono almacenado en la biomasa de los cultivos.....	44
5.1.3.1. Carbono en la Gramínea.....	45
5.1.3.2. Carbono en el Sistema Foliar de los cultivos.....	46
5.1.3.2.1. Azolla.....	47
5.1.3.2.2. Arroz.....	51
5.1.3.3. Carbono en los residuos vegetales.....	51
5.2. Salidas de Carbono del Sistema.....	54
5.2.1. Descomposición de los residuos vegetales.....	54
CAPÍTULO VI. RESULTADOS.....	56
CAPÍTULO VII. EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL SISTEMA AGROPRODUCTIVO ARROZ-AZOLLA.....	59

CAPÍTULO VIII. EXPECTATIVAS SOCIOECONÓMICAS DEL SISTEMA AGROPRODUCTIVO ARROZ-AZOLLA.....	61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65
ANEXOS.....	68
BIBLOGRAFÍA.....	84

ABREVIATURAS

AA	Arroz – <i>Azolla</i> spp
GEI	Gases de Efecto Invernadero
t/ha/d	toneladas por hectáreas y por día
ton/ha	tonelada por hectárea
Et	Evotranspiración
mg/l	miligramo por litro
g/m ³	gramo/metro cúbico
mm	milímetro
m.s.n.m.	metros sobre el nivel del mar
m ³	metro cúbico
pág.	Página
c.c.	Centímetro cúbico
CE	Comunidad Europea.
cm	centímetros
g	gramos
kg	kilogramos
l	litros
m	metro
u	unidades

SIMBOLOGÍA

CO ₂	Dióxido de Carbono
CH ₄	Gas metano
SO	Óxido de Azufre
NO	Óxido de Nitrógeno
H ₂ O	Vapor de agua
DQO	Demanda química de oxígeno
DBO	Demanda biológica de oxígeno
\$	dólares
%	por ciento
°C	grado centígrado

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Panorámica del Cultivo Arroz- <i>Azolla</i> de la Hacienda Artillería del Cantón Salitre	9
Figura 2	Producción y superficies mundiales de arroz	10
Figura 3	Lote experimental. Ubicación	16
Figura 4	Suelo Arcilloso agrietado con <i>Azolla</i> de la Hacienda Artillería	23
Figura 5	Factores de Emisión de Metano en el Cultivo de Arroz	30
Figura 6	Mapa de Evotranspiración potencial	32
Figura 7	Arroz biógeno durante el proceso del pilado	37
Figura 8	Cantidad de CO ₂ secuestrado por diferentes organismos vegetales	50
Figura 9	Colecta de <i>Azolla</i> spp en Santa Marta del km 19 de la vía a Samborondon	75
Figura 10	Muestra de <i>Azolla</i> spp cosechada	76
Figura 11	<i>Azolla</i> spp fresca recogida en el carretón por el equipo del proyecto	77
Figura 12	Siembra de <i>Azolla</i> spp en la piscina de arroz previo al trasplante de la gramínea.	78
Figura 13	Toma del material vegetal <i>Azolla</i> spp para sembrarla posteriormente en una piscina de arroz	79
Figura 14	Aplicación al voleo de <i>Azolla</i> spp en el cultivo de arroz después del trasplante.	80
Figura 15	Azollario del predio Artillería de 20 días de edad.	81
Figura 16	Densidad y vigorosidad de la <i>Azolla</i> spp en el Azollario de Artillería.	82
Figura 17	Toma de muestra de <i>Azolla</i> spp a los 21 días de edad en el Azollario de Artillería	83

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.	
Tabla 1	Datos Referenciales de la Zona Arrocera de la Cuenca del Rio Vinces	21
Tabla 2	Cuantificación de Emisiones de GEI en tCO _{2e} de los principales componentes del sistema agroproductivo AA	27
Tabla 3	Principales sumideros de CO _{2e} en el sistema agroproductivo AA	34
Tabla 4	Información Nutricional del Arroz Biógeno	35
Tabla 5	Uso de Biomasa del Sistema agroproductivo AA	36
Tabla 6	Comportamiento de la Materia Orgánica del Suelo en Lote 1 de la Hacienda Artillería	42
Tabla 7	Características de la captura de CO ₂ por el agua usada en el cultivo de arroz	44
Tabla 8	Estimación del Carbono secuestrado en la gramínea del sistema Arroz-Azolla spp	45
Tabla 9	Estimación del Carbono secuestrado en la panca del sistema Arroz-Azolla spp	47
Tabla 10	Características química de la Captura de Dióxido de carbono por Azolla spp en el sistema AA	48
Tabla 11	Estimación del Carbono secuestrado en el tamo y polvillo del sistema Arroz-Azolla spp	51
Tabla 12	Emisión de Dióxido de Carbono por descomposición de tamo y polvillo del sistema Arroz-Azolla spp	54
Tabla 13	Emisión de Dióxido de Carbono por descomposición de la panca del sistema agroproductivo Arroz-Azolla spp.	55
Tabla 14	Estimación de emisión y captura de dióxido de carbono en lote del sistema AA del predio Artillería	57
Tabla 15	Ingreso anual de ventas del sistema agroproductivo AA	62
Tabla 16	Costos fijos y variables anuales de producción del Sistema AA	63
Tabla 17	Utilidad neta del sistema agroproductivo AA	64
Tabla 18	Análisis marginal del sistema agroproductivo AA	64
Tabla 19	Resultados de Analisis de suelo en varios lotes del	

	Predio Artilleria durante los años 2011 al 2013	69
Tabla 20	Generación de metano en diferentes tratamientos incubados con cianobacterias en muestras de suelo	70
Tabla 21	Comportamiento del gas metano en diferentes tratamientos con cianobacterias y dosis de Nitrógeno	71
Tabla 22	Promedios del gas metano en diferentes tratamientos con cianobacterias y dosis de Nitrógeno	72
Tabla 23	Matriz para la Evaluación de Impactos Ambientales en el Sistema Agroproductivo Arroz <i>Azolla</i>	74

ÍNDICE DE GRÁFICOS

		Pág.
Gráfico 1	Cantidad de tCO _{2e} . incorporada en la materia orgánica del suelo en el sistema agroproductivo AA	43
Gráfico 2	Captura de CO ₂ por el grano de arroz del sistema agroproductivo AA	46
Gráfico 3	Captura de CO ₂ por <i>Anabaena</i> spp del Sistema agroproductivo AA.....	48
Gráfico 4	Captura de CO ₂ por <i>Azolla</i> spp del Sistema Agroproductivo AA	49
Gráfico 5	Emisión y Captura de CO ₂ de la panca del sistema agroproductivo AA	52
Gráfico 6.	Emisión y Captura de CO ₂ del tamo del sistema agroproductivo AA	53
Gráfico 7.	Diferencias de valores capturados de CO ₂ entre la Azolla de Artillería y lo indicado por Alexandra Bujak	73

INTRODUCCIÓN

La agricultura en general y en particular el cultivo de arroz han contribuido respectivamente con incrementos del 1.6 % y 0.7 % promedio anual de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial en el periodo comprendido 1961-2010 (Tubiello et al., 2013), siendo el dióxido de carbono (CO₂) el principal responsable del cambio climático, lo que provoca aumento de temperatura y variación de precipitaciones en distintos ecosistemas del planeta. El aumento de la concentración de CO₂ que se ha registrado en las últimas décadas, ha ocasionado bajos rendimientos y hasta pérdidas en los cultivos, particularmente en el arroz.

El modelo agro productivo Arroz-*Azolla* (AA) representa una importante estrategia nacional para capturar CO₂ atmosférico, a más de que este modelo podría constituirse en un referente mundial, debido a la elevada capacidad que tiene el helecho acuático *Azolla* para este propósito, junto a la generación de biofertilizantes nitrogenados, debido a las condiciones

naturales, excepcional ubicación y extensión de los arrozales de las cuencas de los ríos Daule y Babahoyo.

La prueba más fehaciente de la capacidad de captura de CO₂ del *Azolla* es el “evento *Azolla*” que en el periodo Eoceno, hace 49 millones de años, redujo las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera (Speelman et al., 2009), convirtiendo su aplicación al cultivo de arroz, en una alternativa actual importante de neutralización al cambio climático global, como confirman los estudios realizados por ACEX (Arctic Coring Expedition) de la Universidad de Utrecht (Bujak and Bujak, 2014).

El elevado potencial de captura de CO₂ del *Azolla* representa en la actualidad un servicio ambiental exclusivo y por tanto un posible beneficio económico para el productor de arroz.

Este trabajo es complementario al Proyecto *Azolla* que se desarrolla en la Hacienda Artillería del Cantón Salitre desde el año 2009, contando con el apoyo del Banco Mundial, INIAP y SCIAPLI para proveer de nitrógeno natural a los cultivos que se extienden en todo el Ecosistema Guayas. Además en los alrededores de este escenario se encuentran creciendo y desarrollándose naturalmente el helecho *Azolla*, tanto en canales de riego como humedales arroceros.

Al contar con *Azolla* endógeno e insumos para la producción de arroz, se estableció una corrida para confirmar rendimientos básicos y mediante análisis bromatológico del suelo, agua y material vegetal, se midió el contenido de carbono de cada parámetro para conocer estequiométricamente la cantidad de CO₂ capturado.

OBJETIVO GENERAL

1. Evaluar el Potencial de Captura de Carbono en un Sistema Agroproductivo Arroz (*Oryza sativa*) – *Azolla* spp de la Provincia del Guayas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1 Identificar las fuentes potenciales de emisión de Gases de Efecto Invernadero en el sistema Agroproductivo Arroz (*Oryza sativa*) – *Azolla* spp.
- 2 Determinar el potencial de almacenamiento de carbono en el sistema Agroproductivo Arroz (*Oryza sativa*) – *Azolla* spp.
- 3 Analizar costos- beneficios del servicio ambiental de captura de carbono del sistema Agroproductivo Arroz (*Oryza sativa*) – *Azolla* spp.

JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial, la Agricultura representa un 13.4 % en emisiones de GEI a la atmósfera (IPCC, 2007), reteniendo calor que aumenta la temperatura global ocasionando sequías e inundaciones. Estas condiciones desfavorables afectan los rendimientos agrícolas y en otros casos extremos la pérdida total de las cosechas.

Las fuentes de emisiones del dióxido de carbono en el cultivo de arroz se generan en las actividades que van desde la preparación del suelo hasta la distribución de la cosecha, siendo la fertilización a base de Nitrógeno la que contribuye significativamente con gases de efecto invernadero, si se considera la energía consumida para la fabricación del fertilizante genera GEI y cuando este se aplica al cultivo, solo se incorpora a la biomasa la mitad de la dosificación, y la otra mitad se descompone y se convierte en otra fuente de emisión de los GEI.

Ante esta situación, se propone evaluar el potencial agroproductivo Arroz-*Azolla* spp *Anabaena* spp, como un sistema estratégico para la captura de carbono y contribuyente a la mitigación del cambio climático.

Este sistema agroproductivo se caracteriza por poseer biodiversidad, que es un aspecto fundamental para maximizar la captura de carbono, ya que las colonias de cianobacterias *Anabaena* spp se encargan de absorber el Nitrógeno atmosférico y lo incorpora en la biomasa del vegetal *Azolla* spp y este posteriormente durante el ciclo biológico segrega, excreta o libera el Nitrógeno en el agua formándose una difusión que a la vez es absorbida por las raíces de la planta de arroz, y con ello aumenta su desarrollo y complementa a través del proceso de la fotosíntesis capturando carbono, al igual ocurre con la *Anabaena azollae*.

Esta captura y almacenamiento de carbono por parte de este sistema agroproductivo AA se estima mediante cálculos estequiométrico previo resultados de las muestras tomadas de los vegetales.

Así mismo, se usan algunas herramientas estadísticas como soporte de la información obtenida del lote productivo de la Hacienda Artillería del Cantón Salitre de la Provincia del Guayas.

Con esto, se espera contribuir a la mitigación del cambio climático a través de la captura de carbono en el Ecosistema Guayas, manteniendo un nivel básico como proyecto MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) y promover la negociación de CERs (Certificado de Emisiones Reducidas) que signifique un ingreso adicional para los productores arroceros.

CAPÍTULO 1

1. SISTEMA AGROPRODUCTIVO ARROZ – AZOLLA

El sistema agroproductivo Arroz-Azolla (AA) se considera compuesto por la asociación del cultivo de arroz y *Azolla* spp, junto a la cianobacteria *Anabaena azollae* y los medios que lo complementan como la biota acompañante, el suelo y el agua (Figura 1).

Este sistema o iniciativa se encuentra desarrollándose en varios sitios del Ecosistema Guayas, en lo principal, como aplicación de abono verde a arrozales del litoral ecuatoriano, lo mismo que también se ha probado la disminución de emisiones de CO₂ al carbonizar panca de arroz.

En la actualidad se trabaja en forjar una alternativa de transición en la actividad arrocera del modelo convencional a otro sostenible, que de otro

lado encarna un nuevo paradigma en el ambiente agropecuario, social, ambiental y económico del Ecuador (Montaño, 2013).



Figura 1. Panorámica del Cultivo Arroz-Azolla de la Hacienda Artillería del Cantón Salitre

1.1. El sistema agrícola del arroz en el mundo y en el Ecuador

La producción y superficie mundiales de arroz se ha mantenido explicablemente en crecimiento, como se muestra en la Figura 2, desde el 2015 hasta la actualidad. El consumo humano medio anual de arroz per cápita se sitúa en 57.0 kg (FAO, 2014).



Figura 2. Producción y superficies mundiales de arroz

En el Ecuador las cifras del arroz incluyen unas 400 000 ha de cultivos, 1.5 Mt de producción anual y un consumo medio anual per cápita de 53.2 kg (El Telégrafo, 2014).

El sistema de cultivo de arroz se encuentra estandarizado en el mundo y se caracteriza por el uso de semillas certificadas de alto rendimiento, fertilizantes y pesticidas; se considera que este sistema es fuente de emisión de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático, que influye en los rendimientos de las cosechas, favorablemente

en algunas regiones y desfavorablemente en otras regiones del mundo (FAO, 2014),

En consideración a los impactos del cambio climático, en los años 2009 y 2010 los cultivos de arroz de las provincias de Guayas y Los Ríos sufrieron pérdidas del 24 % y 23.3 % respectivamente, principalmente por inundaciones; el área de afectación alcanzó 78 881 ha, correspondiendo al 19 % de la superficie a nivel nacional (Cordero et al., 2011).

Si el cambio climático se mantiene en las próximas décadas, el rendimiento de la agricultura arrocerá podrá disminuir para el año 2030 a un 40 % (Muñoz, 2013), lo cual urge a aplicar estrategias para revertir esta tendencia.

1.2. Expresión Biótica del *Azolla*.

Azolla es un helecho diminuto acuático que vive en simbiosis con la cianobacteria *Anabaena azollae* (Pereira et al., 2001) en distintos ecosistemas acuáticos, captando el nitrógeno atmosférico para fijar alrededor de 600 kg.ha⁻¹.año⁻¹ (García, 2012) en este helecho, aún en concentraciones salinas de hasta 120 mM de NaCl (van Kempen et al., 2013).

Por otra parte, en estudios realizados en los últimos años, se ha encontrado sedimentos de *Azolla* en el fondo marino del ártico, lo que indica que en algún periodo geológico vivió en mares fríos y en condiciones salinas (Bujak and Bujak, 2014), y a través de algunos procesos de adaptación se fue incorporando a otras condiciones, y hoy en día se encuentra distribuido en aguas dulces y templadas de todo el mundo (Sevillano et al., 1984) como en la zona de Salitre y Samborondón del Ecosistema Guayas.

1.3. Intercultivo Arroz – *Azolla*

La incorporación del helecho *Azolla* al cultivo de arroz favorece el crecimiento y desarrollo a través de la fertilización natural, ya que fija alrededor de $600 \text{ kgN.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$.

Este nitrógeno fijado reactivo es absorbido por las raíces de las plantas de arroz dando como resultado altos rendimientos y excluyendo prácticamente la aplicación de insumos como la urea (Montaño, 2012).

Este sistema agroproductivo se denomina también “Tribiosis” debido a que se establece una relación sinérgica entre tres actores (TRIBIOSIS): el helecho *Azolla*, la cianobacteria *Anabaena* y el arrozal (Montaño, 2013).

1.3.1. Biomasa

La biomasa es la cantidad de materia viva presente en los seres vivos en una superficie determinada de terreno (Pineda, 2007), lo que en este estudio está representado por los cultivos de arroz y *Azolla-anabaena*.

Los elementos nutritivos que proveen los fertilizantes naturales o artificiales son asimilados por estos seres vivos de un modo equilibrado para aprovecharlos al máximo e incorporarlos en los tejidos. Además de estos componentes, las condiciones óptimas de pH, luminosidad, presión y temperatura influyen en el aumento de la biomasa (Vinueza, 2012).

1.3.2. Rendimiento

Actualmente, el rendimiento del arroz ecuatoriano producido de forma convencional es de es de 4.38 t.ha⁻¹ (Domínguez, 2013) y producido con *Azolla* se llega a rendimientos de 7.70 t.ha⁻¹ (Montaño, 2013).

La biomasa de *Azolla* se duplica cada 7 días y su rendimiento llega a 0.6 t.h⁻¹.d⁻¹ (Coronel, 2011). El rendimiento que obtiene el cultivo de arroz se debe a la disponibilidad de nitrógeno reactivo que se prodiga al sistema en forma de amoníaco, nitrito y nitrato para incorporarlo a los tejidos del vegetal (Montaño, 2013).

CAPÍTULO 2

2. ASPECTOS ECOLÓGICOS DE LA ZONA DE CULTIVO

La zona de estudio ubicada en la parroquia de La Victoria, en el km 2 de la vía Samborondón-Salitre, corresponde a la hacienda arrocera Artillería perteneciente al Ing. Rafael Décker (Figura 3).

Este lugar ha transitado durante los últimos 50 años por ganadería, agricultura, acuicultura y finalmente por agricultura de arroz. Aquí, por otro lado, INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias), AGRIPAC, ECUAQUIMICA y PRONACA han llevado a cabo distintas experiencias referidas a arroz, sobre nuevas semillas, abonos y sistemas de control de

plagas. Asimismo, el año 2009 comenzó a ejecutarse un proyecto de la ESPOLE auspiciado por el Banco Mundial (Montaño, 2008).

Si bien este proyecto finalizó en el año 2011, se ha continuado trabajando hasta la fecha, por iniciativa privada, en la dirección de producir arroz biológico, es decir, sin utilización de agroquímico alguno.

La zona presenta distintas características ecológicas que se describe en este capítulo, y que por otro lado constituyen expresiones notables del Ecosistema Guayas.

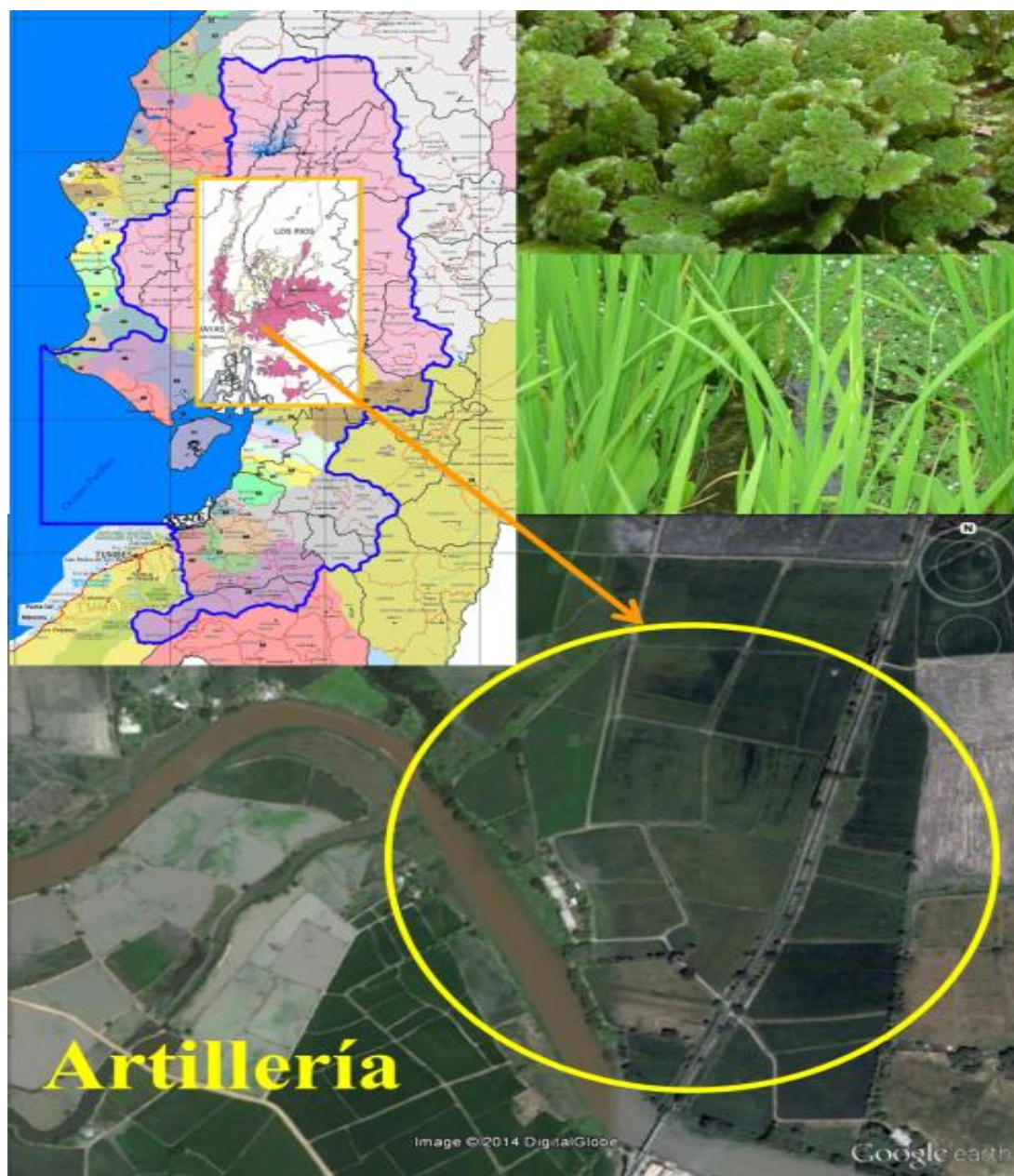


FIGURA 3. Lote experimental. Ubicación (Montaño, 2014)

2.1. Clima

Según la clasificación de Köppen, la zona de estudio presenta un clima semiárido. La temperatura oscila entre 22 y 32 °C, dependiendo de la estación del año. El clima de la región está influenciado por la corriente fría de Humboldt y la presencia de El Niño (Equilabratum, 2011).

2.1.1. Precipitaciones

Las mayores precipitaciones en el año ocurren entre los meses de enero a mayo, con un promedio de 1 072.2 mm, de acuerdo a los registros 1982-2010 del INOCAR (2013).

2.1.2. Humedad

La humedad relativa en la provincia del Guayas durante la época lluviosa oscila entre el 70 al 90 % y en la época seca es de 10 % (GADPG, 2013).

2.1.3. Altitud

La altitud del predio Artillería se encuentra a 7 m.s.n.m.

2.1.4. Latitud

Las coordenadas Lat/Lon de un punto representativo de la zona estudiada son 1°55'40.08"S, 79°43'09.78"O.

2.2. Temperatura

La temperatura del lugar oscila entre los 22 °C a 25 °C durante los meses secos de junio a diciembre y de 30 °C a 32 °C durante los meses lluviosos de enero a mayo.

2.2.1. Invierno

Comprende desde el mes de enero hasta mayo y se caracteriza por alta humedad y altas temperaturas.

2.2.2. Verano

Comprenden desde el mes de junio hasta diciembre y se caracteriza por ser fresco y con precipitaciones esporádicas.

2.3. Luminosidad

La cantidad de luminosidad promedio a lo largo de todo el año alcanza 1 593 horas luz, registrándose su mayor cantidad, de 156 horas, en los meses de abril y mayo (HINICORP, 2012).

2.3.1. Fotosíntesis

Los vegetales como el arroz y *Azolla* necesitan de energía lumínica, agua y CO₂ para realizar el proceso de la fotosíntesis, cuya eficiencia se incrementa en las regiones donde existe mayor radiación solar, manteniéndose durante la fase de crecimiento y desarrollo hasta la cosecha. De esta manera se garantizan que los rendimientos sean altos (MINAG, 2013).

2.4. Biodiversidad

El sitio de estudio y alrededores constituye un ecosistema fuertemente intervenido por la actividad agrícola, particularmente de cultivo de arroz. Complementan el entorno natural dispersas florecencias de especies vegetales cubresuelos, arbustos y árboles frutales y madereros.

2.4.1. Fauna benéfica

En los ecosistemas en general y en los agroproductivos se incluyen organismos vivos que interactúan entre sí beneficiándose uno del otro. Particularmente el cultivo de arroz se beneficia de la presencia del gavián caracolero, garzas y demás, en tanto el *Azolla* spp se beneficia de la cianobacteria *Anabaena azollae*, por fijar el nitrógeno atmosférico y a su vez capturar el dióxido de carbono en la estructura vegetal de este helecho.

2.4.2. Plagas

Se considera plagas al conjunto de organismos tanto de animales como vegetales que afectan el rendimiento de los cultivos agrícolas de importancia económica.

En la actualidad el caracol manzana (*Pomacea canaliculata*) representa la plaga más perjudicial de los cultivos de arroz y su afectación a los arrozales en los últimos años ha llegado al 40 % (Vera, 2012).

2.5. Fuentes hídricas

Las precipitaciones de la estación invernal y los caudales del Río Vinces forman parte del agua disponible para el sector.

2.5.1. Precipitaciones

Durante el invierno, las precipitaciones anuales normales acumulan 1 072.2 mm (INOCAR, 2013), teniendo como pico máximo el mes de marzo, registrándose 365.8 mm en el 2013.

2.5.2. Escorrentía

El agua de las precipitaciones cae a la superficie del suelo de toda la zona, incluido el sistema agroproductivo arroz–*Azolla* (AA), y de allí se recoge principalmente en El Río Vinces, que drena la hacienda arrocera Artillería. Un cálculo de drenaje de la escorrentía del Río Vinces (Tabla 1) arroja un valor medio anual de 35.63 m³/s.

TABLA 1. Datos Referenciales de la Zona Arrocera de la Cuenca del Río Vinces

Área de referencia (ha)	50 000.00
Volumen drenado anual de referencia (m ³)	82 600 000.00
Capacidad drenaje (m ³ .ha ⁻¹ .año. ⁻¹)	1 652.00
Cuenca Vinces (ha)	680 000.00
Drenaje Río Vinces (m ³ .s ⁻¹)	35.62

2.5.2.1. Riego

El sistema de riego en el cultivo de arroz es de inundación, haciendo indispensable bombear el agua del Río Vinces y conducirla luego por gravedad a través de canales superficiales hasta el humedal del cultivo de arroz.

2.6. Edafología

El suelo contribuye al sostenimiento del sistema agroproductivo Arroz–*Azolla* (AA) a través de los nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de estas especies vegetales.

2.6.1. Estructura del suelo

La arcilla constituye la partícula de mayor disposición del suelo en el sistema agroproductivo AA (Figura 4) y tiene la propiedad de asociarse de forma versátil con sustancias orgánicas y minerales, que en estado coloidal saturan parcial o totalmente el componente suelo convirtiéndolo en factor de alta fertilidad.



Figura 4. Suelo Arcilloso agrietado con *Azolla* de la Hacienda Artillería

Sin embargo, la materia orgánica, que representa la fertilidad, corresponde en este sitio a un suelo de bajo nivel, oscilando en 1 %, como se muestra en el Anexo 1.

2.6.2. Textura del suelo

Además de arcilla, el suelo del sistema agroproductivo AA contiene limo y arena.

2.6.3. Impermeabilidad

El suelo del sistema agroproductivo AA está clasificado como de baja permeabilidad (Proaño y Briones, 2008), debido a la elevada saturación de la zona vadosa del subsuelo, en el horizonte entre la superficie del suelo hasta el nivel freático.

El Río Vinces, tanto en flujo como en reflujos y las precipitaciones invernales son fuentes del agua de saturación.

CAPÍTULO 3

3. EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL SISTEMA AGROPRODUCTIVO ARROZ AZOLLA

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el sistema agroproductivo Arroz – *Azolla* (AA) corresponden principalmente las moléculas de Dióxido de carbono (CO_2), Metano (CH_4) y Vapor de agua (H_2O), siendo las dos primeras de mayor importancia en este estudio, por que aparecen en algunas etapas de crecimiento y desarrollo del ciclo vegetativo.

Sin embargo estos gases pueden originarse por diferentes factores como el tipo de suelo, calidad de agua y manejo de residuos de cosechas anteriores y durante el nuevo cultivo.

El gas Metano es 21 veces potencialmente más contaminante que el CO₂ (MAE, 2013).

Un balance de equiparación denominado factor de emisión es aplicado después de cuantificar este gas para ser expresado en CO_{2e} (Dióxido de carbono equivalente).

Así, se ha calculado las emisiones de los principales componentes del sistema agroproductivo AA, como se muestra en la Tabla 2, estableciendo que la panca y el tamo de arroz pirolizados son fuentes de emisión remanente, lo mismo que la materia orgánica del suelo, cuando se encuentra en condiciones anaeróbicas, donde crecen microorganismos metanogénicos, que posteriormente son inhibidos por cianobacterias a través de la oxidación.

Otros GEI colaterales emitidos por fuentes externas al sistema agroproductivo AA es el Óxido de Azufre (SO), debido al uso de maquinarias agrícolas y probablemente el Óxido de Nitrógeno (NO) a causa del arrastre de lixiviados de los suelos cercanos a la zona agrícola.

TABLA 2. Cuantificación de Emisiones de GEI en tCO_{2e} de los principales componentes del sistema agroproductivo AA

COMPONENTES	EMISIONES (tCO _{2e} /ha/año)
SUELO	
Materia Orgánica	0.08
AGUA	
DBO	0.01
VEGETALES	
Anabaena	0.00
Azolla	0.00
Arroz	0.00
Grano	0.00
Panca	1.60
Tamo	0.36
TOTAL	2.04

3.1. Tipos de gases de efecto invernadero

Al igual que en otros sistemas agrícolas, los inevitables GEI se generan en las diferentes fases de los procesos de productivos. Dichos gases se revisan a continuación.

3.1.1. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono (CO_2) se produce durante la descomposición de la materia orgánica y durante la respiración por parte de la mayoría de los seres vivos que habitan en el suelo, rizósfera y agua.

En el caso del sistema agroproductivo AA, se liberan moléculas de CO_2 al oxidarse el 90 % del metano producido en la superficie del sistema con la ayuda de una amplia gama de microorganismos que habitan entre la rizósfera y la columna de agua de la superficie del suelo (Gathorne-Hardy 2013, Ma et al., 2010).

3.1.2. Óxido de azufre

El óxido de azufre (SO) es otro GEI que se produce durante la combustión de los combustibles fósiles por parte de las maquinarias agrícolas, utilizadas para la preparación del suelo y transportación de insumos como también el producto de cosecha. También se produce en la reducción del sulfato cuando excede los 200 mg/l, sin embargo esto no sucede con frecuencia (García, 2013).

3.1.3. Óxido de nitrógeno

En este sistema AA el óxido de nitrógeno (NO) se produce de manera mínima durante el drenaje (Li et al., 2011). Esta baja emisión también se debe a las condiciones anaeróbicas del suelo por encontrarse saturado de agua (Qin et al., 2010). Sin embargo, bacterias desnitrificadoras desdoblan esta molécula para liberar el gas Nitrógeno.

3.1.4. Gas metano

Los arrozales de inundación al constituir ambientes anaeróbicos son una de las fuentes agrícolas más grandes de producción de gas metano (CH₄), generando alrededor del 15-20 % de las emisiones globales de metano.

El área cada vez mayor de arrozales en el mundo es considerada como una causa importante de los recientes cambios en el balance de metano atmosférico (GOGOI et al., 2008).

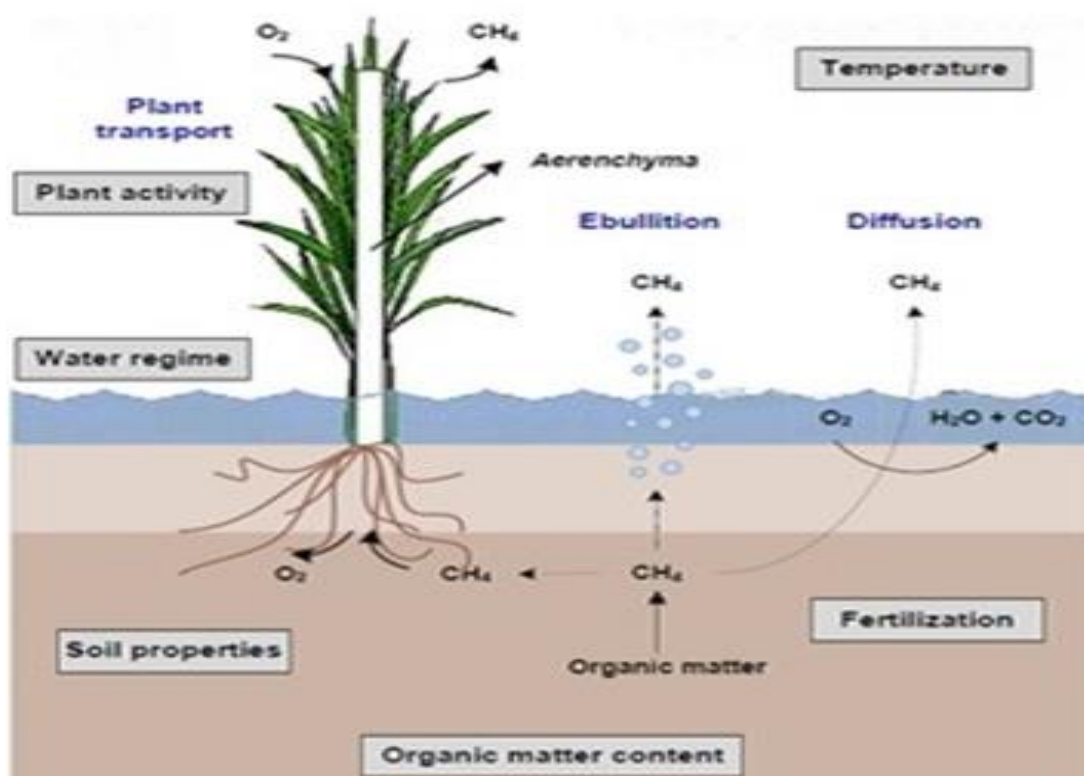
Por otro lado el 90 % de los arrozales de la tierra, que ascienden a 140 millones de hectáreas, permanecen, al menos temporalmente, inundados (Wassmann et al., 2009).

Por otra parte la materia orgánica del suelo en su descomposición emite a la atmosfera una cantidad de metano de 160 kg/ha/año (Sanchis et al., 2012).

La naturaleza semiacuática única de la planta de arroz (Figura 5) le permite crecer de manera productiva en lugares que ningún otro cultivo podría existir, pero también es la razón de sus emisiones de metano, gas de efecto invernadero (GEI).

Figura 5. Factores de Emisión de Metano en el Cultivo de Arroz

(<https://redremedia.wordpress.com/category/articulos>)



3.1.5. Vapor de agua

El vapor de agua (H_2O) es otro de los GEI que se genera en el sistema agroproductivo AA debido a las condiciones del clima y la temperatura.

3.2. Fuentes de emisiones

En este sistema agroproductivo AA se presentan diferentes fuentes de emisiones de los GEI considerando las actividades externas e internas del cultivo así como también el proceso fisiológico de la evapotranspiración, donde se emite uno de los GEI con mayor frecuencia y cantidad como es el vapor de agua.

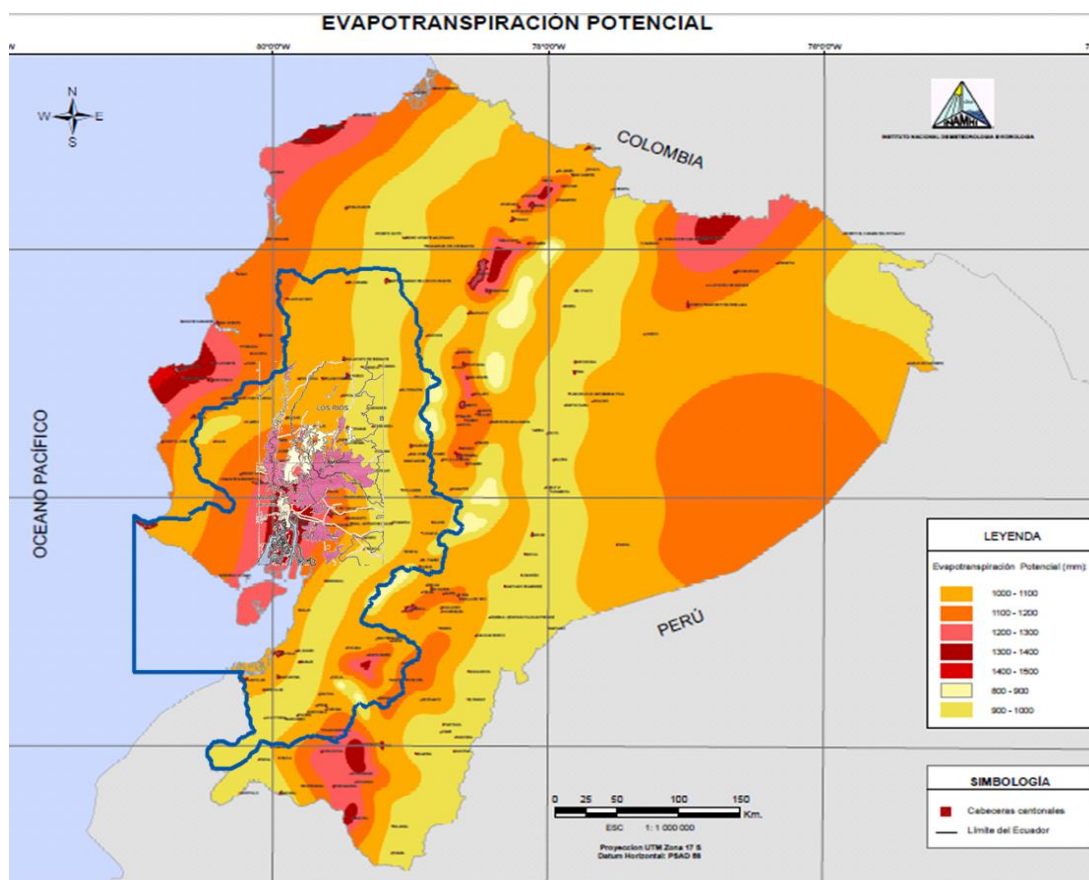
3.2.1. Cultivo

En el cultivo se considera como fuente externa las emisiones de GEI generadas por las maquinarias agrícolas durante la preparación del suelo, siembra y cosecha, así como también el transporte de insumos y producto de cosecha. En cuanto a las actividades de operación del sistema AA se considera la deshierba, fertilización y control de plagas y enfermedades.

3.2.2. Evotranspiración

El vapor de agua es el GEI que mayormente se emite a la atmosfera en el sistema AA debido a las condiciones de luminosidad y temperatura, acelerando el ciclo hidrológico en este lugar de estudio. La evapotranspiración (Et) también se origina en la parte foliar de las malezas que invaden al sistema. En la Figura 6 se presenta las isoyetas del potencial de evapotranspiración del Ecuador donde se resalta el Ecosistema Guayas y el ecosistema de arrozales.

Figura 6. Mapa de Evapotranspiración potencial



CAPÍTULO 4

4. SUMIDEROS DE CARBONO EN EL SISTEMA AGROPRODUCTIVO ARROZ – AZOLLA SPP

El carbono a ser incorporado en el sistema agroproductivo Arroz – *Azolla* (AA), se encuentra en forma de CO₂, el cual posteriormente irá cumpliendo el ciclo respectivo al reaccionar con otras moléculas orgánicas presentes en los cultivos de este estudio, acumulándose esta molécula gaseosa en las estructuras celulares para el crecimiento y desarrollo.

Al finalizar esta etapa con la cosecha, se determina la cantidad acumulada de carbono mediante análisis bromatológico, así como el valor estequiométrico de cada componente presente en la Tabla 3.

TABLA 3. Principales sumideros de CO_{2e} en el sistema agroproductivo AA

	CAPTURA tCO _{2e} /Ha/año
SUELO	
Materia Orgánica	0.00
AGUA	
DBO	0.00
VEGETALES	
Anabaena	26.10
Azolla	400.00
Arroz	0.00
Grano	8.96
Panca	10.63
Tamo	1.34
TOTAL	447.03

4.1. Cultivos

Las estructuras de cada organismo vegetal, así como el conjunto de las dos especies que forman el sistema agroproductivo AA, generan un potencial de captura de CO₂ a través del proceso de fotosíntesis, del que se obtienen 80.27 % de carbohidratos, 6.06 % de proteínas, 0.62 % de lípidos, 0.22 % de fibra y 0.55 % de cenizas en el grano del arroz, en este caso biógeno como se indica en la Tabla 4.

Los residuos orgánicos que se generan durante la cosecha, se los utiliza como pienso para la alimentación animal o como abono para un nuevo ciclo productivo. De estas dos maneras de consumo, el carbono sale del sistema y con ello ayuda a reducir la emisión del CO₂ a la atmosfera.

TABLA 4. Información Nutricional del Arroz Biógeno (Montaño, 2014)

Carbohidratos (%)	80.27
Proteína (%)	6.06
Lípidos (%)	0.62
Fibra (%)	0.22
Cenizas (%)	0.55
Energía (kcal/g)	3.11

4.1.1. Biomasa

La biomasa representada en la materia viva presente en los organismo como en el sistema agroproductivo AA se almacena debido a la interacción de las tres especies, Arroz (*Oryza sativa L.*), *Azolla* spp y cianobacterias del genero *Anabaena* spp, que tienen en común la particularidad de captar el CO₂, que junto al agua y otros minerales del suelo son transformadas por la fotosíntesis en sustancias orgánicas.

4.1.2. Tipos de Biomasa

Los tipos de biomasa que se producen del sistema agroproductivo AA se clasifican de acuerdo a su utilidad como se indica en la siguiente Tabla 5.

TABLA 5. Uso de Biomasa del Sistema agroproductivo AA

Biomasa	Uso
Grano	Consumo humano
Polvillo	Consumo animal
Arrocillo	Consumo animal
Tamo	Preparación piensos
<i>Azolla</i> spp fresca	Pienso/Abono
<i>Azolla</i> spp seca	Abono/Pienso
Panca	Energía/Abono

4.1.2.1. Gramínea

La gramínea del sistema agroproductivo AA corresponde al grano de arroz (*Oryza sativa L*), que es la biomasa de mayor importancia por el consumo alimenticio humano; la misma está constituida de nutrientes orgánicos y requiere de pilado para separarse de la envoltura que la contiene.

Por las condiciones naturales en que se desarrolla durante la producción y sin la aplicación de ningún tipo pesticida, como sucede en el cultivo

convencional, obtiene valor agregado, por lo que toma la denominación de arroz biógeno (Figura 7).



Figura 7. Arroz biógeno durante el proceso del pilado

El Carbono capturado por esta gramínea es transferido a los consumidores y no es devuelto al sistema.

4.1.2.2. Follaje

Este tejido vegetal que corresponde al sistema aéreo del arroz (*Oryza sativa*) del sistema AA, es sitio donde se articulan y procesan los gases atmosféricos, como el dióxido de Carbono CO₂, para ser convertidos en

moléculas orgánicas y posteriormente distribuirlas y almacenarlas en los granos hasta finalizar el ciclo productivo. Este follaje residual comúnmente denominado panca al final es descompuesto y entra a formar parte de un nuevo ciclo productivo.

4.1.2.3. Residuos vegetales

Adicional al grano y al follaje del sistema AA, se presentan más tipos de biomasa como el tamo, polvillo y arrocillo del arroz.

El tamo de arroz junto a la panca se descompone naturalmente en los sitios de cosecha para reincorporar los nutrientes que contienen hacia un nuevo ciclo productivo.

El polvillo y el arrocillo son destinados a la producción de balanceados alimenticios de ganadería.

Finalmente la biomasa del *Azolla* spp, es destinada a alimentación animal y también en estado seco se aplica como abono en los cultivos.

4.2. Agua

El agua del Río Vinces es medio que alimenta al sistema AA lo mismo que constituye sumidero del CO_2 mediado por los organismos vegetales y microorganismos que habitan en la rizósfera, que por otro lado espolean el ciclo de nutrientes y cumplen con la función de intercambiar gases como el oxígeno producido durante la fotosíntesis a cambio de nitrógeno y CO_2 que nutren al sistema AA, y finalmente evitan la generación de metano.

4.2.1. Demanda química de oxígeno

Este parámetro en el sistema AA indica la cantidad de oxígeno necesario para degradar aeróbicamente sustancias minerales presentes en el agua del Río Vinces, el cual tiende a eutrofizarse durante los meses de Octubre a Diciembre (Layana, 2013).

4.2.2. Demanda biológica de oxígeno

Este parámetro mide el contenido de oxígeno que es capaz de degradar aeróbicamente la materia orgánica presente en el agua del sistema AA.

La calidad de este parámetro tiende alterarse por la contaminación orgánica (Layana, 2013), lo cual por otro lado limita la capacidad de absorber el CO_2 .

4.3. Suelo

El suelo es otro componente que actúa como sumidero de carbono cuando se encuentra sano (PNUMA, 2013), como tendería a comportarse el sistema agroproductivo AA, el cual ha entrado en proceso de transición, del modelo agrícola químico a biológico, que lleva cuatro años y 8 ciclos productivos, con lo cual se ha incrementado el porcentaje de materia orgánica del suelo (Anexo 1).

4.3.1. Materia orgánica

La materia orgánica del suelo también ayuda a almacenar el carbono a mediano y largo plazo (García, 2013), que en el sistema agroproductivo AA estaría constituida en mayor proporción por *Azolla* spp, y según los análisis de suelo de los últimos 3 años ha incrementado el porcentaje (Anexo 1).

CAPÍTULO 5

5. BALANCE DE CARBONO EN EL SISTEMA AGROPRODUCTIVO ARROZ-AZOLLA SPP

5.1. Entrada de Carbono al Sistema

A través del proceso de la fotosíntesis ingresa el carbono en forma de gas carbónico (CO_2) al sistema agroproductivo Arroz – *Azolla* (AA) y allí es captado por los organismos vegetales que ayudan a incorporarlos en los medios naturales como el agua, suelo y en la estructura de los mismos vegetales.

5.1.1. Carbono almacenado en el suelo

Según los análisis de suelo que se han efectuado en el lote donde se ha trabajado con el sistema agroproduktivo Arroz-Azolla en la Hacienda Artillería y que se muestran en la Tabla 6, se puede apreciar una variación de materia orgánica desde 1.1 % hasta 4 %.

TABLA 6. Comportamiento de la Materia Orgánica del Suelo en Lote 1 de la Hacienda Artillería

2011	2012	2013
1.1 %	4.0 %	3.0 %

Fuente: Análisis de Suelo del Estación Experimental INIAP

Se considera que los suelos arcillosos como este lote agroproduktivo pueden contener hasta 5 % de materia orgánica y este a la vez 58 % de carbono (PNUMA, 2013).

Esto permite capturar la cantidad de 13 tCO₂.ha⁻¹.año⁻¹ como se muestra en el Grafico 1.

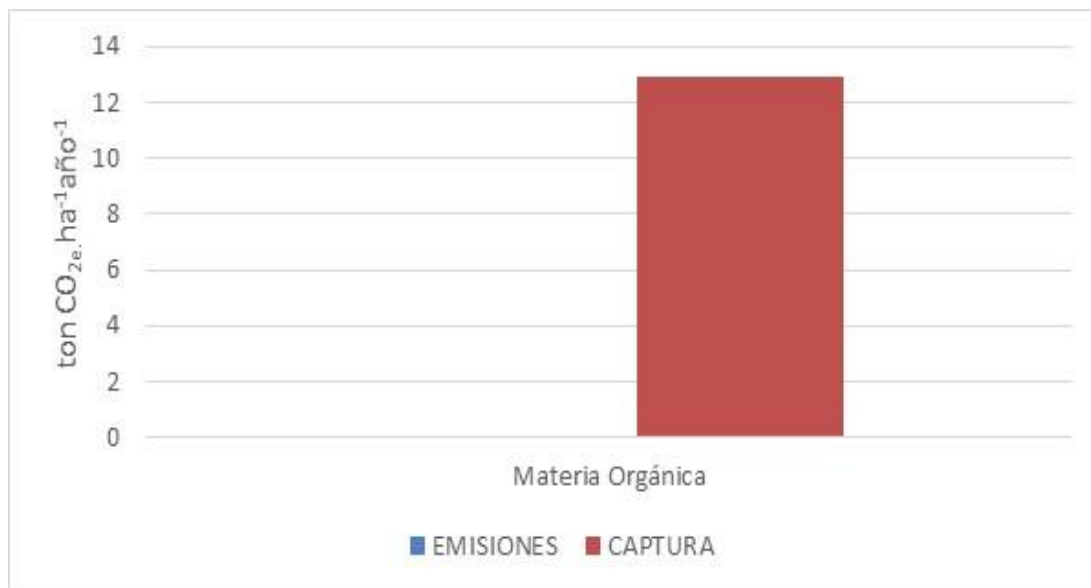


GRÁFICO 1. Cantidad de tCO_{2e}. incorporado a la materia orgánica del suelo en el sistema agroproductivo AA

5.1.2. Carbono almacenado en el agua

La cantidad de agua que se suministra a las piscinas del sistema AA es de 15 000 m³ durante un ciclo de producción y proviene del Río Vinces presentando valores de DBO₅ de 2 mg/l (GADMS, 2013)

De acuerdo a los estudios de DBO del Río Vinces y conociendo que el agua se genera el 50 % de Dióxido de carbono debido a la oxidación de compuestos orgánicos, que en este caso corresponde a 14 kg de CO₂.ha⁻¹ por ciclo o 28 kg CO₂.ha⁻¹.año⁻¹ como se indica en la Tabla 7.

Esta molécula de Dióxido de Carbono se encuentra disponible en el agua y es capturada por los organismos autótrofos del sistema agroproductivo AA.

TABLA 7. Características de la captura de CO₂ por el agua usada en el cultivo de arroz

DBO (mg/l, g/m ³)	2.0
Requerimiento de agua en el cultivo (m ³)	15 000
Captura de tCO ₂ /ha	0.014
Ciclo de cultivos anuales	2
Captura de tCO ₂ /ha	0.028

5.1.3. Carbono almacenado en la biomasa de los cultivos

El CO₂ ingresa al sistema agroproductivo AA a través de la reacción de fotosíntesis, donde es asimilado e incorporado a los tejidos de las plantas de Arroz y *Azolla* spp.

La cantidad de Carbono secuestrado en distintos tipos de biomasa se muestra en las Tablas 8, 9, 10 y 11.

5.1.3.1. Carbono en la Gramínea

Dependiendo de la variedad, ubicación, temperatura, luminosidad y eficiencia del pilado, el grano de arroz del sistema agroproductivo AA llega a alcanzar 7.56 t.ha^{-1} por ciclo y de esta cantidad 1.20 t.ha^{-1} de Carbono es secuestrado, correspondiendo al 16 % del rendimiento.

Al año se producen 2 cosechas o ciclos, que equivalen a $8.96 \text{ tCO}_2.\text{ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ (Tabla 8).

TABLA 8. Estimación del Carbono secuestrado en la gramínea del sistema Arroz-Azolla spp

Producción (t.ha^{-1})	7.56
Número de ciclos de cultivo/año	2
Contenido de Carbono (%)	16
Carbono oxidado (%)	27
Dióxido de carbono capturado ($\text{t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$)	8.96

En el Gráfico 2 se muestra la captura y las emisiones del CO_2 por parte del grano de arroz: Como se denota, solo hay captura y la respectiva transferencia al sistema alimenticio humano.

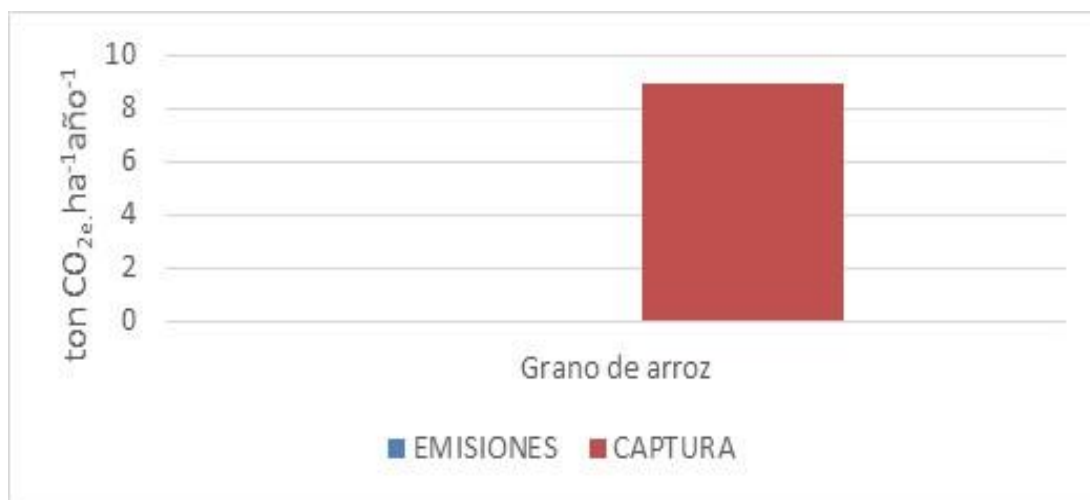


GRÁFICO 2. Captura de CO₂ por el grano de arroz del sistema agroproductivo AA

5.1.3.2. Carbono en el Sistema Foliar de los cultivos

La biomasa que no es aprovechada para el consumo humano como las panículas y espigas, forman el sistema aéreo o foliar de la planta de arroz, cuyo peso de 9.57 t.ha⁻¹; contiene alrededor de 15 % de Carbono representando 1.43 toneladas de carbono, que equivalen a 31.90 tCO₂.ha⁻¹.año⁻¹, como se detalla en la Tabla 9.

TABLA 9. Estimación del Carbono secuestrado en la panca del sistema Arroz-Azolla spp

Producción (t.ha ⁻¹)	9.57
Número de ciclos de cultivo/año	2.00
Contenido de Carbono (%)	15.00
Carbono oxidado (%)	27.00
Dióxido de carbono capturado (t.ha ⁻¹ .año ⁻¹)	31.90

5.1.3.2.1. Azolla

El contenido de carbono en *Azolla* spp comprende alrededor del 44 % (Bhuvaneshwari & Ajay, 2013). Sin embargo, en este estudio se obtuvo una cantidad de 400 tCO₂.ha⁻¹año⁻¹ como se detalla en la Tabla 10. Esto se confirma con la formación de capas de Azolla de hasta 5 cm en la lámina de agua (Small and Darbyshire, 2011)

TABLA 10. Características química de la Captura de Dióxido de carbono por *Azolla* spp en el sistema AA

<i>Azolla</i> spp Fresca (t.ha ⁻¹)	100
<i>Azolla</i> spp seca (t.ha ⁻¹)	10
Nitrógeno (t.ha ⁻¹)	6
Relación C/N	9
Carbono (t.ha ⁻¹)	54
Dióxido de Carbono (t.ha ⁻¹)	200
Cultivos anuales	2
Dióxido de Carbono (t.ha ⁻¹ .año ⁻¹)	400

La captura del Dióxido de carbono por *Anabaena azollae* asciende a 26.10 tCO₂.ha⁻¹.año⁻¹, como se indica en el Gráfico 3. Este cálculo se estima de acuerdo a la velocidad de fijación de 1.45 gCO₂.L⁻¹.d (Ruiz, 2011).

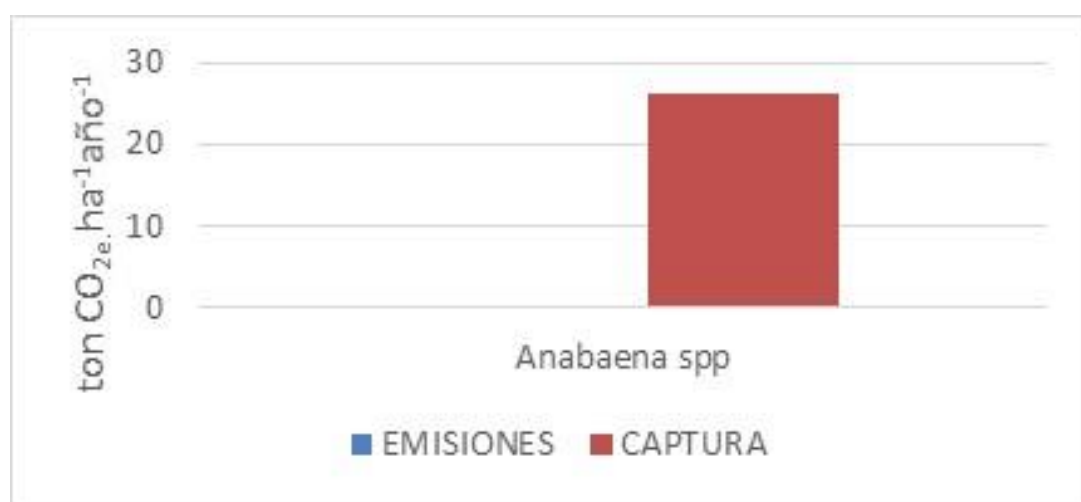


GRÁFICO 3. Captura de CO₂ por *Anabaena* spp del Sistema agroproductivo AA

El Gráfico 4 indica lo estimado de captura por el helecho *Azolla* en el sistema agroproductivo AA, que asciende a $400 \text{ tCO}_2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$.

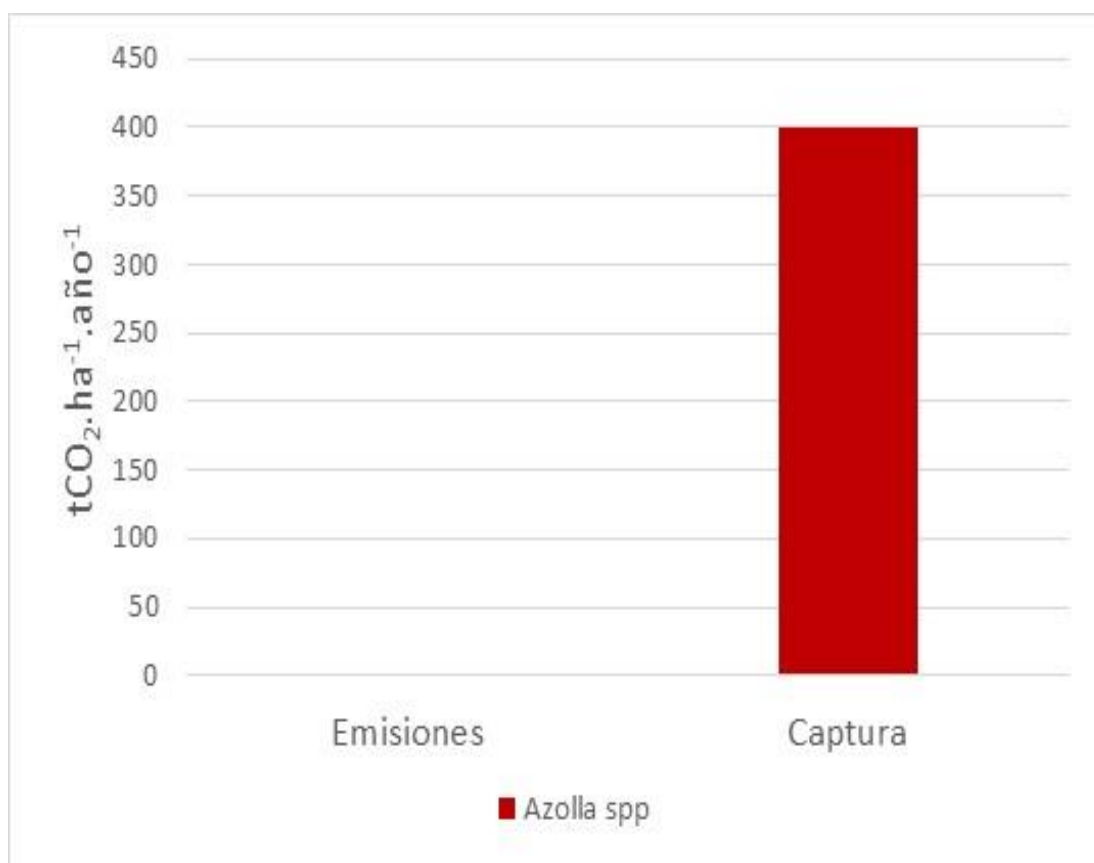


GRÁFICO 4. Captura de CO₂ por *Azolla* spp del Sistema Agroproductivo AA

Este valor de captura por parte de *Azolla* spp se indica en el Anexo 5 y Figura 8, y se compara con el valor teórico, que ha servido como referencia para otros estudios en otra región del mundo con esta especie de helecho,

en que se incluye el comportamiento de otros organismos vegetales referente a la captura de CO₂.

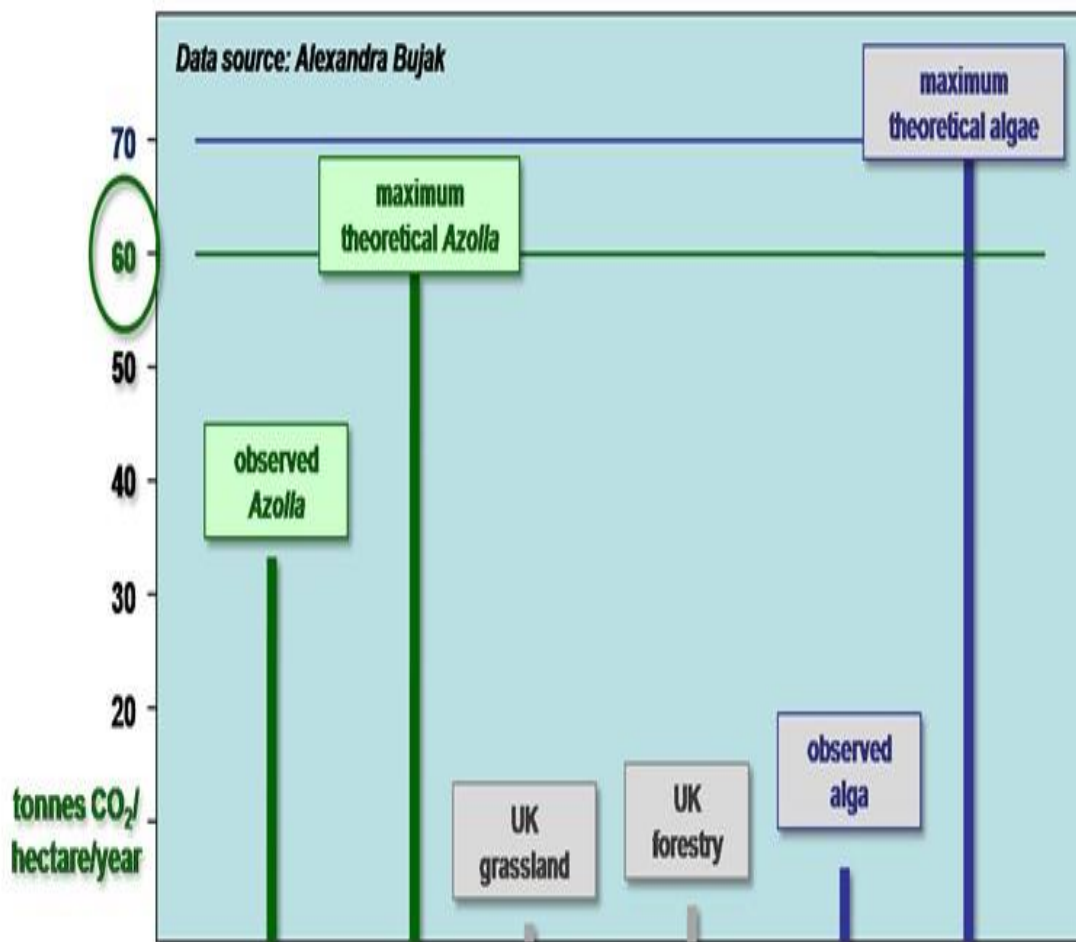


Figura 8. Cantidad de CO₂ secuestrado por diferentes organismos vegetales (Bujak, 2013)

5.1.3.2.2. Arroz

El arroz del sistema agroproductivo AA denominado biogénico contiene 16 % de Carbono, los cuales se han introducido en la gramínea por la asimilación de las 8,96 toneladas de $\text{CO}_2\text{.ha}^{-1}\text{.año}^{-1}$.

5.1.3.3. Carbono en los residuos vegetales

Además del secuestro de carbono estimado en estas especies vegetales del sistema agroproductivo AA, también queda un saldo disponible en los residuos de cosechas, cuyo contenido asciende a $1.34 \text{ tCO}_2\text{.ha}^{-1}\text{.año}^{-1}$ como se detalla en la Tabla 11.

TABLA 11. Estimación del Carbono secuestrado en el tamo y polvillo del sistema Arroz-*Azolla* spp

Producción (ton.ha^{-1})	2.01
Número de ciclos de cultivo/año	2.00
Contenido de Carbono (%)	9.00
Carbono oxidado (%)	27.00
Dióxido de carbono capturado	
($\text{t.ha}^{-1}\text{.año}^{-1}$)	1.34

La panca de arroz al ser carbonizada mediante pirolisis, emite $1.60 \text{ tCO}_2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ a la atmosfera. Sin embargo, la captura estimada es de $10.63 \text{ tCO}_2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, quedando fijado la cantidad de $9.03 \text{ tCO}_2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ en el suelo del sistema agroproductivo AA como se presenta en el Gráfico 5.

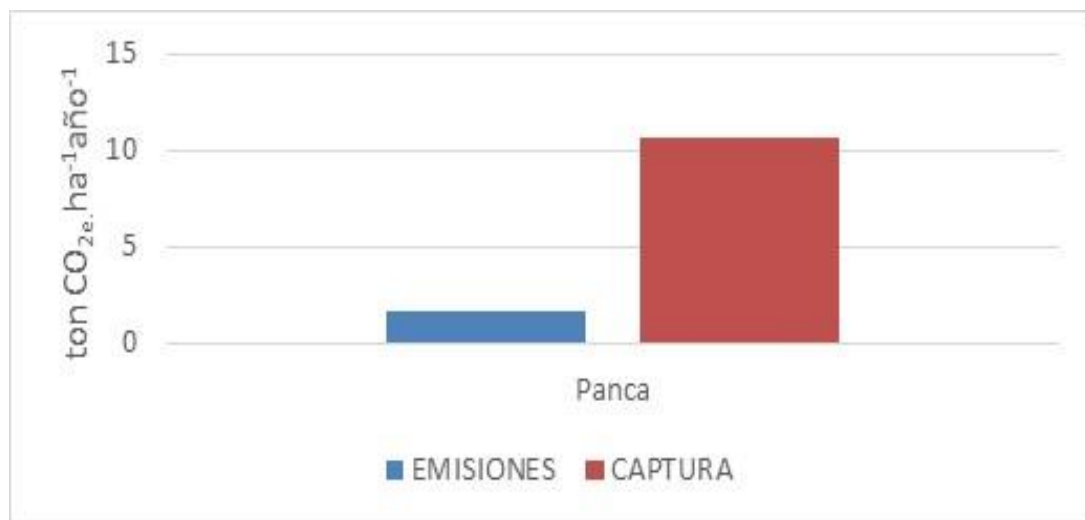


GRÁFICO 5. Emisión y Captura de CO₂ de la panca del sistema agroproductivo AA

Otros residuos que se generan en el pilado del arroz, como el tamo, que al ser carbonizado por medio del proceso pirolisis, emite la cantidad de $0.36 \text{ tCO}_2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ y captura la cantidad de $1.34 \text{ tCO}_2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, quedando una diferencia de $0.98 \text{ tCO}_2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ que es acumulada en el suelo del sistema agroproductivo AA como se presenta en el Gráfico 6.

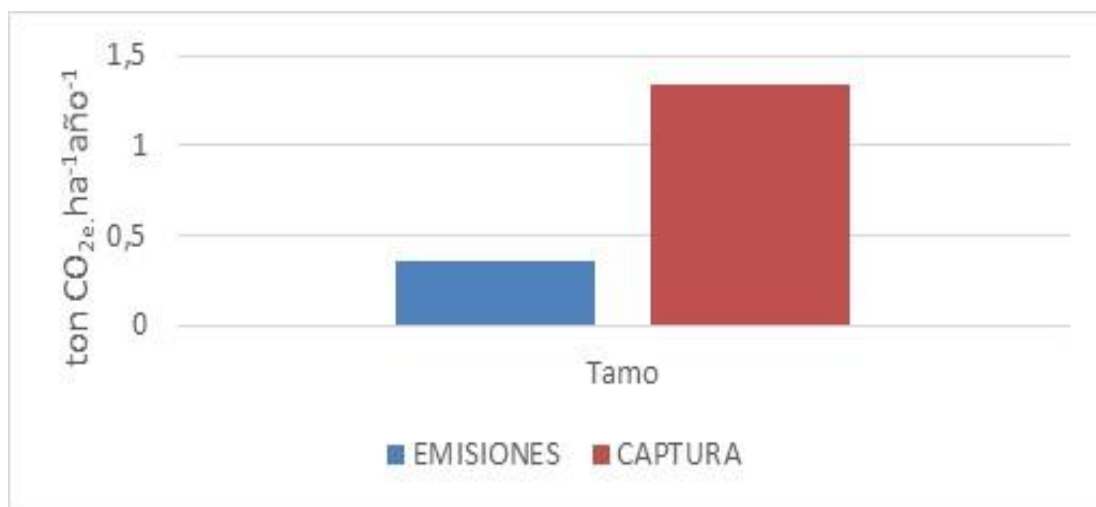


GRÁFICO 6. Emisión y Captura de CO₂ del tamo del sistema agroproductivo AA

5.2. Salidas de Carbono del Sistema

La salida de carbono en el sistema AA se debe al proceso de la respiración durante la fase oscura de las dos especies vegetales y también durante la descomposición de la materia orgánica del agua, cuyos valores ascienden a 24 toneladas de Carbono por hectárea.

5.2.1. Descomposición de los residuos vegetales

Para la descomposición de los residuos vegetales como la panca, tamo y polvillo, es necesario carbonizarlos o quemarlos en ausencia de oxígeno, y de esta manera se disminuiría 20 veces las emisiones de CO₂ a la atmosfera.

La conversión entre metano y Dióxido de carbono que corresponde a la descomposición del tamo y polvillo del sistema agroproductivo AA presenta la cantidad de $0.36 \text{ tCO}_{2e} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ (Tabla 12).

TABLA 12. Emisión de Dióxido de Carbono por descomposición de tamo y polvillo del sistema agroproductivo Arroz-*Azolla* spp

Tamo y Polvillo producido ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$)	2.01
Número de ciclos de cultivo/año	2.00
Contenido de Carbono (%)	48.00
Carbono oxidado (%)	27.00
Relación CO_2/CH_4	21.00
Emisión de Dióxido de carbono ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$)	0.36

También se registra la cantidad de $1.60 \text{ tCO}_{2e} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ previa conversión entre metano y Dióxido de carbono, que corresponde a la descomposición de la panca de arroz del sistema agroproductivo AA, como se detalla en la Tabla 13.

TABLA 13. Emisión de Dióxido de Carbono por descomposición de la panca del sistema agroproductivo Arroz-Azolla spp

Panca producida (t.ha ⁻¹)	9.57
Número de ciclos de cultivo/año	2.00
Contenido de Carbono (%)	45.00
Oxidación de carbono (%)	27.00
Relación CO ₂ /CH ₄	21.00
Emisión Dióxido de carbono equivalente (t.ha ⁻¹ .año ⁻¹)	1.60

CAPÍTULO 6

6. RESULTADOS

El contenido de Carbono registrado en los análisis de suelo, agua y de los tejidos vegetales del arroz y *Azolla* del sistema AA, fue convertido estequiométricamente en moléculas de CO₂, a través del grado de oxidación del carbono que equivale al 27%, posteriormente fueron contabilizados y expresados en unidades de tCO₂.ha⁻¹.año⁻¹. La procedencia de las muestras tomadas para la realización de estos análisis de acuerdo a las actividades de manejo, fue determinante para considerar las fuentes de emisión o captura. En la Tabla 14 se muestran los valores estimados de emisión y captura con 2.04 tCO₂.ha⁻¹.año⁻¹ y 447.03 tCO₂.ha⁻¹.año⁻¹ respectivamente, en el sistema agroproductivo Arroz-*Azolla* (AA), quedando un saldo favorable de 444.99 tCO₂.ha⁻¹.año⁻¹, que es fijado en el suelo.

El mayor registro de carbono se obtuvo del helecho *Azolla* spp, con 400 tCO₂.ha⁻¹.año⁻¹, el cual es una cifra superior al registrado en el estudio de secuestro de carbono por *Azolla* spp por Bujak (2013). El segundo valor más alto de secuestro de carbono, corresponde al cálculo de captura por parte de la cianobacteria *Anabaena azollae*, cuyo valor registrado fue de 26 tCO₂.ha⁻¹.año⁻¹. Así mismo, los componentes vegetales del arroz presentaron los comportamientos de emisión y captura que se detallan en la Tabla 14.

TABLA 14. Estimación de emisión y captura de dióxido de carbono en lote del sistema AA del predio Artillería

	EMISIONES tCO _{2e} .ha ⁻¹ .año ⁻¹	CAPTURA tCO _{2e} .ha ⁻¹ .año ⁻¹
SUELO		
Materia Orgánica	0.08	0.00
AGUA		
DBO	0.01	0.00
VEGETALES		
<i>Anabaena</i> spp	0.00	26.10
<i>Azolla</i> spp	0.00	400.00
Arroz	0.00	0.00
Grano	0.00	8.96
Panca	1.60	10.63
Tamo	0.36	1.34
TOTAL	2.04	447.03

Asimismo, la pirolisis de la panca de arroz daría $10.63 \text{ tCO}_{2e} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ de captura que se incorpora al suelo incrementando la materia orgánica. Por otro lado este proceso emite $1.60 \text{ tCO}_{2e} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, con un saldo favorable de $8.97 \text{ tCO}_{2e} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$.

La captura de $8.96 \text{ tCO}_{2e} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ a través del grano de arroz es el cuarto valor de importancia en el sistema agroproductivo AA, que finalmente sale del sistema de estudio al ser consumido por organismos heterótrofos, como los seres humanos y animales. Por tanto, se considera nula la emisión de carbono del grano de arroz.

Por último, el tamo de arroz emite $0.36 \text{ tCO}_{2e} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ y captura $1.34 \text{ tCO}_{2e} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ al ser pirolizada, dejando un saldo favorable de $0.98 \text{ tCO}_{2e} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ que al igual que la panca, será incorporado en el suelo.

CAPÍTULO 7

7. EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL SISTEMA AGROPRODUCTIVO ARROZ-AZOLLA SPP

Esta actividad agroproductiva genera impactos ambientales positivos, tanto en lo social, ambiental y económico, como se indica en la matriz de Leopold (Anexos 5). En lo social, se provee un producto con valor agregado como lo es el arroz biogénico, producido con nitrógeno natural que ha sido fijado por la simbiosis *Anabaena* spp de *Azolla* spp, convirtiéndose saludable para el consumo humano.

Así mismo al no utilizarse pesticidas en el sistema agroproductivo AA, evita el riesgo de afectar la salud de las personas que laboran en esta actividad.

El suelo mejora el contenido de materia orgánica, estructura y textura gracias a la actividad biológica de las cianobacterias y bacterias desnitrificadoras en el ecosistema Guayas, que ya que en ellos se produce arroz con la menor cantidad de químicos que es valorado por esta característica mencionada, contribuye con servicio ambiental a través de la captura de CO₂ y también en la purificación del agua del Rio Vinces.

Indirectamente favorece en el restablecimiento de la vida acuática y alimentación de diferentes especies que enriquecen el ecosistema Guayas.

CAPÍTULO 8

8. EXPECTATIVAS SOCIOECONÓMICAS DEL SISTEMA AGROPRODUCTIVO ARROZ AZOLLA SPP

El sistema agroproductivo Arroz – *Azolla* (AA) constituye el más alto potencial de aspiraciones del agricultor arrocero, al mismo tiempo favorece además la mitigación del calentamiento global, actualmente la mayor preocupación de la humanidad. En estas circunstancias es también importante que este servicio ambiental sea percibido como un bien económico colateral, tal como se plantea en este capítulo.

El precio corriente de los créditos de carbono es de 0.15 €/tCO_{2e} (SENDECO₂, 2014) que equivalen a 0.20 US\$/tCO_{2e}. La captura de CO₂ anual del sistema AA alcanza 444.99 tCO₂ha⁻¹ y su valor en el mercado representa 88.98 US\$.ha⁻¹ como se indica en la Tabla 15, en la que se incluyen todos los ingresos que genera el sistema, como la venta de arroz biológico y abono de *Azolla* por US\$ 19 008.00 y US\$ 12 000.00 respectivamente.

TABLA 15. Ingreso anual de ventas del sistema agroproductivo AA

Productos	Ventas (US\$.ha⁻¹.año⁻¹)
Arroz biogénico	19 008.00
<i>Azolla</i> spp	12 000.00
Créditos de Carbono	88.98
TOTAL	31 096.98

Los costos de producción del sistema agroproductivo AA, comprenden a su vez los costos fijos y variables de producción, cuyos valores se muestran en la Tabla 16.

TABLA 16. Costos fijos y variables anuales de producción del Sistema agroproductivo AA

Categoría	COSTOS FIJOS (US\$.ha.año)
Preparación de terreno	600.00
<i>Azolla</i> spp	360.00
Carbonizada de panca	200.00
Semillas	400.00
Mano de obra	750.00
Insumos orgánicos	600.00
	COSTOS VARIABLES
Riego	500.00
Cosecha	500.00
Transporte	280.00
Pilada	280.00
Sacas	50.00
Fundas de 40 kilos	50.00
TOTAL (\$)	4 520.00

La utilidad neta de sistema agroproductivo AA seria de USD\$ 35 068.00 según se muestra en la Tabla 17

TABLA 17. Utilidad del sistema agroproductivo AA

INGRESOS	31 096.98
(-) Costo de Producción:	4 520.00
UTILIDAD US\$	35 616.98

Según el análisis marginal del sistema agroproductivo AA, se obtiene USD\$ 11.09 por cada dólar invertido, que corresponde al 1 109.20 % de la tasa de retorno marginal, tal como se muestra en la Tabla 18.

TABLA 18. Análisis marginal del sistema agroproductivo AA

Costo Total	Beneficio neto	Tasa de retorno marginal	
USD\$	USD\$	USD\$	%
4 520.00	35 616.98	7.88	787.99

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Los residuos de cosecha como la panca, el tamo y polvillo de arroz producen emisiones de CO₂ y CH₄ cuando se queman, que constituye una práctica común en la actividad agrícola arrocera.
2. La captura de carbono por los organismos vegetales del sistema agroproductivo AA es eficiente, debido a la interacción (TRIBIOSIS) que se produce en el sistema para la nutrición y desarrollo. A esto se suma la acción de cianobacterias como *Anabaena azollae* que aportan en la oxidación del metano, evitando de esta manera la liberación de esta molécula tóxica hacia la atmósfera.

3. La cantidad de Dióxido de carbono y equivalente capturada en cada componente del sistema agroproductivo AA supera a la cantidad emitida, contribuyendo de manera positiva a la mitigación del cambio climático global con $447.03 \text{ tCO}_2.\text{ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, y al extenderse en el ecosistema Guayas aportaría al país con la captura de $178'812\ 000 \text{ tCO}_2.\text{ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, siendo superior a la capacidad de captura en los próximos 30 años de los bosques de manglares del Ecuador que oscilaría entre $27'610\ 890 \text{ tCO}_2$.
4. La rentabilidad económica de este sistema agroproductivo se basa en el rendimiento y calidad del grano, en la producción del nitrógeno fertilizante autóctono y en el servicio ambiental de captura de carbono.
5. Los impactos ambientales de este sistema son positivos al mejorar la calidad del producto de consumo humano de forma natural, así como también la calidad del agua y suelo a través del incremento de biocarbón en la materia orgánica.

RECOMENDACIONES

1. Es preciso revertir los procesos de combustión de los residuos agrícolas arroceros a través de la pirolisis, de la cual se obtiene biocarbón que se fijará en la materia orgánica del suelo degradándose lentamente.

2. Extender esta tecnología tropical a otras actividades agrícolas para la captura de carbono y sostenibilidad de los ecosistemas agroproductivos.
3. Considerar este modelo agroproductivo como proyecto MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) para la obtención de créditos CERs (Certificado de Emisiones Reducidas) y participar en el mercado de carbono.

ANEXOS

ANEXO 1

TABLA 19. Resultados de Análisis de suelo en varios lotes del Predio Artilleria durante los años 2011 al 2013 (Decker, 2014)

LOTE	pH	ppm		meq/100ml			ppm						dS/m	%	Na	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	ΣBA
		N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B	C.E.	M.O.					
9	6.1	6	11	0.50	17.3	10.20	65	2.7	8.8	62	69.4	0.21	3.20			1.6	20.52	55.28	28.10
8	6.7	7	10	0.34	19.0	9.90	64	2.9	9.0	44	19.0	0.21		1.3		1.9	29.29	87.06	29.90
1	6.2	6	2	0.33	17.0	15.6	417	4.2	10.5	32	25.0	0.51	3.57	3.0		1.1	47.27	99.45	33.15
3	6.3	8	2	0.31	18.0	12.6	175	4.2	10.5	30	25.2	0.45	2.15	3.1		1.5	40.65	101.42	31.75
9	6.2	18	4	0.43	20.0	12.1	17	3.4	9.7	22	117	0.56		2.7		1.6	28.14	75.58	32.93
BOLITA	7.2	5	0.7	0.20	15.9	13.2		2.6	1.8	39.7	4.8		2.60	0.9	1.64				
2	6.8													2.5					
9	6.4	12	3	0.40	15.0	10.70	24	1.8	7.6	16	86.3	0.62							
8 y 9	6.3	19	3	0.35	19.0	10.34	46	3.2	7.3	12	16.5	0.44	1.30	1.8	2.00	1.8	29.50	83.80	31.70
5	6.4	17	4	0.33	19.0	10.85	44	2.1	6.2	6	14.3	0.52	1.30	1.9	2.30	1.8	32.90	90.50	32.50
1	6.0	12	10	0.42	16.0	9.4	28	21	7.9				0.58	4.0					
2	6.1	9	3	0.32	15.0	9.3	35	22	7.9	12	32.8	0.52	0.54	2.0		1.6	27.40	71.50	24.60
3	6.8	0.07	3.2	0.39	15.7	19.6		1.5	4.2	30.8	11.9		0.40	1.2					
7	6.6	9	2	0.33	19.0	8.2	32	1	6.2	11	12.5	0.12	0.60	1.6	0.64	2.3	24.80	82.40	27.50
10	6.7	12	4	0.41	18.0	9.7	220	1.8	7.1	22	37.0	0.15	2.50	1.8		1.9	23.70	67.60	28.10
BAJO	5.9	15	5	0.32	17.0	6.6	268	3.2	11.5	84	24.7	0.1	1.60	2.8		2.6	20.60	73.80	23.90
1	6.4	12	6	0.43	18.0	9.0	25	2.4	4.9	20	279	1.3	0.19	1.1		2.0	20.93	62.70	27.40
7	6.6	9	3	0.30	17.0	9.1	20	2	4.8	17	256	0.8	0.31	1.4		1.8	30.33	87.00	26.40

ANEXO 2

TABLA 20. Generación de metano en diferentes tratamientos incubados con cianobacterias en muestras de suelo (Ruiz, 2011)

	Días			
	0	3	5	10
Control	3.7 ^a	474.7 ^b	724 ^a	1 063 ^a
<i>Synechocystis spp</i>	3.7 ^a	42.5 ^d	51 ^d	139 ^c
<i>Oscillatoria</i>				
<i>angustissima</i>	3.9 ^a	44.9 ^d	54 ^d	547 ^b
<i>Lyngbya spp</i>	3.7 ^a	150.0 ^c	293 ^b	536 ^b
<i>Anabaena</i>				
<i>fertilissima</i>	3.9 ^a	37.0 ^d	57 ^d	267 ^c
<i>Anabaena spp</i>	3.4 ^a	35.0 ^d	62 ^d	185 ^c
<i>Anabaena variabilis</i>	3.7 ^a	35.1 ^d	60 ^d	279 ^c
<i>Tolypothrix</i>	3.3 ^a	531.3 ^a	223 ^c	266 ^c

ANEXO 3

TABLA 21. Comportamiento del gas metano en diferentes tratamientos con cianobacterias y dosis de Nitrógeno (Ruiz, 2011)

	Sin Fertilizar	<i>Cyanobacterias ssp</i>	<i>Azolla spp</i>	<i>Cyanobacterias spp</i> + <i>Azolla spp</i>	Media
0 días					
N30	195.45	176.55	199.65	199.25	192.73
N60	215.10	230.30	210.20	209.40	216.25
N90	208.90	195.00	193.10	210.60	201.90
N120	195.10	199.60	196.80	194.20	196.43
Media	203.64	200.36	199.94	203.36	201.83
2 días					
N30	184.80	106.89	107.70	90.50	122.47
N60	182.20	162.04	74.10	28.50	111.71
N90	189.40	116.90	110.30	103.70	130.08
N120	180.00	95.20	91.20	103.60	117.50
Media	184.10	120.26	95.83	81.58	120.44
7 días					
N30	170.70	6.70	8.80	40.80	56.75
N60	71.40	24.90	19.70	4.40	30.10
N90	105.70	6.50	13.30	13.30	34.70
N120	99.60	7.40	7.80	12.00	31.70
Media	111.85	11.38	12.40	17.63	38.31

ANEXO 4

TABLA 22. Promedios del gas metano en diferentes tratamientos con cianobacterias y dosis de Nitrógeno

	Sin Fertilizar	<i>Cyanobacterias ssp</i>	<i>Azolla spp</i>	<i>Cyanobacterias spp + Azolla spp</i>	Media
Promedio					
N30	183.65	96.71	105.38	110.18	123.98
N60	156.23	139.08	101.33	80.77	119.35
N90	168.00	106.13	105.57	109.20	122.23
N120	158.23	100.73	98.60	103.27	115.21

ANEXO 5.

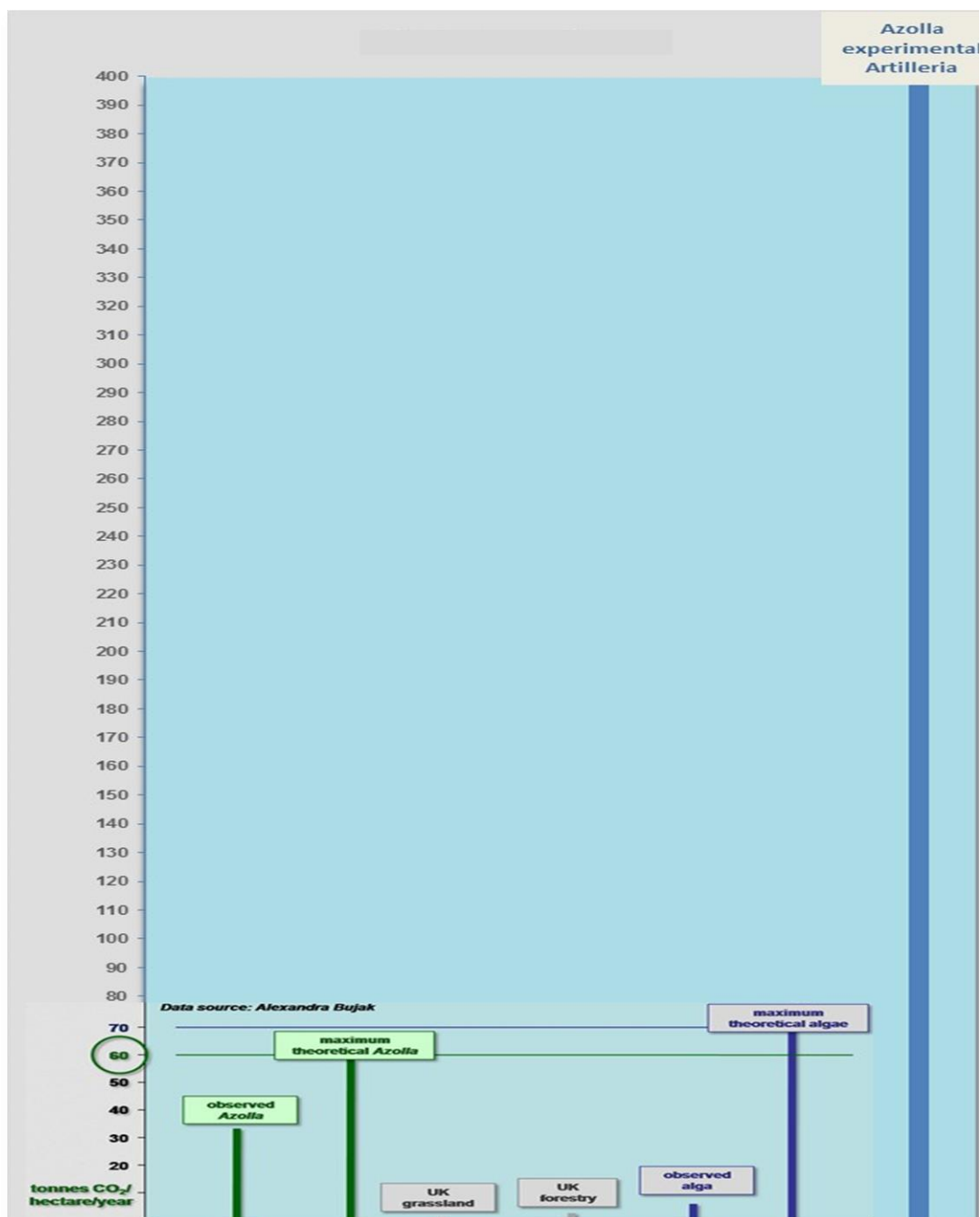


GRAFICO 7. Diferencias de valores capturados de CO₂ entre la Azolla de Artillería y lo indicado por Alexandra Bujak

ANEXO 6

TABLA 23. Matriz para la Evaluación de Impactos Ambientales en el Sistema Agroproductivo Arroz Azolla

		1. ACCIONES QUE PUEDEN CAUSAR EFECTOS AMBIENTALES											EVALUACIÓN			
		INSTRUCCIONES	ACCIONES PROPUESTAS													
		1. Identificar todas las acciones (Situadas en la parte superior de la matriz) que ponen lugar en el proyecto														
		2. Bajo cada una de las acciones propuestas, trazar una barra diagonal en la intersección con cada uno de los términos laterales de la matriz, en caso de posible impacto														
		3. Una vez completada la matriz en la esquina superior izquierda de cada cuadrito con barra, calificar de 1 a 10 la MAGNITUD del posible impacto 10 representa la máxima magnitud y 1 la mínima (el cero no es válido). Delante de cada calificación poner + si el impacto es beneficioso. En la esquina inferior derecha de cada cuadrito calificar de 1 a 10 la IMPORTANCIA del posible impacto (por ejemplo si es regional o simplemente local) 10 representa la máxima importancia y 1 la mínima (El cero no es válido).														
		4. El texto que acompaña la matriz consistirá en la discusión de los impactos más significativos, es decir aquellos cuyas filas y columnas están señalados con las mayores calificaciones y aquellos cuadrillos alizados con números superiores.														
			A. Controles biológicos al caracol manzana y Lepidópteros	B. Incorporación de Azolla al Lote Productivo Arroz	C. Labores culturales de la cubierta terrestre del cultivo	D. riego de la hacienda	E. Alteración del drenaje de la Hacienda Artillería	F. Acción del clima	G. Gestión y control de la vida natural del Sistema Arroz Azolla	H. Recarga de acuíferos subterráneos	I. Reciclado de residuos agrícolas	J. Control del suelo del sistema agroproductivo				
2. IMPACTOS POTENCIALES	FÍSICO	1. SUELO	A. Generación desechos			1/3	-2/3	-1/3		1/4	-1/2	1/2	1/5	0	22	
			B. Contaminación del suelo	1/5		1/5	1/1		-1/1			1/1	1/5	4	18	
		2. AGUA	A. Afectación de la calidad del agua	1/4	1/5	-1/5	-2/2	-1/1	-2/5	2/5	2/2			-1/5	-1	36
			B. Variación de la temperatura	-1/5	-2/5	-2/5	-2/5	-2/5	-2/5	-2/5		1/5		-2/5	-14	45
		3. ATMÓSFERA	A. Afectación de la calidad (gases, etc.)	-1/5	-2/5	-2/5	-2/5	-2/5	-2/5	-3/5	-3/5	-1/5		-3/5	-21	50
			B. Variación del micro y macro clim		-2/5	-3/5	-4/5	-2/5	-4/5	-3/5	-1/5	1/5		-1/5	-19	45
			C. Variación de la temperatura	-2/5	-2/5	-2/5	-2/5	-2/5	-2/5	-2/5	-2/5	2/5		-3/5	-17	50
		4. EVENTOS	A. Inundaciones	-1/5	-3/5	-2/5	-3/5	-2/5	-4/5	-2/2	-3/5	3/5		-3/5	-20	47
	B. Erosión		-2/5	-2/5	-2/5	-4/5	-4/5	-4/5	-3/5	-3/5	-3/5		-3/5	-30	50	
	BIOLOGICO	CULTIVOS	A. Cosechas de Arroz y Azolla seca	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	50	100
			B. Microflora (Helecho Azolla)	4/10	4/10	4/10	4/10	4/10	4/10	4/10	4/10	4/10	4/10	4/10	40	100
			C. Plantas acuáticas (Azolla, Arroz)	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	50	100
	FAUNA	A. Avifauna (Gavilán caracolero, Garzas)	-1/2	-1/2											-2	4
		B. Animales terrestres incluido reptiles (Lagartijas, batracios)	-1/2	-1/2											-2	4
		C. Organismos benéficos (Gavilán caracolero)	-1/2	-1/2											-2	4
		D. Insectos (Abejas, avispas, arañas, mosca, lepidópteros)	-1/2	-1/2											-2	4
E. Microorganismos bacterianos (cianobacterias, methanogénicas)		2/2	3/2	3/2				3/2			3/2	3/10		17	20	
SOCIAL	CULTURAL	A. Salud y seguridad de operarios	1/5	1/5	1/5									3	15	
		B. Empleo	-1/5	-1/5	1/5									-1	15	
	Otros	A. Salinización de suelo del sistema agroproductivo Arroz	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/10	10	55	
EVALUACIÓN		IMPACTO	8	2	8	-5	-1	-3	3	4	23	4	43			
		IMPORTANCIA	89	90	90	73	69	73	71	64	70	95	784			

ANEXO 7



FIGURA 9. Colecta de *Azolla* spp en Santa Marta del km 19 de la vía a Samborondon

ANEXO 8



FIGURA 10. Muestra de *Azolla* spp cosechada

ANEXO 9



FIGURA 11. *Azolla* spp fresca recogida en el carretón por el equipo del proyecto

ANEXO 10



FIGURA 12. Siembra de *Azolla* spp en la piscina de arroz previo al trasplante de la gramínea

ANEXO 11



FIGURA 13. Toma del material vegetal *Azolla* spp para sembrarla posteriormente en una piscina de arroz

ANEXO 12

FIGURA 14. Aplicación al voleo de *Azolla* spp en el cultivo de arroz después del trasplante

ANEXO 13

FIGURA 15. Azollario del predio Artillería de 20 días de edad.

ANEXO 14

FIGURA 16. Densidad y vigorosidad de *Azolla* spp en el Azollario de Artillería.

ANEXO 15



FIGURA 17. Toma de muestra de *Azolla* spp a los 21 días de edad en el Azollario de Artillería.

BIBLIOGRAFÍA

1. BHUVANESHWARI K. and AJAY K. 2013. Agronomic potential of the association *Azolla – Anabaena*, Science Research Reporter 3 (1): 78-82, April 2013, Varanasi India. Disponible en:
<http://jsrr.in/Vol.%203,%20No.%201%20April%202013/Bhuvaneshwari%2078-82.pdf>
2. BUJAK A., 2013. CO2 sequestration, The Azolla Foundation, Disponible en: <http://theazollafoundation.org/azollas-uses/as-a-livestock-feed/cultivation-of-azolla-as-a-livestock-feed/>
3. BUJAK J. and BUJAK A., 2014. The Arctic Azolla event, GEOSCIENTIST, the magazine of the Geological Society, VOLUME 24 NO 5 01 JUNE 2014. Disponible en:
<http://www.geolsoc.org.uk/Geoscientist/June-2014/The-Arctic-Azolla-event>
4. CORDERO V., VÁSQUEZ P. y ROSERO C. 2011. Análisis situacional de la Soberanía Alimentaria en el contexto de la adaptación al cambio climático en el Ecuador, Proyecto Fortalecimiento de las Capacidades de los encargados de la formulación de Políticas para hacer frente al cambio climático. Ministerio del Ambiente (MAE) – Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Quito, Ecuador. Disponible en:
http://web.ambiente.gob.ec/sites/default/files/users/dhermida/soberani_aalimentaria.pdf
5. CORONEL J., 2011. Tesis “Estudio de las especies químicas amonio, nitrito y nitrato en el proceso de fijación biológica del nitrógeno del sistema *Azolla - Anabaena* mediante técnicas colorimétricas y su aprovechamiento” Disponible en:
<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:KvpZiukNID4J:repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/2137/1/1073.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>

6. DECKER, Rafael. Análisis de Suelo de la Hacienda Artillería en Laboratorio Bromatológico del INIAP desde el 2011 hasta el 2013.
7. DOMÍNGUEZ J., 2013. Casa abierta del Arroz INIAP 2013, El Universo “Un promedio de 117 libras de arroz al año consume cada ecuatoriano”, Duran – Guayas. Disponible en:
<http://www.eluniverso.com/noticias/2013/09/19/nota/1462276/promedio-117-libras-arroz-ano-consume-cada-ecuatoriano>
8. El Telégrafo, 2014. Ecuatorianos comen 53,2 kg de arroz al año. Disponible en:
<http://www.telegrafo.com.ec/economia/item/ecuatorianos-comen-532-kg-de-arroz-al-ano.html>
9. EQUILABRATUM-DIVISION CONSULTORIA, ELICONSUL Cía. Ltda. 2011. Ficha Ambiental. Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Expost del Proyecto: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas, Cantón Samborondón, Provincia del Guayas. Disponible en:
<http://equilibratum.org/files/EIA%20EXPOST%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20SAMBORONDON.pdf>
10. FAO (Food and Agriculture Organization), 2014. Seguimiento del Mercado de Arroz. Disponible en:
<http://www.fao.org/economic/est/publications/publicaciones-sobre-el-arroz/seguimiento-del-mercado-del-arroz-sma/es/>
11. GADPG (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia del Guayas), 2013. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Provincial, Plan de Desarrollo de la Provincia del Guayas 2012 – 2020. Disponible en:
<http://www.guayas.gob.ec/dmdocuments/ley-de-transparencia/literal-k/Plan-de-Desarrollo-2013.pdf>
12. GADMS (Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio de Salitre), 2013. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Salitre 2012 – 2020. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/%23recycle/PDyOTs%202014/0960005880001/PDyOT/15022013_172618_PDyOT%20SALITRE%202012%20-%202020.pdf

13. GARCIA, 2013, Tesis Doctoral “Estudio de la Biomasa de *Citrus ladanifer* L. y *Retama sphaerocarpa* L. como sumidero de CO₂: Existencia y potencialidad”. Universidad de Extremadura. Disponible en:
http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CC4QFjAC&url=http%3A%2F%2Fdehesa.unex.es%3A8080%2Fxmlui%2Fbitstream%2Fhandle%2F10662%2F577%2FTDUEX_2013_Garcia_Rosa.pdf%3Fsequence%3D1&ei=30eTU738CcTNsQTF7IJ4&usq=AFQjCNHgxy4WPfI8EkuPiJIH1D6OI7S7YQ
14. GATHORNE-HARDY A., 2013. Greenhouse gas emission from rice. Working paper number 3. Disponible en:
<http://www.southasia.ox.ac.uk/sites/sias/files/documents/GHG%20emissions%20from%20rice%20-%20%20working%20paper.pdf>
15. GOGOI N. – K.BARUAH – B. GOGOI – P.K. GUPTA, 2008. METHANE EMISSION FROM TWO DIFFERENT RICE ECOSYSTEMS (AHU AND SALI) AT LOWER BRAHMAPUTRA VALLEY ZONE OF NORTH EAST INDIA, APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH 6(3): 99-112. Budapest, Hungary INICORP, Constructora e Inmobiliaria, 2012. Estudio del Impacto Ambiental del Proyecto Urbanístico Ciudad del Valle. Disponible en:
<http://www.guayas.gob.ec/dmdocuments/medio-biente/eia/2013/2013-marzo/ESTUDIO%20DIGITAL%20CIUDAD%20DEL%20VALLE%20-%202013.pdf>
16. INOCAR, Grafico mensual de precipitaciones. Guayaquil. 2013. Disponible en:
http://www.inocar.mil.ec/graphs/src/inocar/index_ptnmen.php.
17. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Cambio Climático Informe de Síntesis 2007. Inventario de Gases de Efecto Invernadero. Disponible en:
https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
18. LAYANA E., 2013. Tesis de Grado “Estudio de la Calidad de Agua del Río Babahoyo y sus afluentes: Índice Saprobio”. Universidad de Guayaquil. Disponible en:
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/794/1/Estudio%20de%20la%20calidad%20del%20agua%20del%20r%C3%ADo%20Babahoyo%20y%20sus%20afluentes%20-%20-%20-%20C3%AFndice%20Saprobio.pdf>

19. LI, X., Yuan W., Xu H., Cai Z., and Yagi K., 2011. Effect of timing and duration of midseason aeration on CH₄ and N₂O emissions from irrigated lowland rice paddies in China, Nutrient Cycling in Agroecosystems 91:293-305
20. MAE (Ministerio del Ambiente de Ecuador), 2013. Mitigación: Evaluación de necesidades tecnológicas para la generación de energía a partir de residuos sólidos urbanos. Quito, Junio 2013. Disponible en:
http://unfccc.int/ttclear/sunsetcms/storage/contents/stored-file-20130820160421142/EvaluacionNecesidadesTecnologicas-Mitigacion_EnergiaResiduosSolidosUrbanos_Ecuador.pdf
21. MA K., Qiu Q., and Lu Y., 2010. Microbial mechanism for rice variety control on methane emission from rice field soil. Global Change Biology 16:3085-3095
22. MINAG, Ministerio de Agricultura del Perú, 2013. El Arroz. Principales Aspectos de la Cadena Agroproductiva. Disponible en:
<http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroeconomia/agroeconomiaarroz3.pdf>
23. MONTAÑO MARIANO, 2014. CONVERTIR LOS ARROZALES EN EXCLUSIVOS CAMPOS DEL SUMAK-KAWSAY, REVOLUCIÓN AGRÍCOLA Y TRANSFORMACIÓN DE LA MATRIZ PRODUCTIVA. Presentación no publicada, Universidad Laica Vicente Rocafuerte, 2013-10-4.
24. MONTAÑO MARIANO, 2013. Nitrógeno, Azolla, arroz, agricultura, salud, medio ambiente, economía, Ecosistema Guayas, conocimiento tropical: eslabones de la prosperidad del Ecuador, Revista FOCUS ESPOL - Edición 57. Disponible en:
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24192/1/Nitr%C3%B3geno%2c%20Azolla.pdf>
25. MONTAÑO MARIANO, 2012. Nitrógeno criollo. Nueva esperanza para la agricultura del Ecuador. Disponible en:
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/21292/1/NITR%C3%93GENO%20CRIOLLO.%20NUEVA%20ESPERANZA%20PARA%20LA%20AGRICULTURA%20DEL%20ECUADOR.pdf>

26. MONTAÑO MARIANO, 2010. Ecosistema Guayas: Recursos, Medio Ambiente y Sostenibilidad en la perspectiva de Conocimiento Tropical, ESPOL, Guayaquil. Disponible en:
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/15823>
27. MONTAÑO MARIANO, 2008. Converting Rice Fields into Green Fertilizer Factories. DM (Development Marketplace) 08 Proposal #: 5381. Disponible en:
<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/8394/1/5381%20DM2008%20Full%20Proposal.pdf>;
<http://wbi.worldbank.org/developmentmarketplace/idea/converting-rice-fields-green-fertilizer-factories>).
28. MUÑOZ G., 2013. El reto de la agricultura frente al cambio climático. Disponible en:
http://www.revistajuridicaonline.com/index.php?option=com_content&ask=view&id=816&Itemid=120
29. PEREZ S., 2012. Tesis “Evaluación y análisis de la huella hídrica y agua virtual de la producción agrícola en el Ecuador. Zamorano – Honduras. Disponible en:
<http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/911/1/T3270.pdf>
30. PEREIRA A., TEIXEIRA G., SEVINATE T., PINTO, ANTUNES T. and CAR R., Taxonomic re-evaluation of the *Azolla* gen usin Portugal plant biosystems, 2001.
31. PROAÑO J. y BRIONES C., 2008. Gestión del riego y la salinidad en los cultivos de la Península de Santa Elena y la Cuenca Baja del Rio Guayas. XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del suelo. Quito – Ecuador. Disponible en:
<http://www.secsuelo.org/XI Congreso/Simposios/Conservacion/Documento/Magistrales/5.%20Jaime%20Proano.%20Riego.pdf>
32. PNUMA, 2013. Tunza. Revista del Programa de las naciones unidas sobre medio ambiente para los jóvenes. El suelo un elemento olvidado. Disponible en: http://www.unep.org/pdf/Tunza_9.2_Spa.pdf

33. RUIZ A., 2011. Tesis “Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de una agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente”, Abril 2011, Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en:
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12831/Ruiz%20Martinez%20Ana%20-%20Tesina%20Fin%20Master%20-%202011.pdf?sequence=1>
34. SANCHIS E., FERRER M., TORRES G., CAMBRA-LÓPEZ M., CALVET S., 2012. Effect of water and straw management practices on methane emissions from rice fields: A review through a meta-analysis. *Environmental Engineering Science*. 29, 1053-1062. Disponible en:
<https://redremedia.wordpress.com/category/articulos>
35. SENDECO₂ (Sistema Electronico de Negociacion de Derecho de Emision de Dioxido de Carbono), 2014. Precio CO₂, disponible en:
http://www.sendeco2.com/es/precio_co2.asp?ssidi=1
36. SEVILLANO F., SUBRAMANIAM P., RODRIGUEZ-BARRUECO C., La Asociación simbiótica Fijadora de Nitrógeno Atmosférico *Anabaena-Azolla*. 1984. Disponible en:
<http://digital.csic.es/bitstream/10261/85747/1/La%20asociaci%C3%B3n%20simbi%C3%B3tica%20fijadora%20de%20nitr%C3%B3geno%20atmosf%C3%A9rico%20Azolla-Anabaena.pdf>
37. SMALL E. and DERBYSHIRE J., BLOSSOMING TREASURES OF BIODIVERSITY 35. Mosquito Ferns (Azolla species) – tiny ‘super plants, 2011, B I O D I V E R S I T Y Vol. 12, No. 2, June 2011, 119–128, Disponible en:
<http://www.eriksjoedin.net/projects/theazollacookingandcultivationproject/research/Mosquito%20ferns%20-%20tiny%20super%20plants.pdf>
38. SPEELMAN N., VAN KEMPEN L., M., BARKE L., BRINKHUIS H., REICHART G., SMOLDERS A., ROELOFS J., SANGIORGI F., DE LEEUW J., LOTTER A. and SINNINGHE J., 2009, The Eocene Arctic *Azolla* bloom: environmental conditions, productivity and carbon drawdown 2009, Disponible en:
http://www.researchgate.net/publication/24236486_The_Eocene_Arctic_Azolla_bloom_environmental_conditions_productivity_and_carbon_drawdown/file/9fcfd51094d8049265.pdf

39. TUBIELLO F., SALVATORE M., ROSSI S., FERRARA A., FITTON N., and SMITH P., 2013. The FAOSTAT database of greenhouse gas emissions from agriculture. Disponible en:
<http://www.fao.org/climatechange/36143-0fa4483057747f41c08183b702ec5954e.pdf>
40. Van Kempen Monique M.L., Alfons J.P. Smoldersa, Gerard M. Bögemann, 2013. Responses of the *Azolla filiculoides* Stras.–*Anabaena azollae* Lam. Association to elevated sodium chloride concentrations: Amino acids as indicators for salt stress and tipping point. Aquatic Botany 106, 20-28. Disponible en:
<http://www.b-ware.eu/content/project/publicaties/Kempen-Aquatic-Botany-2013.pdf>
41. VERA Maribel, 2012. Tesis “Diagnóstico y análisis de la Comercialización de arroz para elaborar una alternativa de mejorar la rentabilidad de los productores de la zona de Babahoyo”. Disponible en:
<http://190.63.130.199:8080/bitstream/123456789/1794/1/TESIS%20D E%20MAESTRIA%20ING.%20MARIBEL%20VERA%20S..pdf>
42. VINUEZA J., 2012. Tesis “Determinación del aporte de oxígeno disuelto en ambientes acuíferos por la relación simbiótica de *Azolla spp.* y *Anabaena spp.* Cayambe/2010”, Disponible en:
<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3733/6/UPS-CYT00070.pdf>
43. WASSMANN R., HOSEN Y., and SUMFLETH K., 2009. Reducing Methane Emissions from Irrigated Rice. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Series number 16(3). Disponible en:
<http://www.ifpri.org/publication/reducing-methane-emissions-irrigated-rice>