

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN AGRICULTURA ALTERNATIVA con mención en
AGRICULTURA ECOLÓGICA**

Tesis de postgrado

**Diversidad genética del maíz criollo y su conservación *in situ* en
huertos familiares de la Zona Norte de Costa Rica**

Tesis sometida a consideración de la Comisión de Gestión Académica para optar al grado de
Magíster Scientiae en Agricultura Alternativa con mención en Agricultura Ecológica

Presentada por

Guido Barrientos Matamoros

Tutor

Dr. Ramón Molina Bravo

Lectores

Dr. Eduardo Salas Alvarado

MSc. Patricia Quesada Rojas

Heredia, Costa Rica

Julio 2018

Tesis de postgrado

**Diversidad genética del maíz criollo y su conservación *in situ* en
huertos familiares de la Zona Norte de Costa Rica**

Presentada por

Guido Barrientos Matamoros

Resumen

Se caracterizaron genéticamente 14 poblaciones de maíz criollo de huertos familiares (HF) de Upala, Los Chiles y Guatuso, Zona Norte Norte (ZNN) de Costa Rica, conservados *ex situ* en la Universidad Nacional (UNA), y cinco variedades comerciales: tres híbridos del CIMMYT: H1 (CLTHW001), H2 (CLTHW007) y H3 (CLTHW002). El material se analizó por medio de seis pares de imprimadores para amplificar microsatélites (SSR) con altos contenidos polimórficos de *Zea*. Se detectaron 55 alelos y un promedio de 4.6 por locus, alelos diferentes 3.5 y alelos efectivos 2.9, mostrando riqueza alélica. La heterocigosidad esperada ($H_e=0.6$), la observada ($H_o=2.4$) y el Índice de Shannon (diversidad genética) de 1.1, fueron bajos. El análisis AMOVA mostró que la mayor parte de la diversidad observada se debió a la variabilidad entre individuos (59%), seguida por la variabilidad a lo interno de los individuos (27%) y a la variabilidad entre poblaciones (10%). Esto indica que las poblaciones fueron muy similares genéticamente, probablemente por la práctica del agricultor de intercambiar y usar granos de procedencia variada. La diversidad genética mostrada en el dendograma presentó dos grupos de poblaciones de maíz, un grupo de siete poblaciones con los números de accesión UNA1073, UNA1090, UNA1087, UNA1084, UNA1088, UNA1089 y Maíz Palomero, que se separaron de una línea común. El segundo grupo se divide en dos subgrupos por cercanía genética, en el primer subgrupo están las accesiones UNA1075, UNA1076, H1, H2, H3 y UNA1083, donde la población H3 es la más separada del grupo. El segundo subgrupo lo forman las accesiones: UNA1079, UNA1082, UNA1081, Maíz Dulce, UNA1074 y UNA1080 cercanas entre sí. Se creó un Índice de Prácticas Agroecológicas con 10 variables que se calificaron de 0 a 10, con un promedio de 5.9. La variable prácticas agroecológicas dio valores entre 4 a 8.5. La agrobiodiversidad medida con el Índice de Shannon fue de 2.2 y con un promedio de 36,4 productos aprovechables. La correlación entre la presencia de prácticas agroecológicas y la agrobiodiversidad (incluidas las variedades de maíz) fue 0.86. Por el contrario, no hubo correlación entre las prácticas agroecológicas con la diversidad genética de las variedades de maíz sembradas en cada HF evaluado con test de Mantel que dio un $r=0.03$ y una significación de 0.5. Se creó un Índice de Vulnerabilidad de los HF de la ZNN con 14 variables, dando un valor promedio de 4.5 de los HF. La exposición es alta (6.7) por la posición geográfica que ocupan los cantones, la sensibilidad es media (4.7) y la capacidad de adaptación fue de 5.8. En conclusión las poblaciones de maíz estudiadas presentan diversidad alélica, pero muy similares genéticamente. Las prácticas agroecológicas en los HF no tienen incidencia o correlación en la diversidad genética de las poblaciones de maíz, pero se reconoce su potencial para la conservación *in situ* del material genético total.

Abstract

Genetically characterized 14 populations of Creole corn from family gardens (HF) of Upala, Los Chiles and Guatuso, North North Zone (ZNN) of Costa Rica, conserved *ex situ* in the National University (UNA), and five commercial varieties: three hybrids of CIMMYT: H1 (CLTHW001), H2 (CLTHW007) and H3 (CLTHW002). The material was analyzed by means of six pairs of primers to amplify microsatellites (SSR) with high polymorphic contents of *Zea*. We detected 55 alleles and an average of 4.6 per locus, different alleles 3.5 and effective alleles 2.9, showing allelic richness. The expected heterozygosity ($H_e = 0.6$), the observed heterozygosity ($H_o = 2.4$) and the Shannon Index (genetic diversity) of 1.1, were low. The AMOVA analysis showed that most of the observed diversity was due to variability among individuals (59%), followed by variability within individuals (27%) and variability among populations (10%). This indicates that the populations were very similar genetically, probably because of the farmer's practice of exchanging and using grains of varied provenance. The genetic diversity shown in the dendrogram presented two groups of maize populations, a group of seven populations with the accession numbers UNA1073, UNA1090, UNA1087, UNA1084, UNA1088, UNA1089 and Palomero Maize, which were separated from a common line. In the second group, it is divided into two subgroups due to genetic closeness, in the first subgroup are the accessions UNA1075, UNA1076, H1, H2, H3 and UNA1083, where the population H3 is the most separated from the group. The second subgroup consists of the accessions: UNA1079, UNA1082, UNA1081, Sweet Corn, UNA1074 and UNA1080 close to each other. An Agroecological Practices Index was created with 10 variables that were rated from 0 to 10, with an average of 5.9. The variable agro-ecological practices gave values between 4 to 8.5. The agrobiodiversity measured with the Shannon Index was 2.2 and with an average of 36.4 usable products. The correlation between the presence of agroecological practices and agrobiodiversity (including maize varieties) was 0.86. On the other hand, there was no correlation between the agroecological practices and the genetic diversity of the corn varieties planted in each HF evaluated with the Mantel test, which gave $r = 0.03$ and a significance of 0.5. A Vulnerability Index of the HF of the ZNN was created with 14 variables, giving an average value of 4.5 of the HF. The exposure is high (6.7) due to the geographical position occupied by the cantons, the sensitivity is medium (4.7) and the adaptation capacity was 5.8. In conclusion, the maize populations studied present allelic diversity, but very similar genetically. Agroecological practices in FH have no incidence or correlation in the genetic diversity of maize populations, but their potential for *in situ* conservation of the total genetic material is recognized.

Hoja de aprobación del trabajo final de graduación

El presente trabajo final de graduación fue aceptado por el Comité de Gestión Académica (CGA) de la Maestría en Agricultura Alternativa con mención en Agricultura Ecológica (MAE) de la Universidad Nacional de Costa Rica, como requisito formal para optar por el grado de Magíster en Agricultura Alternativa con mención en Agricultura Ecológica.



Doctor Ramón Molina Bravo, Tutor



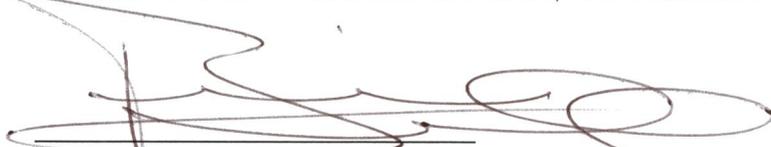
Doctor Eduardo Salas Alvarado, Lector



MSc. Patricia Quesada Rojas, Lectora



MSc. Maria Isabel Camacho Cascante, Coordinadora de la MAE



Doctor Rafael Arias Ramírez, miembro del SEPUNA



Guido Barrientos Matamoros

Dedicatoria

A mi familia: esposa, hijo-nieto, madre, padre, hermanas (os), que siempre me han apoyado y motivado para superarme.

A la inspiración encontrada en la Permacultura como guía para lograr un desarrollo sostenible, una forma de vida y de producción en armonía con la naturaleza. Es un complemento indispensable de la Agroecología.

A Gabriela Soto, por sus enseñanzas en Agroecología y mostrarme que debemos concentrarnos en las cosas fundamentales y no quedarnos en las minucias.

A Ramón Molina, como profesor que me guió en el vasto mundo de la genética, también a Eduardo Salas y Patricia Quesada que con sus opiniones y sugerencias enriquecieron este trabajo y me ayudaron a conectar la genética con la agroecología.

A Irene Hilje, por su valioso apoyo en el laboratorio y sugerencias para mejorar los procedimientos y el funcionamiento de los equipos utilizados en este trabajo.

A mis compañeros y compañeras de Maestría en Agroecología, con los que compartí ideas, debates y reflexiones que me ayudaron en mi formación.

Y a la Madre Natura, que me impresiona e inspira cada vez que veo la maravilla de cómo funciona la naturaleza y que los seres humanos somos solo un nudo de la gran red de la vida.

Contenido

Resumen.....	4
Abstract	5
Dedicatoria	7
Lista de Cuadros	12
Lista de Figuras	14
Lista de Anexos.....	16
Lista de abreviaturas	17
Descriptores	19
Capítulo I	20
1. Introducción	20
1.1 Antecedentes	20
1.2 Justificación	23
2 Objeto del estudio.....	26
2.1 Objetivo general:.....	26
2.2 Objetivos específicos:.....	27
2.3 Hipótesis:.....	27
Capítulo II	28
3. Marco teórico	28
3.1 Agrobiodiversidad -base de la alimentación humana.....	28
3.1.1 Concepto de agrobiodiversidad	28
3.1.2 Reducción de la agrobiodiversidad	29
3.2 Variabilidad climática extrema: nuevo reto para la agricultura.....	30
3.2.1 Variabilidad climática en la producción agrícola de Centroamérica.....	30
3.2.2 Impacto de la variabilidad climática en agro costarricense hoy	32
3.3 Huertos familiares y agrobiodiversidad	33
3.3.1 Huerto Familiar: definición y características.....	33
3.3.2 Huertos familiares conviven con la biodiversidad	35
3.4 Maíz: diversidad y conservación <i>in situ</i>	36
3.4.1 Características importantes del maíz	36
3.4.2 Conservación del maíz en Costa Rica	37
3.4.3 Maíz y alimentación de la población	39

3.4.4 Maíz en la Zona Norte y variabilidad climática	40
3.5 Diversidad genética del maíz.....	42
3.5.1 Domesticación y variedades morfológicas de maíz	42
3.5.2 Caracterización genética del maíz.....	44
3.5.3 Perfil genético del maíz con la técnica de microsatélites	45
3.5.4 Diversidad genética del maíz.....	46
3.5.5 Indicadores genéticos.....	49
3.6 Prácticas agroecológicas y vulnerabilidad de los HF	50
3.6.1 Medición de la agrobiodiversidad	51
3.6.2 Medición de prácticas agroecológicas	51
3.6.3 Medición de Vulnerabilidad de permanencia del huerto familiar	54
3.7 Información socio-agro-ambiental de la Zona Norte Norte.....	57
3.7.1 Historia y contexto actual ZNN.....	57
3.7.2 Características socio-demográficas de la ZNN	58
3.7.3 Características agro-ambientales de la ZNN	61
Capítulo III	63
4. Materiales y métodos	63
4.1 Ubicación de la zona de estudio y poblaciones de maíz criollo	63
4.2 Perfil genético del maíz con microsatélites.....	66
4.2.1 Extracción del ADN.....	66
4.2.2 Microsatélites para caracterización genética del maíz	67
4.3 Análisis de indicadores genéticos de las accesiones de maíz	69
4.4 El huerto familiar de la ZNN y sus prácticas agroecológicas	69
4.4.1 Caracterización huertos familiares.....	70
4.4.2 Prácticas agroecológicas	70
4.5 Evaluación de la vulnerabilidad de <i>los HF</i>	73
Capítulo IV	76
5 Resultados	76
5.1 Sistema productivo y agrobiodiversidad de los HF de la ZNN.....	76
5.1.1 Caracterización del agrosistema del huerto familiar de la ZNN.....	76
5.1.2 Huerto Familiar como sistema productivo.....	79
5.1.3 Riqueza de especies y diversidad en huertos familiares de la ZNN	81
5.2 Caracterización genética de las accesiones de maíz	82

5.2.1 Validación extracción ADN	83
5.2.2 Selección y utilización de marcadores SSR.....	83
5.2.3 Análisis genético intrapoblacional	85
5.2.4 Análisis genético interpoblacional	88
5.3 Prácticas agroecológicas en los huertos familiares de la Zona Norte.....	93
5.3.1 Valoración general de las dimensiones de las prácticas agroecológicas	93
5.3.2 Calificaciones de variables que miden las prácticas agroecológicas.....	97
5.3.3 Relación variedades de maíz y prácticas agroecológicas en HF.....	99
5.4 Vulnerabilidad de los HF y conservación <i>in situ del</i> maíz.....	101
5.4.1 Variabilidad climática y vulnerabilidad social en la ZNN.....	101
5.4.2 Índice de vulnerabilidad de HF.....	102
5.4.3 Apoyo para la sostenibilidad de los HF	105
6. Discusión	107
6.1 Características de las familias dueñas de los huertos familiares	107
6.2 Sistema productivo y agrobiodiversidad de los HF de la ZNN.....	108
6.3 Caracterización genética de las poblaciones de maíz	111
6.3.1 Riqueza alélica.....	111
6.3.2 Diversidad genética	113
6.4 Prácticas agroecológicas en HF de la ZNN.....	117
6.5 Vulnerabilidad de los HF.....	120
7 Conclusiones y recomendaciones	125
7.1 Conclusiones.....	125
7.1.1 Situación y caracterización huerto familiar en ZNN.....	125
7.1.2 Poblaciones de maíz y caracterización genética	126
7.1.3 Biodiversidad y prácticas agroecológicas en HF.....	128
7.1.4 Vulnerabilidad HF y conservación <i>in situ</i>	129
7.2 Recomendaciones	130
Bibliografía citada.....	132
ANEXOS	140
ANEXO 1. Cuestionario para propietarios de los huertos familiares de la Zona Norte Norte ...	140
Anexo 2. Información suministrada por los dueños de los huertos familiares de la ZNN.	145
Anexo 3. Cálculo del Índice de Prácticas Agroecológicas en los huertos familiares de ZNN	149
Anexo 4. Cálculo del Índice de Vulnerabilidad de los huertos familiares de la ZNN.....	153

Anexo 5. Emparejamiento de poblaciones de maíz, 14 criollas de los huertos familiares de la ZNN y 5 comerciales, en la matriz de distancia genética de Nei.....	156
Anexo 6. Visualizaciones alternativas del dendrograma filogenético de las variedades de maíz estudiadas	157

Lista de Cuadros

Cuadro 1. Características socio-demográficas de la Zona Norte Norte por cantón, 2011.....	60
Cuadro 2. Identificación y ubicación de los huertos familiares estudiados por el Proyecto UNA-UCR-ITCR en los cantones de Upala, Los Chiles y Guatuso, donde se colectaron las accesiones de maíz criollo usadas en este estudio.....	65
Cuadro 3. Reactivos empleados para la PCR en el estudio genético con microsatélites de accesiones de maíz de la Zona Norte Norte y comerciales	67
Cuadro 4. Perfil térmico de amplificación PCR para los marcadores SSR empleados en el estudio accesiones criollas y comerciales de maíz	68
Cuadro 5. Indicadores agroecológicos evaluados en los agroecosistemas de los huertos familiares de la Zona Norte Norte para construir el Índice de prácticas agroecológicas.....	71
Cuadro 6. Desglose de indicadores y variables para evaluar la vulnerabilidad de los huertos familiares de la Zona Norte Norte ante la variabilidad climática.....	74
Cuadro 7. Características de los huertos familiares estudiados en la Zona Norte Norte y sus dueños.....	77
Cuadro 8. Riqueza de agrobiodiversidad presente en los huertos familiares de la Zona Norte Norte (número de variedades presentes en cada huerto familiar)....	82
Cuadro 9. Marcadores tipo SSR utilizados para la caracterización genética de las accesiones de maíz de la Zona Norte Norte y comerciales.....	84
Cuadro 10. Índices cuantitativos de la diversidad genética intrapoblacional, promedio de los loci de las accesiones con 6 marcadores SSR.....	86
Cuadro 11. Características de los granos de las variedades de maíz sembradas en los huertos familiares de la Zona Norte Norte y comerciales.....	90
Cuadro 12. Calificaciones de las dimensiones y variables del Índice Prácticas Agroecológicas en huertos familiares de la Zona Norte Norte.....	96
Cuadro 13. Maíz, agrobiodiversidad y puntuación en prácticas agroecológicas de los huertos familiares de la Zona Norte Norte	99

Cuadro 14. Comparación de datos de temperatura y precipitación de los cantones Upala, Los Chiles y Guatuso, entre los períodos 1979-1998 y 2030-2049.....102

Cuadro 15. Componentes, variables y calificaciones del índice de vulnerabilidad de los huertos familiares de la Zona Norte Norte estudiados.....103

Lista de Figuras

- Figura 1. Mapa de la Zona Norte Norte de Costa Rica y ubicación de 12 huertos familiares estudiados por el Proyecto UNA-UCR-ITCR.....63
- Figura 2. Semillas de variedades de maíz recolectadas en los huertos familiares de la Zona Norte Norte por el Proyecto UNA-UCR-ITCR66
- Figura 3. Elementos más comunes y su distribución en un huerto familiar “típico” de la Zona Norte Norte.....68
- Figura 4. Esquema del sistema productivo huerto familiar “típico” de la Zona Norte Norte, subsistemas e interrelaciones.....80
- Figura 5. Visualización por medio de electroforesis en geles de agarosa al 1% del ADN extraído a partir del mesocotilo de algunas accesiones de maíz criollo y comercial.....83
- Figura 6. Visualización de bandas (alelos) de algunas accesiones de maíz UNA-1073, UNA-1074, UNA-1075, UNA-1076 y UNA-1079 con el marcador ungl 1740.....85
- Figura 7. Dendrograma filogenético de las accesiones de maíz estudiadas en los huertos familiares de la Zona Norte Norte y las variedades comerciales (MP, H1, H2, H3 y MD).....89
- Figura 8. Análisis de las dos coordenadas principales de variabilidad genética en las 19 accesiones estudiadas, colectadas en huertos familiares de la ZNN y el comercio, basado en 6 marcadores SSR.....91
- Figura 9. Porcentajes de variabilidad molecular encontrada en las 19 accesiones de *Zea mays* estudiadas de huertos familiares de la Zona Norte Norte y comercio, basada en 6 marcadores SSR polimórficos.....92
- Figura 10. Relación entre la distancia genética y la distancia geográfica de las 14 accesiones de *Zea mays* estudiadas en huertos familiares de la Zona Norte Norte con 6 marcadores SSR.....92
- Figura 11. Calificaciones promedio de las variables del Índice de Prácticas Agroecológicas en 14 huertos familiares de la Zona Norte Norte.....97
- Figura 12. Análisis de componentes principales sobre la diversidad de las prácticas agroecológicas medidas en 14 huertos familiares de la Zona Norte Norte..... 98

Figura 13. Relación entre la calificación de las prácticas agroecológicas (sin productos aprovechables) y la agrobiodiversidad medida con el Índice de Shannon en los huertos familiares estudiados en la Zona Norte Norte.....100

Lista de Anexos

Anexo 1. Cuestionario para aplicar a los propietarios de los huertos familiares de la Zona Norte Norte.....	140
Anexo 2. Información suministrada por los dueños de los huertos familiares de la Zona Norte Norte.....	145
Anexo 3. Cálculo del Índice de Prácticas Agroecológicas en los huertos familiares de Zona Norte Norte.....	149
Anexo 4. Cálculo del Índice de vulnerabilidad de los huertos familiares de la Zona Norte Norte.....	153
Anexo 5. Emparejamiento de poblaciones de maíz, 14 criollas y 5 comerciales, en la matriz de distancia genética de Neri.....	156
Anexo 6. Visualizaciones alternativas del dendrograma filogenético de las variedades de maíz estudiadas.....	157

Lista de abreviaturas

ACP	Análisis por componentes principales
ADN	Acido desoxirribonucleico
AFLP	Polimorfismo en la longitud de los fragmentos amplificados (siglas en inglés)
AMOVA	Análisis varianza molecular (siglas en inglés)
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
CNP	Consejo Nacional de Producción, Costa Rica
CO ₂	Dióxido de carbono
ENOS	El Niño-Oscilación del Sur
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (siglas en inglés)
FORECCSA	Fortalecimiento de la Resiliencia de las Comunidades ante los efectos adversos del Cambio Climático con énfasis en Seguridad Alimentaria en la cuenca del Río Jubones y Provincia de Pichincha
GenAEx	Análisis Genéticos en Excel, software (siglas en inglés)
HF	Huerto familiar
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
INDER	Instituto de Desarrollo Rural, Costa Rica
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Costa Rica
INTA	Instituto Nacional de Transferencia Tecnológica Agropecuaria, Costa Rica
IMN	Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (siglas en inglés)
ITCR o TEC	Instituto Tecnológico de Costa Rica
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica
MIDEPLAN	Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, Costa Rica

MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía, Costa Rica
PEN	Programa Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible
PCR	Reacción en cadena de la polimerasa (siglas en inglés)
PIB	Producto interno bruto
PIC	Contenido de información polimórfica (siglas en inglés)
RFAA	Recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura
RFLP	Polimorfismo de la longitud de los fragmentos de restricción (siglas en inglés)
PNUD	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo
RAMPO	Amplificación aleatoria del polimorfismo de microsatélites (siglas en inglés)
RAPD	Amplificación aleatoria del ADN polimórfico (siglas en inglés)
RHN	Región Huetar Norte, Costa Rica
SEPSA	Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria, Costa Rica
SINAC	Sistema Nacional de Áreas de Conservación, Costa Rica
SSR	Secuencias simples repetidas o Microsatélites
UCR	Universidad de Costa Rica
UNA	Universidad Nacional, Costa Rica
ZNN	Zona Norte Norte, Costa Rica

Descriptores

Caracterización genética, prácticas agroecológicas, vulnerabilidad, maíz criollo, recursos fitogenéticos.

Capítulo I

1. Introducción

1.1 Antecedentes

Desde el Primer informe de la FAO (FAO 1996) sobre los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura (RFAA), se señala que en la actualidad se ven amenazados muchos recursos fitogenéticos posiblemente vitales para el desarrollo agrícola y la seguridad alimentaria y que, en particular, preocupa bastante la pérdida irreversible de genes. En años recientes se ha incrementado esta preocupación y sensibilización sobre la importancia de la diversidad genética, ya que ésta es clave para satisfacer la demanda de una mayor diversidad alimentaria, y para afrontar los nuevos desafíos de la producción agropecuaria. Ahora más que nunca, la agricultura debe hacer frente al cambio climático global y satisfacer la demanda de una población cada vez más grande (FAO & Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura, 2010).

En Costa Rica, como en el resto del mundo, los RFAA tienen una función cada vez más importante en la seguridad alimentaria, al contribuir con la intensificación de la producción agrícola sostenible y las oportunidades económicas para los habitantes de las zonas rurales (FAO & Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura, 2010; MAG, ONS, CONAREFI, & FAO, 2008; Pulido *et al.*, 2008). Conservar la biodiversidad pasa de cuidar los recursos fitogenéticos, que expresan la diversidad presente en los cultivos y sus parientes silvestres, a ser un medio para garantizar la diversidad de especies y material genético que permite la adaptabilidad de las plantas ante las nuevas condiciones ambientales y conservar la reserva genética necesaria para mantener y mejorar los cultivos (FAO, 1996; FAO & Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura, 2010). En particular, el agro costarricense requiere ponerle atención a sus recursos fitogenéticos, pues la diversidad genética en ecosistemas agrícolas

se ha degradado por el desarrollo urbano, la deforestación y la expansión de cultivos con prácticas más intensivas como ocurre en los cultivos de piña, arroz, caña de azúcar y palma africana (MINAE & SINAC, 2014; Programa Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible -Costa Rica., 2014). Esto incide en la pérdida de variedades tradicionales en manos de los agricultores. Incluso, en 1995, Costa Rica informó, específicamente, sobre la reducción de variedades autóctonas de maíz (*Zea mays*) y de frijol (*Phaseolus vulgaris*) (FAO 1996). La reducción en la diversidad genética de los RFAA que experimentó Costa Rica requiere hacer mayores esfuerzos para construir un inventario de recursos existentes en el territorio nacional y dirigirlos hacia la conservación de especies o cultivares autóctonos que deben buscarse en agrosistemas campesinos diversos.

La producción campesina experimenta la sustitución de cultivos tradicionales por los comerciales (FAO & Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura, 2010). Este cambio en el material genético pone en riesgo la valiosa agrobiodiversidad característica de la forma de producción tradicional campesina y la cultura ligada a ella (Altieri, M. & Nicholls, C., 2010). Esta situación incluye la diversidad de maíz que puedan estar cultivando los campesinos y la posibilidad de conservar esas variedades *in situ*, lo cual es importante para favorecer su capacidad de adaptación a las variaciones ambientales (Martínez & Ureta, 2009; Muñozcano, 2011).

La mayoría de los trabajos de los fitomejoradores modernos se centran en el desarrollo de variedades de cultivos que cumplen con los estándares de la Revolución Verde (altos insumos); sin embargo, no debemos olvidar que una parte sustancial de alimentos en el mundo se produce con pocos o sin insumos químicos y se comercializa a nivel local (FAO & Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura, 2010). Los sistemas agroproductivos, como la milpa en la agricultura tradicional, el huerto familiar, sistemas silvopastoriles y agroforestales, presentan una alta variedad de cultivos y, en muchos casos, incluyen variedades criollas (Altieri, M. & Nicholls, C., 2010). Estos elementos son

parte de una estrategia basada en conocimiento tradicional, para contribuir con la seguridad alimentaria y reducir los riesgos ocasionados por los cambios en el clima, las plagas o las enfermedades; no obstante, esta estrategia está siendo amenazada por el empuje de la agricultura comercial, por lo que gran parte de la biodiversidad que encierran esos sistemas tradicionales puede desaparecer (Altieri, M. & Nicholls, C., 2012).

Por lo tanto, mantener la diversidad genética dentro de los sistemas de producción local tiene relación directa con rescatar el conocimiento local y para ello, debemos conservar la diversidad de los sistemas agroproductivos de los campesinos (FAO & Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura, 2010). La necesidad de conservar la diversidad genética justifica la importancia de realizar trabajos como los impulsados por las universidades, que buscan identificar las variedades criollas y el conocimiento campesino, para asegurar la alimentación de las familias campesinas y conservar el reservorio de información genética.

Para que se protejan los recursos fitogenéticos con que cuenta la agricultura y así la alimentación, los centros de investigación deben identificar los agroecosistemas que se caracterizan por su importante biodiversidad, sostenibilidad y productividad. Los huertos familiares son un tipo de agroecosistema al cual se le reconoce una amplia diversidad de recursos fitogenéticos conservados a través del tiempo (Mariaca, 2012; Montañez-Escalante, Ruenes-Morales, Monserrat, & Héctor, 2014). Este tipo de agroecosistema cuida los recursos naturales, preserva la cultura y conserva cultivares seleccionados por el dueño del huerto familiar, los cuales son adaptados a los cambios climáticos de la región (Jiménez-Escobar, 2011; Mariaca, 2012; Pulido *et al.*, 2008). Altieri & Nicholls (2012) consideran que esta forma de preservación de la biodiversidad es clave para que las familias campesinas garanticen su seguridad alimentaria y hagan frente al cambio climático.

Según Arias, L., Latournerie, L., Montiel, S. y Sauri, E. (2007), los campesinos han desarrollado una dinámica importante en las áreas productivas desde hace un sinnúmero de años en el manejo de plantas con diferentes usos: alimenticios, medicinales, ornamentales, etc. Conocer esas dinámicas proporciona información valiosa y necesaria para sistematizar sobre la conservación *in situ* de los diversos cultivares. A pesar de esto, existe poca información científica sobre el proceso que implica la conservación de las variedades criollas en el tiempo, en huertos familiares, y su relación con la variabilidad genética.

1.2 Justificación

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés, 2014) señala que la adaptación al cambio climático requiere mantener una importante agrobiodiversidad a nivel de genes, especies y agroecosistemas. Por lo tanto, fomentar la agrobiodiversidad a través de prácticas agroecológicas continúa siendo un factor clave para la resiliencia y adaptación local de los agroecosistemas. Por ejemplo, las razas locales con su alta variedad o contar con sistemas agrosilvopastoriles pueden brindar estabilidad a los agroecosistemas que puedan alcanzar niveles de productividad aceptables en condiciones climáticas adversas (MA Altieri, 1998; FAO, 2015; Ordaz, Ramírez, Mora, Acosta, & Serna, 2010; Ortiz, 2012).

Según MAG, ONS, CONAREFI & FAO (2008), en Costa Rica, la mayoría de las variedades de maíz de las tierras altas del centro del país y de la vertiente atlántica son cercanos a los maíces suramericanos, mientras que la influencia mesoamericana se encuentra en variedades de granos rojos y morados en la Región Chorotega. Otro hecho es que los cultivares antiguos de maíz están desapareciendo rápidamente (MAG *et al.* 2008). Una clasificación adecuada de las poblaciones de maíz apenas se está iniciando, con esfuerzos como los que desarrollan las universidades públicas en proyectos como el estudio y

conservación de la diversidad genética del maíz criollo en las regiones Chorotega y Brunca, realizado por la UNA, UCR y TEC entre los años 2014-15 (UNA, UCR, & TEC, 2015). Es por ello que se justifica la necesidad de estudiar las variedades tradicionales de maíz presentes en el territorio nacional, conocer su genética y asegurar su conservación como medida para apoyar la producción futura del grano.

Además, es necesario relacionar las variedades de maíz criollo conservadas en los huertos familiares con las prácticas agroecológicas que los acompañan, para conocer la sostenibilidad de la producción. Ambos, cultivares y prácticas de los productores, forman una misma unidad y sufren influencia de las condiciones de vida y conocimientos de los dueños de los huertos, por lo que la caracterización de estos aspectos permitiría identificar los riesgos y las mejoras necesarias para la conservación *in situ* de las variedades de maíz y la cultura que lo hace posible.

La Universidad Nacional de Costa Rica (UNA), la Universidad de Costa Rica (UCR) y el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), conscientes de la necesidad de preservar los RFAA, desarrollaron iniciativas para identificar y conservar dichos recursos en los agroecosistemas tradicionales. En específico, el proyecto financiado por el Fondo Especial para la Educación Superior; “Huertos mixtos familiares como fuente de recursos fitogenéticos para contribuir a la seguridad alimentaria en la Zona Norte de Costa Rica”, trabajó con dueños de huertos familiares y pequeños productores de Guatuso, Upala y Los Chiles, por su potencialidad en la conservación de la agrobiodiversidad intra e interespecífica en sus sistemas productivos. Entre los cultivos característicos de los agroecosistemas presentes en los huertos familiares está el maíz, que tiene un lugar importante en la cultura campesina y destacado en los hábitos culinarios de la población (Ministerio de Agricultura y Ganadería Costa Rica, 2007).

La Zona Norte del país mantiene una importante cantidad de pequeños productores y huertos familiares como parte de la cultura campesina que se

preserva (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos-Costa Rica, 2015). Los cantones de Guatuso, Upala y Los Chiles, aunque están en una región de alta precipitación, sufren fuerte influencia del clima seco del Pacífico Norte cuando hay sequías en el país (Ortiz, 2012), por lo que las variedades criollas sembradas están sometidas a variaciones climáticas que evolutivamente se han tenido que adaptar (Dwiyanti & Yamada, 2013); razón por la cual esta zona es propicia para ubicar RFAA ligados a la vida campesina y en específico en los huertos familiares.

Este trabajo apoyó la identificación de recursos fitogenéticos en la Zona Norte, al caracterizar genéticamente las poblaciones de maíz colectadas en los huertos familiares y relacionarlas con las prácticas agroecológicas que se implementan en los sitios y se estudia la vulnerabilidad de continuar en el tiempo la conservación del maíz criollo y prácticas desarrolladas en los huertos familiares.

2 Objeto del estudio

La presente investigación tomó 14 poblaciones de maíz criollo de huertos familiares de los cantones de Upala, Los Chiles y Guatuso, Zona Norte Norte de Costa Rica, y cinco variedades comerciales de maíz, a las cuales se les hizo una caracterización genética y se analizaron sus indicadores principales.

Se describe el sistema productivo típico del huerto familiar en la zona y se da una puntuación a las prácticas agroecológicas que implementan. Se determinó la correlación de las prácticas agroecológicas que se realizaron en los huertos familiares durante los años 2016-17 con la diversidad genética de las poblaciones de maíz que se sembraron en ese período. Esto sometió a prueba la hipótesis del presente trabajo sobre relación entre la implementación de prácticas agrícolas y la diversidad genética del maíz presente en los huertos familiares.

Finalmente se evaluó la viabilidad de que continúen los huertos familiares como bancos para la conservación de esas variedades de maíz *in situ*, ante los cambios climáticos que se manifiestan en la zona y su posible intensificación en el futuro, para lo cual se creó un índice de vulnerabilidad de los huertos familiares.

2.1 Objetivo general:

Entender la correlación entre la diversidad genética de las poblaciones de maíz y los indicadores de prácticas agroecológicas en huertos familiares de la Zona Norte de Costa Rica y evaluar su potencial en la conservación del germoplasma del maíz criollo *in situ*.

2.2 Objetivos específicos:

1. Caracterizar genotípicamente las poblaciones de maíz criollo recolectadas en huertos familiares (HF) de tres cantones de la Zona Norte de Costa Rica, por medio de marcadores moleculares de ADN tipo microsatélites y comparar sus indicadores genéticos con variedades comerciales de maíz.
2. Relacionar las características de los agroecosistemas de los huertos familiares y sus prácticas agroecológicas con la diversidad genética del maíz que siembran los HF.
3. Evaluar las posibilidades de conservación de las variedades de maíz *in situ*, por medio de un análisis de vulnerabilidad de los huertos familiares de permanecer en el tiempo como bancos de germoplasma, ante los efectos de la variabilidad climática y situación socio-económica de las familias dueñas.

2.3 Hipótesis:

Las fincas con mejores indicadores de prácticas agroecológicas están correlacionadas con mayor variabilidad genética del cultivo de maíz (*Zea mays*) y presentan condiciones para la conservación *in situ* de los recursos fitogenéticos.

Capítulo II

3. Marco teórico

3.1 Agrobiodiversidad -base de la alimentación humana

En esta sección se desarrolla el concepto e importancia de la agrobiodiversidad para la seguridad alimentaria y los aspectos que están llevando a la reducción de estos importantes recursos para la humanidad.

3.1.1 Concepto de agrobiodiversidad

La agricultura y la riqueza biológica asociada siguen siendo fundamentales para la humanidad y la vida de las personas que habitan en el mundo rural. Las estadísticas de la FAO señalaron que a inicios del nuevo milenio, 2,570 millones de personas (42% de la humanidad) dependieron de la agricultura, la caza, la pesca o la silvicultura para su subsistencia (FAO, 2005). En Costa Rica, durante el 2014, la actividad agrícola aporta un 8.6% del producto interno bruto (PIB) y el 10.5% de la población ocupada (256,431 personas) labora en el sector económico que comprende la agricultura, ganadería y pesca (Programa Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible -Costa Rica., 2014).

La agrobiodiversidad incluye todos los componentes que están presentes y se relacionan en la producción agrícola; es, asimismo, una parte de la biodiversidad de la zona o región donde está ubicado el agroecosistema, y un componente clave de la forma de vida de los agricultores, especialmente a nivel de pequeñas comunidades campesinas (Ruíz-Muller, 2006; Santilli, 2016). Por lo tanto, la agrobiodiversidad se refiere a la diversidad biológica presente en los sistemas productivos agrícolas y la forma como es manejada por los agricultores y comunidades rurales.

3.1.2 Reducción de la agrobiodiversidad

Santilli (2016) señala que las prácticas que implementan los agricultores al manejar, cultivar y seleccionar los cultivos, desde hace miles de años, contribuyen fuertemente con la gran diversidad agrícola. Pero la búsqueda del aumento de la producción de alimentos, y el éxito de la Revolución Verde, que lo ha logrado en varios cultivos, inició un proceso de reemplazo de las variedades locales por variedades comerciales y uniformes (Hammer & Teklu, 2008). Por ello, el Primer Informe de la FAO sobre RFAA identifica la amenaza en la que están muchos recursos vegetales que pueden ser vitales para el desarrollo agrícola y la seguridad alimentaria en el futuro. La FAO pone como ejemplo un estudio en perspectiva histórica de la pérdida de variedades hecho por el Departamento Agricultura de Estados Unidos, donde se señala que han dejado de existir el 95% de las variedades de col, el 91% de las maíz, el 95% de las de guisantes y el 91% de las de tomates, motivado por los procesos de modernización y sustitución de variedades (FAO, 1996).

Ante este panorama, la FAO esta preocupa por la pérdida irreversible de genes (unidad funcional básica de la herencia y fuente primordial de la variación de las características y el comportamiento de las plantas) presentes en las variedades de cultivares desaparecidos. La FAO y la Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura (2010) establecen que la erosión genética “no implica necesariamente la extinción de una especie ni de una población, pero sí representa una pérdida de variabilidad y, por lo tanto, una pérdida de flexibilidad”. Entonces, una consecuencia de la pérdida de variedades de cultivos tradicionales, criollas y silvestres, es la erosión genética que impacta en una reducción de la plasticidad que muestran las plantas ante variables ambientales.

Las variedades locales adaptadas a las condiciones agronómicas de sitios específicos, producto de su flexibilidad ante variables ambientales ligadas al sitio determinado, son probablemente las plantas y recursos genéticos que se

encuentran en mayor riesgo de pérdida a futuro, dado el avance en la destrucción del hábitat o mediante sustitución por germoplasma moderno introducido (FAO, 1996; Hammer & Teklu, 2008; Santilli, 2016).

3.2 Variabilidad climática extrema: nuevo reto para la agricultura

La producción agropecuaria, para alimentar a la población, esta enfretando los problemas que trae el aumento de la variabilidad climática y sus impactos en Centroamérica y Costa Rica, que se desarrollan a continuación.

3.2.1 Variabilidad climática en la producción agrícola de Centroamérica

El IPCC tiene una alta certeza de que el cambio climático es debido principalmente al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y otros) originado por la actividad humana (Ortiz, 2012). Este cambio de clima afectará seriamente la agricultura a nivel mundial, pues se espera que se produzcan temperaturas extremas y fenómenos hidrometeorológicos de sequía o inundación (Ordaz *et al.*, 2010; Ortiz, 2012).

Se estima que la temperatura mundial, en promedio, aumentará entre 0,4 °C y 1,8 °C para el año 2020, y este incremento se acentuará aún más en las zonas tropicales (Ortiz, 2012). Centroamérica es señalada por los expertos en cambio climático como un “punto caliente” vulnerable al cambio climático y donde el promedio de temperatura anual se elevó alrededor de 1°C desde 1900, con incremento en días y noches cálidos (Programa Estado de la Nación, 2011). El IPCC (2007) calculó, con diferentes escenarios posibles, un calentamiento medio mundial proyectado para la superficie terrestre para el 2100, en el caso de Costa Rica estaría entre 2 y 4°C.

La fotosíntesis de las plantas es afectada por factores ambientales, como la temperatura y la concentración de CO₂, aumentos en la temperatura incrementa la pérdida de agua, cierre de estomas y reducción en la disponibilidad de CO₂, sin embargo el aumento a la vez de CO₂ y temperatura (situación actual con el cambio climático) estimula la fotosíntesis en plantas C3. Y en el caso del maíz, no es tan afectado por el aumento en la temperatura dado que su fisiología C4 le permite refijar el CO₂ producto de la fotorespiración celular (Mosquera–Sánchez & *et al*, 1999). También, Gutiérrez (2010), trabajando estas variables ambientales con trigo, observó que a temperaturas por encima de la ambiental se incrementa la difusión del CO₂ a través de los estomas, lo que incide en mayor fotosíntesis; sin embargo el crecimiento prolongado a concentraciones elevadas de CO₂ provocó la reducción de la capacidad fotosintética, además, el crecimiento a 2°C por encima del ambiente redujo el contenido foliar de carbohidratos.

Habrán cultivos importantes que no lograrán mantener su actividad fotosintética a medida que continúen aumentando las temperaturas y esto afecte su productividad. En cultivos como los granos, un crecimiento más rápido disminuye la cantidad de tiempo que tienen las semillas para madurar, lo que lleva a una reducción de la semilla y de esta manera caen los rendimientos (Vergara, Ríos, Trapido, & Malarín, 2014). En Centroamérica por el aumento en temperatura y reducción en la precipitación, los cultivos más afectados serán el maíz, frijol y arroz, los cultivos más importantes para la población (Bouroncle *et al.*, 2015; Programa Estado de la Nación, 2011). Se estima que para el año 2080 se podría perder el 30% de la producción de granos en América Central (Ortiz, 2012). Los rendimientos del maíz registrarán reducciones de entre 21 y 34% en Honduras, Guatemala y Panamá (Vergara *et al.*, 2014). Esto implica que la adaptación al cambio climático es prioritaria en los esfuerzos de la región por aumentar la resiliencia de sus sistemas agroproductivos y la seguridad alimentaria.

3.2.2 Impacto de la variabilidad climática en agro costarricense hoy

Aunque el cambio climático es un fenómeno que se irá consolidando a mediano y largo plazo, en lo inmediato Costa Rica experimenta el efecto de fenómenos hidrometeorológicos extremos con mayor frecuencia, como el fenómeno de El Niño (ENOS) y La Niña. En el segundo semestre del 2014 se experimentó un mayor déficit de lluvia en la costa del océano Pacífico, con lluvias irregulares e importantes períodos secos en las zonas bajas y llanas, mientras que en la vertiente del Caribe, hay una tendencia importante al aumento de las lluvias -que obliga poner atención a problemas de desbordamiento de ríos y pérdidas agropecuarias por inundaciones. En la zona Norte el resultado es más incierto, pero pueden presentarse sequías importantes, que afecten los cultivos y la disponibilidad de agua y alimento para los animales (Quirós, 2014).

Se prevé para el 2030 que el aumento de la temperatura media y la disminución de la precipitación tendrán efectos serios en la actividad agropecuaria, al provocar cambios en las áreas aptas para los cultivos, pudiendo ganar o perder área, según las necesidades abióticas del cultivo (Bouroncle *et al.*, 2015). Pero el aumento de la temperatura nocturna registrado en el país ya tiene efectos, como cambios fisiológicos en las plantas al adelantar floración, fructificación y madurez, e incluso acortamiento en el período de crecimiento (CCAFS, MAG, CAC, & CIAT, 2014).

En cuanto a acciones para la reducción del impacto de los fenómenos hidrometeorológicos y avanzar en el concepto de adaptación al cambio climático, se han desarrollado acciones como las siguientes: selección de variedades de cultivos resistentes a déficit y exceso de agua, capacitaciones, promoción de sistemas sostenibles de producción, construcción de infraestructura para el riego, drenaje y prevención de inundaciones, además del fortalecimiento de instituciones que lideran las acciones de adaptación en el sector, establecimiento de alianzas interinstitucionales para investigación en cambio climático, gestión del riesgo con

énfasis en la adaptación, instalación de estaciones meteorológicas por parte del sector privado, entre otros (Ordaz *et al.*, 2010; Ortiz, 2012; Soto Zuñiga, 2013).

3.3 Huertos familiares y agrobiodiversidad

Los huertos familiares como sistemas agrobiodiversos y protectores de variedades criollas y la cultura campesina asociada, son claves en la búsqueda de la sostenibilidad y la resiliencia de los sistemas productivos, por lo que su estudio se vuelve relevante.

3.3.1 Huerto Familiar: definición y características

Ante la variabilidad climática es necesario identificar agroecosistemas que tengan capacidad de adaptación y permitan proveer sustento a las familias campesinas. En especial en las comunidades rurales y campesinas, el huerto familiar juega un papel activo en el mantenimiento de los recursos ecológicos de la zona, y está ligado directamente a los elementos ambientales con que se suplen muchas de las necesidades básicas y culturales (Jiménez-Escobar, 2011; Mariaca, 2012). Por lo tanto, estos espacios contienen reservorios de material fitogenético en constante cambio por la interacción y necesidades que busca atender la familia dueña del huerto, y requieren un estudio profundo.

En concreto, los huertos familiares son sistemas de producción tradicional, practicados por etnias en todo el mundo y son comunes en la región tropical. Estos agroecosistemas forman parte del manejo integrado de los recursos naturales que han realizado los diferentes grupos étnicos durante milenios y tienen un papel clave en la subsistencia (Alvarez, Olguín, Asiain, Alcántar, & Castillo, 2001). Como está localizado en áreas cercanas a la casa, la presencia constante de los integrantes de la familia permite que este agroecosistema sea intensivamente manejado para obtener la satisfacción de diferentes necesidades como: alimentos, esparcimiento, y excedentes que pueden ser vendidos a pequeña escala, intercambiados o regalados (Montañez-Escalante *et al.*, 2014).

Estas unidades productivas, en América Latina, tienen un área que varía mucho, pero en promedio miden entre 0.1 y 0.25 hectáreas, así como la riqueza que contienen es variable, desde 27 a 405 especies (Pulido *et al.*, 2008). La producción que realizan los huertos familiares cambia en el tiempo, pero siempre busca combinar funciones ecológicas naturales con el bienestar socioeconómico de las familias que le dan mantenimiento (Mariaca, 2012).

Montañez-Escalante *et al.* (2014) sistematizan las principales características de los huertos familiares como: alta biodiversidad, productividad en el espacio, productividad temporal, economía familiar, conservación del ambiente, seguridad alimentaria: y preservación de la cultura. Los autores encontraron que la resiliencia se ve mejorada con la implementación de prácticas agroecológicas, como manejo de suelo y agua, conservación de suelos, diversificación de cultivos y fomento de la biodiversidad. Este conjunto de atributos del huerto familiar muestran su importancia en el aporte al desarrollo sostenible desde lo local (Pulido *et al.*, 2008). Se destaca que este agroecosistema es, en muchas regiones, un aporte clave a la despensa básica que tiene acceso la familia a lo largo del año, pero a la vez, es el recurso más cercano de las familias para sobrevivir ante el riesgo ambiental y los cambios del mercado, por la variedad de productos que el huerto familiar aporta todo el año (Mariaca, 2012).

En el Censo Agropecuario 2014 de Costa Rica, se menciona que los huertos familiares se incluyeron como fincas agropecuarias, por lo que se reconoce su existencia en el país, pero no hay estadísticas diferenciadas de este espacio de producción agropecuario. En el Censo se definen los huertos familiares como “el terreno ubicado junto a la vivienda de un hogar que produce al menos un cultivo de forma organizada, usualmente en hileras, con el propósito de solventar la totalidad o parte de sus necesidades alimenticias, en ella se dedica trabajo por parte de las personas del hogar y, en ocasiones, se asocia a prácticas culturales” (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos-Costa Rica, 2015).

3.3.2 Huertos familiares conviven con la biodiversidad

Gracias a la selección ejercida por los seres humanos, las plantas cultivadas producen en diversas zonas climáticas (Dwiyanti & Yamada, 2013). El manejo intensivo que se le da al huerto familiar, a través del tiempo, ha ayudado a la selección de importantes características productivas de las especies vegetales y animales que ahí se mantienen. Esta riqueza genética, en el caso de América precolombina, ya era alta y fue incrementada al llegar los españoles (Pulido, 1993), quienes trajeron nuevas especies desde el viejo mundo y las introdujeron, adaptaron y difundieron.

Una característica central de los huertos familiares es su adaptabilidad, que les permite ir modificándose de acuerdo con los intereses o preferencias de la familia, por lo tanto, no podemos encontrar dos huertos familiares iguales (Montañez-Escalante *et al.*, 2014). En general, son un agroecosistema complejo, de tipo agropecuario, forestal y ornamental con mayor o menor organización espacial, y lo que determina su forma y estructura es la familia que lo habita (Mariaca, 2012), quienes lo trabajan y adaptan a sus necesidades. Al ver por primera vez un huerto familiar, da la sensación de desorden y falta de gestión, pero es superada al entenderse las funciones que cumplen los diferentes elementos presentes en el huerto (Price, 1982).

El método que utilizan las familias para adquirir la información que necesitan sobre el medio ambiente y cómo determinan lo que pueden o no hacer en su huerto, es por medio de prueba y error, y los resultados exitosos son preservados y transmitidos de generación en generación por medios orales o la actividad práctica (Altieri, 1991). Por lo tanto, lo que vemos en un huerto familiar es el resultado de información empírica acumulada y transmitida a través del tiempo y reprocesada por la familia en sus condiciones y aspiraciones actuales.

3.4 Maíz: diversidad y conservación *in situ*

En esta sección se verá la importancia del maíz, por su diversidad, aporte a la alimentación de personas y animales, vínculo con la cultura campesina y los retos que enfrenta su conservación *in situ* y *ex situ* como recurso fitogenético importante para la humanidad, y las dificultades futuras de este cultivar ante el cambio climático.

3.4.1 Características importantes del maíz

Clasificación taxonómica del maíz:

Reino: Plantae
Filo: Magnoliophyta
Clase: Liliopsida
Order: Cyperales
Familia: Poaceae
Género: *Zea*
Especie: *Zea mays*

Y para el género *Zea*, dividido en secciones, especies y subespecies (Doebley 1990 citado por Lia 2004 y Kato *et al.* 2009), utilizando estructuras morfológicas neutras y la descripción del gluma de las espigas, se propone la clasificación siguiente:

Sección Luxuriantes

Zea diploperennis Iltis, Doblely & Guzmán
Zea perennis (Hitchc.) Reeves & Mangelsdorf
Zea luxurians (Durieu & Ascherson) Bird
Zea nicaraguensis Iltis & Benz

Sección *Zea*

Zea mays L.
subespecie mexicana (Schrader) Iltis

subespecie parviglumis Ittis & Doebley (teosintle)
subespecie huehuetenangensis (Ittis & Doebley) Doebley
subespecie mays Ittis & Doebley

El Ministerio de Agricultura y Ganadería Costa Rica (2007) señala que el maíz, *Zea mays* L., pertenece a la familia de las poáceas (gramíneas), tribu Maydeas. Es la única especie cultivada de este género, además es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen y en la actualidad tiene un importante valor económico. Existen parientes silvestres del género *Zea* de nombre común teosintle y las especies del género *Tripsacum* conocidas como arrocillo o maicillo. Las variedades de maíz tienen su centro de origen en Mesoamérica, por lo que en esta área se encuentra una gran cantidad de variedades tradicionales o criollas, que son plantas completamente domesticadas puesto que el ser humano y el maíz han vivido y evolucionado juntos desde hace 7000 años (Ministerio de Agricultura y Ganadería Costa Rica, 2007).

Otra característica del maíz es que tiene múltiples y variados usos, incluso es el único cereal que puede ser usado como alimento en distintas etapas del desarrollo de la planta. Las espigas jóvenes del maíz cosechado antes de la floración de la planta es usado como hortaliza, las mazorcas tiernas de maíz dulce se consume de muchas formas, las mazorcas verdes de maíz común también son consumidas asadas o hervidas, o hacen una pasta blanda con ellas para consumirlo en formas variadas. Y luego de cosechar las mazorcas tiernas o las mazorcas verdes, el resto de la planta verde se usa como un buen forraje (Ministerio de Agricultura y Ganadería Costa Rica, 2007).

3.4.2 Conservación del maíz en Costa Rica

El Convenio sobre Biodiversidad de las Naciones Unidas define conservación *in situ* como “la conservación de los ecosistemas y los hábitats naturales, y el mantenimiento y recuperación de poblaciones viables de especies en sus entornos

naturales y, en el caso de las especies domesticadas y cultivadas, en los entornos en que hayan desarrollado sus propiedades específicas”. Mientras que por conservación *ex situ* la define como “la conservación de componentes de la diversidad biológica fuera de sus hábitats naturales” (Naciones Unidas, 1992). Entonces la conservación *in situ* es el cultivo continuo y manejo de un conjunto diverso de poblaciones locales mantenidas por agricultores en sus agroecosistemas locales (Arias, Latournerie, Montiel, & Sauri, 2007; Muñozcano, 2011).

En el MAG *et al.* (2008) se dice que en Costa Rica, además de la consolidación del sistema nacional de áreas protegidas, los principales avances en la conservación *in situ* en los últimos años son iniciativas de manejo de RFAA en finca, el fitomejoramiento participativo y la producción de semillas de variedades locales; pero a pesar de estas iniciativas, la situación de la conservación *in situ* de RFAA es insatisfactoria. El país cuenta con pocos estudios sistemáticos y un incipiente inventario de recursos fitogenéticos para la agricultura y la alimentación *in situ*, e incluso es posible que muchos de estos recursos se hayan perdido (MAG *et al.*, 2008). Asimismo, el MAG señala que se carece de una política estatal que promueva la conservación de estos recursos, y que tampoco existe una entidad responsable para su protección, por lo que es urgente contar con una estrategia nacional de conservación y uso de RFAA y definir una entidad con capacidad de concretar las acciones que se definan (MAG *et al.*, 2008).

Como ejemplo de estos reservorios genéticos, un estudio en México señala que la diversidad genética encontrada en las 59 razas mexicanas de maíz reportadas es una fuente de genes nuevos y antiguos que asegurarán la evolución continua y darán seguridad en la producción de este alimento (Martínez & Ureta, 2009). Por lo tanto, conservar las razas nativas de maíz existentes implica mantener una enorme riqueza biológica de germoplasma con potencial de ser utilizado en el futuro para generar variedades resistentes a ciertas condiciones ambientales; así se reconoce que es una de las formas más exitosas de conservar las variedades

de plantas es en campo (conservación *in situ*), ya que además de garantizar su preservación también facilita su evolución (Gámez Vázquez, de la O Olán, Santacruz Varela, & López Sánchez, 2014; Martínez & Ureta, 2009; Rojas, Flores, & Pinto, 2014). De esta forma, conocer las condiciones en las que se conserva el germoplasma de maíz en los huertos y campos de pequeños productores, suministra información sobre el nivel de vulnerabilidad, incluso posibilidad de desaparecer de algunas variedades y los requisitos para lograr su conservación por parte del propietario del huerto familiar o el pequeño productor.

En Costa Rica, según los registros del CNP hay cerca de 4300 productores de maíz, principalmente a pequeña escala, quienes alternan con el cultivo del frijol para autoconsumo y mercados locales (IICA & Red SICTA, 2014). El área de cultivo de maíz blanco es poco más de 6000 ha, que es reducida en comparación con las necesidades para consumo nacional, pues el 67% es importado (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria, 2008). De los 274.811 quintales producidos en el ciclo 2012-2013, la mayor parte se produjo en la Región Brunca (51.2%), seguida por la Región Huetar Norte (33.9%), luego la Región Chorotega (9.3%), la Región Pacífico Central (2.9%) y la Región Huetar Atlántica (2.5%) (IICA & Red SICTA, 2014). Al respecto, este estudio se ubica en Upala, Los Chiles y Guatuso cantones de la Región Huetar Norte, lugares que conservan una cultura campesina que valora el maíz en su dieta (Valverde & Acuña, 2011), convierte a este territorio en interesante para explorar la diversidad genética de su maíz criollo.

3.4.3 Maíz y alimentación de la población

A nivel mundial, desde 1981 se han perdido 40 millones de toneladas anuales de cebada, maíz y trigo debido al calentamiento global, aunque estas pérdidas fueron compensadas con los mayores rendimientos logrados a partir de mejoras genéticas de cultivos y de otros avances agrotecnológicos (Ortiz, 2012). Se cree que para el año 2050, el precio de los principales alimentos básicos podría

aumentar entre 30 y 100 % debido a los menores rendimientos de los cultivos (Ortiz, 2012), lo que afectaría la seguridad alimentaria de la población.

En particular la región centroamericana tiene cerca de dos millones de pequeños productores de granos básicos, con una alta concentración en agricultura de autoabastecimiento y cultivos vulnerables al cambio climático (Programa Estado de la Nación, 2011). Esta situación los vuelve altamente vulnerables ante los efectos del aumento de temperatura y disminución de lluvias que trae el cambio climático. Pero a la vez los pequeños productores juegan un papel fundamental en la seguridad alimentaria de los países (Vergara *et al.*, 2014).

Según Ordaz *et al* (2010) en Costa Rica, el maíz, el frijol y el café son tres productos importantes en la alimentación de la población. Estos cultivos son productos presentes en los huertos familiares, en las parcelas de los pequeños productores y en la economía del país. Además, forman parte de la estrategia seguida por el gobierno para asegurar la disponibilidad de alimentos. Se reporta que para estos tres productos agropecuarios, tanto la alta temperatura como la baja precipitación parece llevar la producción a niveles relativamente bajos y desincentivar fuertemente su actividad (Ordaz *et al.*, 2010).

3.4.4 Maíz en la Zona Norte y variabilidad climática

Los efectos de la variabilidad climática en Costa Rica han provocado aumento de la temperatura, y sequías prolongadas en el Trópico Seco de Guanacaste y la Zona Norte (CCAFS *et al.*, 2014). En particular el caso de eventos extremos secos en Costa Rica se presenta con mayor riesgo en las zonas: Pacífico Norte y Zona Norte Norte hacia el lago de Nicaragua y se extiende por la vertiente pacífica y hacia el sur de la Región Central (Soto 2013). En cuanto a la frecuencia de aparición de sequías en la Zona Norte, se ha vuelto más frecuente en los últimos 10 años (Vignola, Otárola, & Trevejo, 2014).

El MINAE (BID, MINAE, SINAC, & DDC, 2015) señala que la RHN tendrá un impacto alto y muy alto de los cambios de precipitación y temperatura sobre la vegetación arbórea para los años 2070-2090. El escenario de riesgo climático futuro en la Zona Norte Norte, identificado por el CATIE (Vignola *et al.*, 2014), es que tiende a aumentar la temperatura nocturna todo el año y en los meses de junio-julio-agosto habrá un aumento de la precipitación y el resto de meses del año posiblemente disminuyan las lluvias. La proyección de la temperatura máxima al 2071-2100, para los tres cantones de las ZNN, aumentará entre 5-8°C y la precipitación en ese período, comparada con la de los años 1960-1990, se reducirá entre 10 y 29%. (MINAE & IMN, 2009).

Para el caso particular del maíz, la variación en temperatura y precipitación han afectado los volúmenes de producción, lo cual está desincentivando su siembra (Vignola *et al.*, 2014). En ese sentido, es probable que ya se haya rebasado el nivel de temperatura que permite alcanzar los mayores rendimientos del maíz, tanto comercial como criollo, por lo que la variabilidad climática extrema ya podría estar teniendo efectos negativos sobre este producto (Ordaz *et al.*, 2010), poniendo en riesgo el sustento básico de nuestros campesinos y la conservación *in situ* del material genético.

El proyecto “Huertos mixtos familiares como fuente de recursos fitogenéticos para contribuir a la seguridad alimentaria en la Zona Norte de Costa Rica” impulsado por la UNA, UCR, & TEC (2014), señala que el maíz es un cultivo importante para los pequeños productores y propietarios de los huertos familiares de los cantones de Upala, Guatuso y Los Chiles. Y estos cantones están clasificados entre los más vulnerables por sus condiciones socioeconómicas y la influencia del clima típico del Pacífico Norte del país (MINAET, IMN, & PNUD, 2012) que se caracteriza actualmente por acentuadas sequías que limitan la productividad agrícola. Estas condiciones pueden estar estimulando al abandono de zonas de cultivo y de cultivos por parte de los campesinos, por lo que urge conservar la biodiversidad que tienen sus huertos y en particular, las variedades de maíz que aún mantienen.

Para el año 2100 el clima en la parte más al norte de la Zona Norte del país, donde se encuentran ubicados esos tres cantones, se dará una disminución de la precipitación aproximada a 655 mm anuales con respecto al promedio 1961-1990 y la temperatura tendrá un aumento de 4,8 °C aproximadamente (IMN-MIANET-PNUD, 2012). Estos fenómenos climatológicos aumentan la vulnerabilidad de la producción de maíz criollo como pilar de la producción campesina en la zona, lo que reafirma la viabilidad de identificar y conservar las variedades de maíz criollo que aún utilizan los campesinos de la zona, y los potenciales genes que podrían ser utilizados en la mejoras del cultivar (MAG *et al.*, 2008), como una opción para que siga siendo productivo en las nuevas condiciones climáticas que se proyectan.

3.5 Diversidad genética del maíz

De seguido se evidenciará la diversidad genética que presenta el maíz, como hacer una caracterización genética con marcadores moleculares tipo microsatélites y los indicadores genéticos útiles para dicha caracterización.

3.5.1 Domesticación y variedades morfológicas de maíz

La propuesta teórica más aceptada sobre el origen del maíz, fundamentada en evidencia morfológica y molecular, apunta a que el antepasado del maíz es el teosinte *Zea mays* subespecie *parviglumis* (Doebly 1990 citado por Lia, 2004 y Kato *et al.*, 2009). La variabilidad documentada en maíz, a nivel morfológico y molecular, indica que no hubo un único evento de domesticación por los pueblos prehispánicos, sino varios repetidos en el tiempo y el espacio (Lia, 2004; Muñozcano, 2011). Se piensa que de la región Mesoamericana, donde se originó hace 7,500-10,000 años, se extendió a otras partes del mundo, hasta ser hoy día uno de los cultivos principales (Kato *et al.*, 2009; Muñozcano, 2011). Las poblaciones de maíz de los pueblos nativos de América han sido la base del

desarrollo de variedades modernas, por medio de la polinización libre o la hibridación (Castro-Nava, Lopez, Pecina, Mendoza, & Reyes, 2013).

La amplia diversidad genética de maíz criollo encontrada en diferentes regiones de México, reportándose variaciones reportadas entre regiones, parcelas y entre las plantas de la misma área productiva, puede sustentarse en la fuerte presión de selección natural causada por enfermedades, plagas y estrés ambiental como sequía, temperatura alta o la combinación de ambos y por la geografía (altitud y latitud), la fisiografía y las condiciones ecológicas (Castro-Nava *et al.*, 2013). Muñozcano (2011) amplía la causalidad sobre la gran diversidad del maíz en su zona de origen al señalar que esta variedad se debe tanto a condiciones agroecológicas como a la diversidad cultural de los pueblos que lo cultivan. Dichas condiciones generan poblaciones diferenciadas; cuando esas diferencias son contrastantes, se utiliza el concepto de raza.

Los campesinos, de forma tradicional, diferencian su maíz por características morfológicas, como color, forma y textura del grano, sumando propiedades culinarias y morfo-fisiológicas, como tamaño y color del tallo, las hojas, pubescencia y precocidad (Angeles *et al* 2010 citado por Muñozcano, 2011). Aunque estas características facilitan el reconocimiento de la diversidad del maíz, por ser sencilla y económica, tiene la debilidad de que muchas características fisiológicas pueden ser modificadas por condiciones ambientales (Muñozcano, 2011).

Considerando que una raza se define como el conjunto de variedades que “comparten características suficientes para identificarlas como un grupo determinado, y desde el punto de vista genético, raza se refiere a un grupo de individuos con un conjunto significativo de genes en común” (Anderson y Cutler 1942 citado por Muñozcano, 2011). En la actualidad se considera que existen entre 220 a 300 razas latinoamericanas de maíz, que con técnicas taxonómicas permitió la definición de 14 grupos raciales, que tienen una alta coincidencia con

las afinidades propuestas con base en los análisis de mediciones morfológicas convencionales (Goodman & Bird 1977 citado por Lia, 2004 y Kato *et al.*, 2009). Los grupos definidos son: I. Grupo Cónico (Conical Group); II. Dentados del Caribe (Caribbean Dents); III. Reventadores del Sur de América (Southern Popcorns); IV. Reventadores del Norte de América del Sur (Northern South American Popcorns); V. Harinosos de Tierras Bajas (Lowland Flours); VI. Grupo Chapalote (Chapalote Group); VII. Razas del Noroeste de América del Sur (Northwestern South American Races); VIII. Razas del Sur de América del Sur (Southern South American Races); IX. Córneos de los Andes del Sur (South Andean Flints); X. Complejo Andino Central (Central Andean Complex); XI. Dentados Blancos del Sur Modernos (Modern Southern White Dents); XII. Grupo Cuzco (Cuzco Group); XIII. Grupo Humahuaca (Humahuaca Group); XIV. Grupo Cravos (Cravos Group).

Esta cantidad de grupos y razas de maíz muestran la complejidad de las relaciones entre variedades que comparten características similares y las dificultades para poner límites claros, por su evolución continua en el campo y los cruces entre las variedades de maíz (Fernández-Granda *et al.*, 2010). Por lo que la suma de datos morfológicos y moleculares son indispensables para alcanzar un sistema adecuado de clasificación de las razas de maíz del continente Americano (Kato *et al.*, 2009; Lia, 2004).

3.5.2 Caracterización genética del maíz

Para identificar una planta se utilizan dos tipos de marcadores: los morfológicos y los moleculares. Tradicionalmente la caracterización e identificación de variedades se basa en caracteres morfológicos, pero su manifestación en plantas puede estar sujeta a factores ambientales o fenológicos (Azofeifa-Delgado, 2006; Muñozcano, 2011). Con los avances logrados en la biología molecular se han desarrollado métodos de identificación y caracterización que se basan en el uso de marcadores moleculares (Azofeifa-Delgado, 2006).

Los marcadores moleculares se basan, en su mayoría, en ser fenotípicamente neutros, cuentan con mayor segregación o polimorfismo que los morfológicos, pueden ser evaluados desde los primeros estados de desarrollo de las plántulas, son aplicables a cualquier tipo de material vegetal, son independientes de la época del año en que se realiza el análisis y permiten la identificación correcta de la variedad sin necesidad de describir muchas características (Azofeifa-Delgado, 2006; Schlatter *et al.*, 1997).

Señala Azofeifa-Delgado (2006) que hay dos tipos de marcadores moleculares: las proteínas (principalmente las isoenzimas) y los marcadores de ADN. Estos últimos son idóneos, pues se basan fundamentalmente en el análisis de las diferencias en pequeñas secuencias del ADN entre individuos. Para su aplicación se usan técnicas muy diversas, cuyas siglas se usan por su nombre en inglés: Polimorfismo de la longitud de los fragmentos de restricción (RFLP), Amplificación aleatoria del ADN polimórfico (RAPD), Polimorfismo en la longitud de los fragmentos amplificados (AFLP), Microsatélites o Secuencias simples repetidas (SSR), Amplificación aleatoria del polimorfismo de microsatélites (RAMPO) y otras. La técnica de microsatélites es útil para estudiar las poblaciones de maíz criollo debido a su abundancia en el genoma vegetal, su alto polimorfismo y adaptabilidad a la automatización (Beovides *et al.*, 2006; Sartori *et al.*, 2014).

3.5.3 Perfil genético del maíz con la técnica de microsatélites

El genoma o secuencia completa de ADN del maíz (*Zea mays*) tiene una dotación cromosómica (número normal de los cromosomas de una célula somática) diploide de veinte cromosomas, cuyas longitudes no resultan significativamente diferentes entre sí. Las secuencias microsatélites o secuencias simples repetidas (SSR) son repeticiones en “tandem” de secuencias cortas de nucleótidos, por lo general con pocos pares de bases, cuyas secuencias que están inmediatamente antes o después, es posible amplificar mediante Reacción de Polimerización en Cadena (en inglés Polymerase Chain Reaction o PCR) con la utilización de iniciadores

(Morales-Yokobori, 2002; Schlatter *et al.*, 1997). Son llamadas secuencias microsátélites en alusión a los minisátélites, primeros en descubrirse, que presentan secuencias de repetición más grandes. Como los microsátélites tienen alta variabilidad y relativa facilidad de análisis de sus secuencias, son hoy día considerados los marcadores genéticos con gran potencial de uso. Las secuencias microsátélites están presentes en todas las células eucariotas y se ubican en loci (posición fija en un cromosoma) específicos, con cierta densidad distribuidos sobre los genomas, tanto en regiones codificantes como no codificantes, que probaron ser altamente polimórficas y útiles en maíz (Morales-Yokobori, 2002; Sartori *et al.*, 2014), además su ubicación cromosómica es conocida y reportada en sitios de la web como Maize Genetics and Genomic Database en <http://www.maizegdb.org> (Sartori *et al.*, 2014; Schlatter *et al.*, 1997).

Según Azofeifa-Delgado (2006), los microsátélites son secuencias de ADN altamente variables dispersas a través de los genomas de hongos, plantas y animales, las cuales ocasionalmente están asociadas con genes. Los microsátélites son loci altamente mutables que pueden estar presentes en muchos sitios del genoma. Las secuencias de ADN repetitivo pueden recombinarse y expandirse más frecuentemente que otros tipos de secuencias, estas regiones del ADN (microsátélites) son a menudo altamente variables y consecuentemente útiles para medir el polimorfismo entre especies o variedades muy relacionadas (Azofeifa-Delgado, 2006).

3.5.4 Diversidad genética del maíz

Las técnicas con marcadores moleculares se empezaron a utilizar relativamente hace poco tiempo, pero mostraron ser muy versátiles, rápidas y complementarias de la taxonomía clásica (Lia, 2004; Muñozcano, 2011). Lia (2004) señaló que el análisis de la variabilidad genética utilizando la técnica de electroforesis de isoenzimas en razas de maíz de Bolivia y México en los años 80, mostró la constitución isoenzimática común para razas diversas en cada país y una fuerte

correlación entre la altitud del cultivo y ciertas frecuencias alélicas. Además, permitió observar diferencias entre los maíces córneos del norte con los dentados del sur, ambos en Estados Unidos, respaldando la división taxonómica previamente propuesta con base en características morfológicas. En el caso de las variedades de maíz de Guatemala, se mostró la existencia de dos complejos, uno relacionado a tierras altas y el otro a tierras bajas, aunque algunos de ellos se habían clasificado, por criterio morfológico, en la misma raza.

Para los estudios de diversidad genética en maíz con marcadores moleculares de ADN, se determinan las frecuencias genéticas y genotipos de alelos iso-enzimáticos; con esos datos se calculan las distancias genéticas entre poblaciones y se infieren relaciones sistemáticas entre poblaciones (Muñozcano, 2011). La mayoría de estos estudios del género *Zea* se han concentrado en las relaciones de parentesco y el movimiento de genes intraespecífico producto de un proceso de hibridación, principalmente entre el maíz y el teosinte para desentrañar el misterio de su domesticación, pero poco se ha avanzado en la diversidad genética de las razas de maíz criollas o ancestrales (Lia, 2004).

Para finales de los años 90 se incorporaron los marcadores SSR a los estudios genéticos del maíz, en primera instancia para conocer su evolución. Matsuoka *et al.* (2002) trabajaron en los niveles de variación de 59 *loci* en razas nativas y teosintes, confirmando la utilidad de los cebadores diseñados para *Zea mays* ssp. *mays* en las otras especies y subespecies del género. Los resultados del estudio mostraron que *Zea mays* ssp. *mexicana* y *Zea mays* ssp. *parvagliumis* tienen mayor diversidad, con un número promedio de alelos por locus de 4,32 y 4,8, respectivamente; luego están *Zea mays* ssp. *mays*, *Zea mays* ssp. *huehuetenangensis*, *Zea diploperennis* y *Zea luxurians* de último con 2,19 alelos por locus (Matsuoka *et al.*, 2002).

Luego de confirmada la pertinencia de utilizar microsatélites en estudios intra e inter específicos en el género *Zea*, Matsuoka *et al.* (2002) analizaron 99 *loci* en

193 accesiones de maíz de toda América y 64 accesiones de los teosinte, con lo que se llegó a conclusiones importantes sobre la domesticación y las rutas de dispersión del maíz a nivel macro-geográfico. Un estudio con 18 variedades de maíz en Brasil (Aparecido & Romero, 2000) que incluyó 5 variedades indígenas, mostró una reducida variabilidad; más del 83% de la variación estaba dentro de las poblaciones. Los autores atribuyen este efecto a una reciente fundación de la población o por la pequeña muestra recogida. A pesar de la baja diversidad alélica reportada, la media de alelos heterocigotos fue mayor que la esperada para plantas de polinización cruzada, lo que puede evidenciar que se da un cruzamiento general entre especies, que dan como resultado poca o ninguna diferenciación entre poblaciones. La falta de razas bien definidas en este estudio también fue observado en el análisis de germoplasma de maíz mexicano (Doebley *et al.* 1985 citado por Aparecido y Romero 2000). Mientras que un estudio de Goodman y Stuber en 1983 citado por Aparecido & Romero (2000), sobre razas de maíz en Bolivia, mostró similitudes raciales definidas con base en caracteres morfológicos y la procedencia geográfica, lo que fue validado también por el método de isoenzimas.

El estudio de Aparecido & Romero (2000) también encontró que la similitud genética entre las poblaciones de diferentes regiones geográficas muchas veces fue mayor que entre las poblaciones de la misma raza, aun cuando las muestras se ubicaron en sitios muy cercanos. Esto sugiere que hay poca correlación entre las distancias geográficas y genéticas entre poblaciones; más bien, tal correlación entre las poblaciones de plantas a menudo indica que la diferenciación es resultado del aislamiento geográfico.

El estudio de Bracco *et al.* (2013) concluye que las diferencias observadas en las razas de maíz nativas se puede deber a dos aspectos no excluyentes, por un lado la existencia de barreras biológicas, como diferentes tiempos de floración u otro tipo de incompatibilidad que provoca obstáculos al flujo genético; y otro aspecto

por considerar es la selección ejercida por el agricultor sobre los rasgos morfológicos que considera deseables.

3.5.5 Indicadores genéticos

La caracterización genética se visualiza a través de los diferentes tipos de alelos y sus frecuencias en la población; cuando las frecuencias alélicas no se distribuyen al azar, sino que siguen un patrón, entonces se dice que existe una estructura genética (González, 2009). Los marcadores moleculares SSR revelan la diversidad genética en las accesiones estudiadas, la cual se mide con diversos indicadores cuantificables que muestran cómo se distribuye y se estructura la variabilidad genética global en y entre distintas poblaciones analizadas (González, 2009).

Los indicadores genéticos se pueden dividir en datos de análisis genético intrapoblacional e interpoblacional. Los datos intrapoblacional muestran la riqueza alélica, que según González (2009), es el número medio de alelos por locus y cuantifica el número total de alelos diferentes detectado en cada uno de los loci de una población.

Algunos indicadores genéticos intrapoblacionales son los alelos diferentes (N_a), los alelos efectivos (N_e) y el porcentaje de polimorfismo (%P). Cavalli-Sforza y Bodmer (1971), citado por Gonzalez (2009), propusieron que “el polimorfismo genético es la ocurrencia en la misma población de dos o más alelos en un locus, cada uno con frecuencia apreciable”. Otro indicador valioso para conocer la riqueza alélica es la heterocigosidad. Se cuantifica la heterocigosidad esperada (H_e) que es la media de los valores de los locus de cada población; cuando está en equilibrio Hardy-Winberg, cuantifica la equitatividad de las frecuencias alélicas en los loci (González, 2009). Por otra parte está la heterocigosidad observada (H_o), que es la media de los valores obtenidos en los loci de las accesiones estudiados. También se calcula el indicador de diversidad conocido como Índice

de Shannon (I), valores altos (mayores a 3) de este índice indican mayor diversidad y con individuos muy diferentes (Griffon, 2008).

También están los indicadores genéticos interpoblaciones. Hablamos de estructura genética interpoblacional, cuando vemos el resultado de la distribución geográfica de subpoblaciones entre las cuales existe diferencia genética (González, 2009). La distancia genética de Nei permite estimar el número de genes o codones sustituidos por locus entre poblaciones y se calcula con el logaritmo de la identidad genética; a su vez, la probabilidad de que dos alelos (uno en cada población) sean idénticos (González, 2009), tiene el valor 0, en este caso, significa que no hay distancia genética entre el par de poblaciones (son la misma población) y se va incrementando la distancia genética al aumentar el valor. Una herramienta poderosa para analizar la diversidad entre poblaciones es el Análisis por Componentes Principales (ACP), un análisis estadístico multivariable, que se utiliza para reducir el número de variables asignadas a cada población, de tal forma que se dé la menor pérdida de información posible (González, 2009) y que produce un gráfico de dispersión de dos o más ejes que distribuyen las poblaciones según sus valores en las coordenadas seleccionadas. Y también está el Análisis de Varianza Molecular (AMOVA, por sus siglas en inglés), que identifica el origen (entre poblaciones, entre individuos y dentro de los individuos) de la variabilidad ilustrada por los indicadores genéticos.

3.6 Prácticas agroecológicas y vulnerabilidad de los HF

Para este trabajo se creó un índice de prácticas agroecológicas y un índice de vulnerabilidad de los huertos familiares estudiados. En esta sección revisaremos aspectos teóricos de la medición de la agrobiodiversidad, las prácticas agroecológicas y la vulnerabilidad.

3.6.1 Medición de la agrobiodiversidad

La diversidad presente en los sistemas agrícolas estudiados se puede medir con el Índice de Shannon. Es un índice sencillo de calcular, pues no se necesita identificar las especies presentes en el HF, la información necesaria para su cálculo es la cantidad de especies, la cantidad de individuos de cada especie y la cantidad total de individuos (Griffon, 2008). La fórmula para calcular el Índice de Shannon (H) es:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

donde:

- S – número de especies (la **riqueza de especies**)
- p_i – proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i): $\frac{n_i}{N}$
- n_i – número de individuos de la especie i
- N – número de todos los individuos de todas las especies

Con este ejercicio se evalúa la riqueza de especies presente en los HF y qué tanta diversidad contienen. Se obtiene la cantidad de especies en cada área de estudio (riqueza de especies) y la cantidad relativa de individuos de cada una de las especies, lo cual nos habla de su abundancia. Los valores del Índice de Shannon resultantes se analizan así: valores inferiores a 2 se considera que muestran baja diversidad y los valores mayores a 3 se toman como de alta diversidad de especies (Griffon, 2008).

3.6.2 Medición de prácticas agroecológicas

La agroecología procura la sostenibilidad socio-ecológica con la aplicación de principios ecológicos en el diseño y manejo de los agroecosistemas (Altieri & Nicholls, 2013; Méndez & Gliessman, 2002). Altieri (2001) define que la agroecología impulsa los siguientes principios ecológicos:

- Aumentar el reciclado de biomasa y optimizar la disponibilidad y el flujo balanceado de nutrientes.

- Asegurar condiciones del suelo favorables para el crecimiento de las plantas, a través del manejo de la materia orgánica y aumentando la actividad biótica del suelo.
- Minimizar las pérdidas debidas a flujos de radiación solar, aire y agua mediante el manejo del microclima, cosecha de agua y el manejo de suelo a través del aumento en la cobertura.
- Diversificar específica y genéticamente el agroecosistema en el tiempo y el espacio.
- Aumentar las interacciones biológicas y los sinergismos entre los componentes de la biodiversidad promoviendo procesos y servicios ecológicos claves.

Las prácticas agroecológicas son la aplicación de los principios agroecológicos en decisiones, estrategias y acciones cotidianas implementadas en las fincas por sus dueños para lograr sustentabilidad, soberanía alimentaria, regeneración del suelo, estabilidad biológica, conservación de los recursos, brindar servicios ecosistémicos y equidad social (Infante, 2013). Algunas de las prácticas agroecológicas más reconocidas, según Arrieta (2015), son: promover agrobiodiversidad, fomento de organismos benéficos, manejo de organismos no deseados, fertilidad y calidad de suelos, conservación de suelos, fomento de policultivos, rotación de cultivos y selección y conservación de semillas.

En específico los indicadores de prácticas agroecológicas que se evaluarán en cada huerto familiar se derivan de cuatro dimensiones que ambientalmente son muy importantes según Altieri & Nicholls (2013) y Rosenfeld (2011), éstas son: a- manejo y calidad del suelo, b-biodiversidad, c-reciclaje de nutrientes y d-manejo de plagas y enfermedades.

Para determinar la calificación cuantitativa de cada indicador de práctica agroecológica se utilizarán criterios preestablecidos en escalas ordinales que reducen su valor según se aleja de la situación más sostenible (Rosenfeld, 2011;

Sarandón & Flores, 2009). Para esto, las dimensiones se dividen en indicadores y éstos en variables, con las que se medirán en los huertos familiares. La suma de la puntuación obtenida en las variables de cada dimensión da una escala de valor general en sus prácticas agroecológicas a cada huerto familiar; se concluye con un índice final de valoración comparativa de sostenibilidad agroambiental de cada sitio.

La dimensión agroecológica **manejo y calidad del suelo** tiene un peso fundamental en la capacidad del agroecosistema para diversificar la producción, nutrir adecuadamente a las plantas y ser sostenible, además de ser determinante para los otros indicadores agroecológicos. Se divide en los indicadores de cuidado del suelo, que se subdivide en las variables cobertura y barreras vivas, y el indicador erosión, que mide la variable grado de erosión observado en el terreno. El peso relativo que se le asigna es 40 sobre 100, por su importancia, por lo tanto, el factor de ponderación de la suma de los valores obtenidos por las variables es 0.4.

La dimensión agroecológica **biodiversidad** también tiene un peso fundamental, un poco menor que manejo y calidad del suelo en la sostenibilidad de las actividades productivas que se realicen en el sitio, pero superior a reciclaje de nutrientes y manejo de plagas y enfermedades (Rosenfeld, 2011). Como los huertos familiares tienen la finalidad de proveer seguridad alimentaria a la familia y algunos ingresos, la variedad de cultivos aprovechables es el factor clave por medir. El número de cultivos y el manejo que les da el dueño del huerto familiar está relacionado con la renta y autoconsumo de la producción lograda, la mano de obra disponible, las necesidades familiares y el conocimiento acumulado. La dimensión biodiversidad se ha dividido en los indicadores de manejo de cultivos, que incluye las variables de cultivos aprovechables y las prácticas de barbecho, asociación y rotación de cultivos. Se le asigna un peso relativo de 30 puntos de 100, por lo que el factor de ponderación de esta dimensión es de 0.3.

La dimensión agroecológica de **reciclaje de nutrientes** debe mostrar la utilización de compost y la relación o intercambio de productos o subproductos de los procesos que se desarrollan en el huerto familiar en los subsistemas agrícola, pecuario y forestal. Esta interacción es una práctica necesaria e importante para garantizar la fertilidad del suelo y la alimentación de los animales, con lo cual se logra la sostenibilidad de la actividad productiva (Rosenfeld, 2011). Se realiza a partir del procesamiento de diversos productos que generan las plantas y animales presentes en el sitio. Esta dimensión tiene dos indicadores: compost, que se mide con la variable de uno del compost, y materiales para elaborar compost, que tiene la variable de uso de materiales locales. Se le asigna un valor máximo de 15 puntos de 100, al igual que el indicador de manejo de plagas y enfermedades; su factor de ponderación es 0.15.

En el caso de la dimensión agroecológica de **manejo de plagas y enfermedades**, se pueden presentar diferencias en la incidencia de enfermedades y plagas en los distintos sitios productivos, también es distinto el manejo que realiza el productor en cada caso. Se busca si el dueño del huerto familiar utiliza o no los controles químicos que son más agresivos con el ambiente, o por el contrario, utiliza controles biológicos y/o sustancias derivadas de productos naturales y, por otra parte, si realiza la selección de plantas con base en su resistencia a plagas y enfermedades. Esta dimensión tiene los indicadores de resistencia con la variable de selección de plantas resistentes a plagas y enfermedades y el indicador de control de plagas y enfermedades con la variable de control químico o natural. Se le asigna una puntuación de 15 sobre 100, por lo tanto, su factor de ponderación es 0.15.

3.6.3 Medición de Vulnerabilidad de permanencia del huerto familiar

La conservación *in situ* de las semillas criollas está estrechamente ligada a la sostenibilidad de los HF y su conservación como espacio productivo importante para las familias dueñas y la forma de vida campesina donde se sustenta. De esta

forma la vulnerabilidad que tienen estas familias frente a cambios climáticos u otro tipo de trastornos en su forma de vida, serán determinantes para continuar o no con su rol de custodios de las semillas criollas. Este trabajo propone utilizar una serie de indicadores que permitan evaluar la vulnerabilidad frente a los cambios climáticos y las condiciones que el entorno económico y social les ofrece para seguir desarrollando los HF; en especial el papel de conservar las variedades criollas de maíz en este tipo de agroecosistema.

Conceptualmente la vulnerabilidad se expresa como resultado del nivel de exposición frente a un fenómeno y la capacidad de respuesta de la población (Altieri & Nicholls, 2013; Olarte Suárez, 2013). El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2001) establece que la vulnerabilidad está constituida por tres dimensiones: capacidad de adaptación de la población, sensibilidad de los sistemas humanos-ambientales y exposición a fenómenos naturales. Podemos expresarlo mediante la siguiente fórmula:

$$V = (E + S) - C$$

V=Vulnerabilidad E=Exposición S=Sensibilidad C=Capacidad de adaptación

En concreto la **exposición (E)** está referida a la ubicación de las personas, familias, comunidades, medios de subsistencia, recursos e infraestructura que pueden ser afectados por algún tipo de fenómeno, lo que implica que están sujetos a potenciales daños (IPCC, 2001; Salinas, 2015). Para este estudio el fenómeno del cambio climático en la zona de trabajo puede causar daño al provocar abandono de prácticas agroecológicas, incluida la conservación de semillas criollas por parte de los dueños de los huertos familiares. Esto está directamente relacionado con la ubicación geográfica de los tres cantones. Mientras que la **sensibilidad (S)** nos indica en qué nivel un sistema resulta afectado, de forma negativa o positivamente, por estímulos de fenómenos naturales, como los cambios en el clima (Altieri & Nicholls, 2013; Salinas, 2015). La sensibilidad depende de la interacción entre las condiciones propias del sistema y su exposición a un evento adverso (IPCC, 2001). Para este estudio, las familias que poseen un huerto familiar tienen una importante dependencia de la

provisión de productos para el autoconsumo y la generación de ingresos, por lo que cambios en el clima que alteren esa producción puede afectarlos de forma negativa. La suma de la exposición y la sensibilidad se denomina impacto. Los sistemas humanos y naturales pueden tener impactos potenciales, que es todo lo que puede suceder dado un cambio proyectado en la temperatura y precipitación, sin tener en cuenta las medidas de adaptación (Altieri & Nicholls, 2013; IPCC, 2001).

El impacto (E+S) se contrapone con la **capacidad de adaptación (C)**, que son los ajustes que implementan sistemas humanos y naturales frente a situaciones cambiantes. Estos ajustes ante los cambios, proyectados o reales, pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos (IPCC, 2001). Entonces, la capacidad de adaptación es la habilidad de prepararse o hacer ajustes en los sistemas para enfrentar los efectos del cambio climático previsto (Altieri & Nicholls, 2013). Para este estudio se revisará la capacidad de reducir los potenciales impactos de los cambios en el clima y mantener la productividad de los huertos familiares, específicamente, el papel que juegan las semillas criollas en esta adaptación, como un recurso estratégico. También las circunstancias socio-económicas en las que viven las familias dueñas de los HF, pueden ayudar a conservar su estilo de vida, incluido su agrosistema productivo.

La metodología desarrollada por FORECCSA, descrita por Salinas (2015), básicamente establece la definición de un conjunto de indicadores a medir para cada componente de la vulnerabilidad, luego la ponderación de los resultados. El promedio de exposición y de sensibilidad se multiplica por 0.45, ambos, mientras que la capacidad de adaptación se multiplica por 0.1.

Esta ponderación se da porque la exposición y la sensibilidad son factores aditivos de la vulnerabilidad, lo que significa que a mayor valor de estos índices, mayor será la vulnerabilidad, mientras que con la capacidad de adaptación sucede lo contrario; a menor valor la vulnerabilidad es mayor, por esta razón se construye con una escala contraria (Salinas, 2015).

3.7 Información socio-agro-ambiental de la Zona Norte Norte

Como los huertos familiares participantes en este estudio están localizados en los cantones de Upala, Guatuso y Los Chiles, al norte de Costa Rica, y conocida como Zona Norte Norte. En esta sección se hace una caracterización histórica, social, económica, agrícola y ambiental de la zona, que es el telón de fondo donde se desenvuelven las familias dueñas de los huertos familiares.

3.7.1 Historia y contexto actual ZNN

La Zona Norte Norte originalmente estaba poblada por indígenas guatusos, que empezaron a ser diezmados y desplazados desde la época de la colonia española. Una colonización sistemática de campesinos provenientes del Valle Central se dió a partir de 1850 (Valverde & Acuña, 2011), estimulados por acciones gubernamentales para poblar la zona y su explotación agrícola y pecuaria. En los años 1900 se fortalecieron los asentamientos campesinos y se expandió el cultivo del café, la caña de azúcar, la ganadería, explotación de hule (INDER, 2014) y actividades tradicionales de la finca campesina orientadas a la subsistencia y venta de productos al mercado local y nacional (Valverde & Acuña, 2011). Importante destacar que hasta la década de 1960 los cantones de Upala, Los Chiles y Guatuso tenían mayores relaciones sociales y comerciales con Nicaragua que con el resto de Costa Rica (IICA, PDR, & UCR, 2007).

Para Valverde y Acuña (2011) los importantes cambios en el país de los años 70's a la fecha, cuando se pasó de un modelo agroexportador y de sustitución de importaciones, a otro de mayor apertura económica con los programas de Ajuste Estructural y los Tratados de Libre Comercio con varios países, dan origen a un conjunto de leyes e instituciones que cambian las prioridades nacionales y, específicamente en el agro, se desestimula la producción campesina y se fortalece la agroexportación de productos no tradicionales, provenientes de grandes

plantaciones de monocultivos, con un gran impulso a la exportación de banano, café, azúcar, piña, palma aceitera y otros.

En la RHN, este contexto le permite estimular el cultivo de distintos productos, combinando producción tradicional con productos para exportación y turismo (Proyecto Estado de la Nación, 1998), pero con una exportación concentrada en pocos productos: piña (57%), jugos y concentrados de frutas (21%), yuca (7%) y plantas ornamentales (3%) en el 2007 (Valverde & Acuña, 2011). Si bien este modelo productivo ha dejado beneficios para algunos sectores, a la vez ha traído problemas a sectores campesinos que han visto reducirse sus posibilidades de desarrollo al desestimarse la producción de granos básicos, la disminución de la asistencia técnica y la concentración de tierra para monocultivos (Valverde & Acuña, 2011). Además los monocultivos extensos son poco sostenibles y con fuertes implicaciones ambientales, como la contaminación de fuentes de agua, aparición de plagas de moscas para el ganado, obstrucción de caminos y reducción de áreas boscosas, con la consiguiente la afectación a los servicios ambientales que prestan a la sociedad (Programa Estado de la Nación en Desarrollo Sostenible, 2015; Valverde & Acuña, 2011).

3.7.2 Características socio-demográficas de la ZNN

La ZNN posee una extensión de 3,678.8 km² aproximadamente, y alberga cerca de 83.185 personas (INEC, 2012). Entre el Censo Nacional 2000 y el del 2011, la población creció en 12,740 habitantes, lo cual es un 18% (crecimiento poblacional mayor al promedio nacional) y donde cerca del 20% es población urbana y 80% rural (INDER, 2014). Según el INDER (2014) la población de la ZNN se concentra en edades medias y la tendencia es que se disminuye significativamente la niñez y aumenta ligeramente los adultos mayores.

En el Cuadro 1 están algunas características socio-demográficas de la ZNN por cantón. Son cantones relativamente grandes y con baja población; el cantón más grande y poblado es Upala, con casi 44,000 habitantes. En educación, el

alfabetismo es alto, como en el resto del país, pero con una cantidad de años de educación baja, que apenas cubre la escuela; la población mejor formada (con educación secundaria o más) no llega al 20%, menos de la mitad de lo reportado a nivel nacional (Programa Estado de la Nación, 2013).

Estos tres cantones (Upala, Guatuso y Los Chiles) se conocen como la Zona Norte Norte (ZNN), limítrofe con Nicaragua, por lo que la presencia de nicaragüenses es numerosa e histórica (IICA *et al.*, 2007); es una de las últimas fronteras agrícolas de Costa Rica y de más reciente colonización (Valverde & Acuña, 2011). Se destaca el porcentaje de población que no tiene seguro social. En cuanto a las viviendas, se reporta que más del 50% están en mal estado, pero el acceso a agua y electricidad es muy bueno, excepto en Los Chiles, donde casi la cuarta parte de las casas no tienen buen acceso a agua. Y un instrumento tecnológico muy importante para la educación, trabajo, formación y entretenimiento en los hogares, como es el internet, reporta niveles de acceso sumamente bajos (10%).

Cuadro 1. Características socio-demográficas de la Zona Norte Norte por cantón, 2011.

Características	Upala	Los Chiles	Guatuso
Demográficas y geográficas			
Superficie Km2	1580,7	1358,9	758,3
Población	43953	23735	15508
% población rural	78,6	79,6	82,8
Educativas			
% alfabetismo	94,1	91,1	94,2
Escolaridad promedio (años)	6,1	5,5	6,0
% con secundaria o más	19,0	16,0	18,0
Sociales			
% población nacida en el extranjero	10,4	10,1	6,9
% población no asegurada	16,6	13,4	15,4
% familias pobres*	45,4	42,8	44,8
Vivienda			
% viviendas en buen estado	41,6	39,8	44,7
Acceso a electricidad	93,6	90,8	96,9
Acceso a agua	91,1	76,5	95,4
% viviendas con internet	9,0	10,0	10,0
Económicas			
% ocupados sector primario	45	54,6	49,2
% ocupados sector secundario	9,0	7,9	10,0
% ocupados sector terciario	46	37,5	40,8

Fuente: Elaboración propia con datos de Programa Estado de la Nación-INEC, 2013 e * INEC 2013.

En la economía casi la mitad de la fuerza de trabajo está ocupada en el sector primario (agricultura, ganadería, pesca y minas), por lo que las actividades agropecuarias tienen un peso determinante en el ingreso y bienestar de las familias de la ZNN. El sector secundario (industria) es muy limitado en el empleo que genera en la zona; el sector terciario, igual que en el resto del país, es otro sector primordial en la generación de empleo (gobierno, servicios públicos, banca, comercio, turismo, etc) en la ZNN.

Además MIDEPLAN (2017) señala que la tasa desempleo en la RHN se reportó en 9% en el 2015, ligeramente superior a la nacional (8.5%). En ese mismo año la población de la región ocupada en agricultura, ganadería y silvicultura fue de 30.3%, muy superior a la situación nacional (11.4%), también el ingreso de los

hogares, a nivel nacional fue de 1,003,155.00 colones, mientras en los hogares de la RHN su ingreso solo fue 69.4% de ese monto. Estos elementos pesan para producir una pobreza que abarca el 27.2% de hogares de la RHN (21.7% a nivel nacional) y de los cuales el 10,5% está en pobreza extrema. Pero en los tres cantones que abarcan la ZNN, la pobreza afecta del 42% al 45% de los hogares (INEC, 2013), son familias que no tienen los ingresos suficientes para comprar la canasta básica.

El INDER (2014) señala que según el Índice de Desarrollo Social, calculado por el MIDEPLAN en el 2013, de los 81 cantones del país, los cantones estudiados están entre los más rezagados: Guatuso puesto 75, Upala puesto 76 y Los Chiles en el puesto 80. De la red vial cantonal en la RHN está en mal estado el 55,3% (MIDEPLAN, 2017). Todas estas características de la ZNN hicieron que los tres cantones, por su rezago (IICA *et al.*, 2007), fueran declarados de atención prioritaria para impulsar el desarrollo rural sostenible por el INDER desde el 2012 (INDER, 2014).

3.7.3 Características agro-ambientales de la ZNN

El INDER (2014) señala que la ZNN es bastante plana, con el punto de menor altura a 40 msnm (cercano a frontera con Nicaragua) y el de mayor altura a 1900 msnm (en la Cordillera de Guanacaste), donde las zonas altas y de fuerte pendiente albergan bosques y en las zonas bajas hay con frecuencia humedades y predominan áreas de ganadería y arrozales. Las temperaturas en la ZNN, están en un rango de 16 a 26°C, son cálidas, especialmente en el cantón de Los Chiles y un poco menos cálidas hacia las faldas de la Cordillera de Guanacaste, al oeste del territorio, sin embargo las temperaturas por lo general son bastante cálidas (24-26°C) casi todo el año en prácticamente todo el territorio, con una precipitación entre 3000 a 4500 mm al año (INDER, 2014).

La riqueza natural en biodiversidad y paisajes que contiene la ZNN (Valverde & Acuña, 2011) es derivada de las zonas de vida que la conforman: Bosque Húmedo

Tropical, Bosque Muy Húmedo Premontano, Bosque Pluvial Montano Bajo y Bosque Pluvial Premontano. Además, en su territorio se conservan los recursos naturales por la existencia de tres Parques Nacionales (PN Volcán Tenorio, PN Rincón de la Vieja y PN Guanacaste), el Refugio de Vida Silvestre Caño Negro, la Zona Protectora Miravalles, el Corredor Fronterizo y el Corredor Biológico Ruta Los Malekus, que conecta las áreas protegidas (INDER, 2014).

El modelo agroproductivo de la ZNN está cambiando rápidamente, tradicionalmente se basaba en la producción de granos, tubérculos y ganado para el mercado nacional, pero se han ido incorporando grandes extensiones de monocultivos, cuyo destino es la exportación (IICA *et al.*, 2007). Las nuevas actividades agroproductivas de naranja, arroz, piña y caña de azúcar, se nutren en buena parte de mano de obra migrante nicaragüense tanto documentada como indocumentada (IICA *et al.*, 2007).

Según INDER (2014) actualmente, en la agrobiodiversidad de las fincas de Guatuso predominan actividades agropercuarias como: ganadería doble propósito, raíces y tubérculos, arroz, frijol, piña, plátano, cacao, palmito, cítricos, pimienta, raicilla, maíz y ayote. En el cantón de Los Chiles son: granos básicos, ganadería, forestería, raíces y tubérculos, caña de azúcar, cítricos y piña. Y en Upala son: piña, naranja, cacao, palmito, ganadería doble propósito, raíces y tubérculos, plátano, granos básicos, tomate, pepino y chile dulce.

Capítulo III

4 Materiales y métodos

4.1 Ubicación de la zona de estudio y poblaciones de maíz criollo

El área de este estudio se ubicó en los cantones de Upala, Guatuso y Los Chiles, en la Zona Norte de Costa Rica. Estos cantones se seleccionaron para esta investigación porque cumplen dos condiciones: a) su importancia en la producción de maíz comercial y de autoconsumo (Ministerio de Agricultura y Ganadería Costa Rica, 2007), b) alta vulnerabilidad a eventos extremos, por sus condiciones climáticas y sociales (IMN-MIANET-PNUD, 2012). Este estudio se centró en Huertos Familiares de la Región Huetar Norte (RHN) de Costa Rica, específicamente en los cantones Upala, Los Chiles y Guatuso (Figura 1).

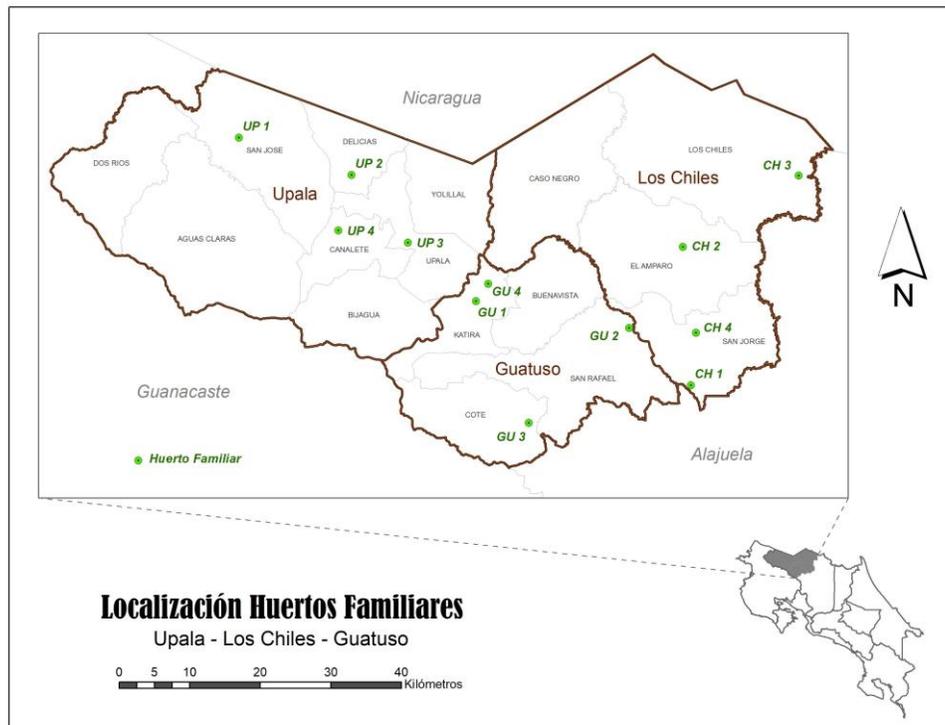


Figura 1. Mapa de la Zona Norte de Costa Rica y ubicación de 12 huertos familiares estudiados por el Proyecto UNA-UCR-ITCR.

En este estudio se entiende como huerto familiar el agroecosistema que rodea la vivienda familiar, donde la misma familia desarrolla una serie de prácticas agrícolas de bajo impacto ambiental, sustentadas en la cultura tradicional campesina; las variedades vegetales presentes han sido seleccionadas con algún criterio de utilidad para la familia. Pueden estar presentes también animales, especies silvestres y domésticas menores, que contribuyen a la diversidad, al cierre de ciclos de nutrientes y juegan un papel importante en algunas necesidades familiares.

Las poblaciones de maíz fueron aportadas por los dueños de los huertos familiares y los granos de maíz recolectados por el proyecto “Huertos mixtos familiares como fuente de recursos fitogenéticos para contribuir a la seguridad alimentaria en la Zona Norte de Costa Rica” de UNA-UCR-TEC.

Se usó el término *población* para señalar las variedades diferentes de maíz identificadas por los dueños de los huertos familiares y que tuvieron características morfológicas similares. Las accesiones de maíz con las que se trabajó fueron recolectadas en huertos familiares y se almacenaron en el banco de semillas de la UNA (Cuadro 2). También se tomaron cinco accesiones de maíz suministradas por el Instituto Nacional de Transferencia Tecnológica Agropecuaria (INTA), con las que se compararon las poblaciones de maíz criollo.

El investigador Nevio Bonilla, del INTA, suministró las variedades de maíz CLTHW001 (H1), CLTHW007 (H2) y CLTHW002 (H3), que a su vez las recibió del CIMMYT. La variedad maíz dulce (MD) y el maíz palomero (MP) fueron adquiridas en el comercio nacional. Se denominaron variedades comerciales al MD, MP, H1, H2 y H3.

Cuadro 2. Identificación y ubicación de los huertos familiares estudiados por el Proyecto UNA-UCR-ITCR en los cantones de Upala, Los Chiles y Guatuso, donde se colectaron las accesiones de maíz usadas en este estudio.

Id	Propietario Huerto Familiar	Dirección	Coordenadas		Código colección UNA de accesiones de maíz
			Latitud	Longitud	
UP1	Andrea Chavala	Valle Bonito, Upala	10.9775	-85.2089	UNA-1079
UP2	Felipa Palacios	Quebradón, Upala	10.9301	-85.0653	UNA-1080 UNA-1081
UP3	Pedro Álvarez	Llano Azul, Distrito Central, Upala	10.8425	-84.9933	UNA-1082
UP4	Jesús Murillo	Llano Azul, Distrito Central, Upala	10.8592	-85.0819	UNA-1083
GU1	Hilario Murillo	Asentamiento El Valle, Katira, Guatuso	10.76906	-84.9063	UNA-1073 UNA-1074 UNA-1075
GU2	Rafael Vega	Asentamiento Montealegre, San Rafael, Guatuso	10.73463	-84.7113	UNA-1089 UNA-1090
GU3	José Ángel Ugalde Ruiz	Cabanga, Cote, Guatuso	10.61366	-84.8391	UNA-1076
GU4	Flor Calvo	Asentamiento La Unión, Katira, Guatuso	10.79109	-84.8909	
CH1	Robert Alpízar	Colonia París, Distrito San Jorge	10.6616	-84.6323	UNA-1084
CH2	Diego Henríquez	Asentamiento El Gallito, Distrito El Amparo	10.8384	-84.6424	UNA-1086 UNA-1087
CH3	Israel Lazo	Caño Castilla de Pavón, Distrito El Amparo	10.9295	-84.4948	
CH4	Donald Quesada	El Botijo, Distrito San Jorge	10.7285	-84.6258	UNA-1088

Fuente: información suministrada por el proyecto “Huertos mixtos familiares como fuente de recursos fitogenéticos para contribuir a la seguridad alimentaria en la Zona Norte de Costa Rica” UNA-UCR-TEC.

Se utilizaron varias semillas morfológicamente variables de 15 poblaciones de maíz (Fig. 2), recolectadas por el proyecto interuniversitario y almacenadas en el banco de recursos fitogenéticos de la UNA.



Figura 2. Semillas de las variedades de maíz recolectadas en los huertos familiares de la Zona Norte Norte por el Proyecto UNA-UCR-ITCR.

4.2 Perfil genético del maíz con microsatélites

En esta sección se detalla la forma de extracción del ADN de las semillas de maíz, y la metodología de trabajo con los microsatélites, tanto la selección previa de marcadores y su utilización con las accesiones de maíz. Así como el cálculo del contenido de información polimórfica (PIC) de cada marcador utilizado.

4.2.1 Extracción del ADN

Para la caracterización genética de las poblaciones de maíz se efectuó un análisis molecular con microsatélites. Para esto, se germinaron 5 granos de cada accesión estudiada y se extrajo el ácido desoxirribonucleico (ADN) del mesocotilo, siguiendo el procedimiento de extracción definido por Porebski *et al.* (1997), ajustado y probado por el Laboratorio de Biología Molecular de la UNA. La calidad del ADN resultante de la extracción se verificó por medio de electroforesis en geles de agarosa al 1%, teñidos con GelRed (Biotium).

4.2.2 Microsatélites para caracterización genética del maíz

Se probaron 20 pares de imprimadores (marcadores o “primers” en inglés), los cuales se tomaron de la base de datos sobre maíz www.maizegdb.org. Se utilizaron los siguientes pares: bnlg 1890, bnlg 1917, bnlg 1449, bnlg 1523, bnlg 1191, bnlg 1740, phi 116, bnlg 2305, bnlg 1265, bnlg 1046, bnlg 1194, phi 078, phi 015, phi 089, phi 031, phi 064, phi 109188, phi 96100, phi 093 y phi 072.

Se realizaron reacciones en cadena de la polimerasa (PCR) en un termociclador Veriti® de 96 pozos (Applied Biosystems) para cada par de imprimadores en cada accesión. Las condiciones de la PCR se realizaron con el protocolo M13, desarrollado por Schuelke (2000), donde el imprimador fue marcado con el fluorocromo IRDye 800 para el equipo Li-Cor 4300. Se hicieron pruebas preliminares para determinar la temperatura de hidridación más adecuada para cada marcador. Para esto, se utilizó una submuestra morfológicamente diversa de las accesiones y se probaron los 20 pares de imprimadores. Se eligieron los seis marcadores que generaron productos de PCR más legibles y con más de 8 fragmentos polimórficos. Los detalles de las condiciones de la PCR aparecen en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Reactivos empleados para la PCR en el estudio genético con microsatélites de accesiones de maíz de la Zona Norte Norte y comerciales.

Reactivo	Concentración inicial	Concentración final	Volumen
Agua desionizada	--	--	2.9 ul
Buffer Taq	10X	1X	1 ul
dNTPs	2 mM	0.2 mM	1 ul
M13-800	1 uM	0.1 uM	0.8 ul
Cebador F	1 uM	0.1 uM	0.2 ul
Cebador R	1 uM	0.1 uM	1 ul
Taq	5 unidades ul	0.5 unidades ul	0.1 ul
Muestra ADN	1:10	1:100	3 ul
Total	--	--	10 ul

Nota: el coctel se hizo para cada accesión y cada cebador utilizado, con los volúmenes especificados y se agregó en el orden en que aparecen.

Fuente: Elaboración propia.

La visualización de los productos de amplificación por PCR se hizo en geles de poliacrilamida al 8% en un analizador de ADN Li-Cor 4300 y la amplitud de pesos resultantes se comparó con aquellos reportados por la literatura. La cuantificación de los alelos se realizó con el programa Cross Checker (Buntjer & Otsen, 1999).

La PCR se realizó con el perfil térmico especificado en el Cuadro 4. La visualización de los productos del PCR se realizó en gel de poliacrilamida en un analizador de ADN Li-cor 4300.

Cuadro 4. Perfil térmico de amplificación PCR para los marcadores SSR empleados en el estudio con accesiones criollas y comerciales de maíz.

Pasos	Fase	°C	Tiempo	Ciclos	a/ °C hibridación	Cebador
1	Desnaturalización inicial	94	2:30	X1	55°C	bngl 1191
2	Desnaturalización	94	0:30	X15	57°C	bngl 1194
3	Hibridación	a/	0:30		57°C	bngl 1265
4	Extensión	72	1:00		57°C	bngl 1740
5	Desnaturalización	94	0:30	X25	59°C	bngl 1890
6	Fijación M13	50	0:30		55°C	phi 109188
7	Extensión	72	1:00			
8	Extensión final	72	7:00	X1		
9	Estacionamiento	-4	∞			

Fuente: Elaboración propia.

De la imagen generada por el analizador de ADN, se mejoró su visualización con el software GIMP y se procesó con el software CrossCheker, con el cual se cuantificaron las bandas que identifican los diferentes alelos.

También se calculó el contenido de información polimórfica (PIC) de cada marcador SSR, para determinar el grado de información polimórfico, que se calcula para cada locus y depende del número de alelos del locus y sus frecuencias relativas (González *et al.* 2016), con la siguiente fórmula:

$$PIC=1-\sum pi^2$$

Donde pi: es la frecuencia del alelo i en la población.

Como PIC señala la calidad de la información de los marcadores moleculares tipo SSR utilizados, valores mayores a 0,5 se definen como muy informativos, valores entre 0.25 y 0.5 son medianamente informativos y valores menores a 0.25 se entienden como muy poco informativos (Jiménez, 2014).

4.3 Análisis de indicadores genéticos de las accesiones de maíz

Se utilizó el software GenAIEx 6.5 (Análisis Genético en Excel), desarrollado por Peakall & Smouse (2012), para realizar un análisis genético de las accesiones de maíz. Para el análisis intrapoblacional se calcularon los indicadores genéticos: número medio de alelos por locus, número de alelos específicos y alelos efectivos, heterocigosidad observada y esperada, el polimorfismo y el índice de Shannon. Para el análisis interpoblacional se utilizó una matriz de distancia genética de Nei, y se realizaron análisis de la distancia geográfica en relación con la distancia genética, el análisis por componentes principales de la diversidad genética para conocer la cercanía o lejanía entre las accesiones de maíz y el análisis de varianza molecular. Luego se hizo un análisis visual de los resultados a través de la construcción de un diagrama de árbol; con el apoyo del software Splits Tree4 (Huson & Bryant, 2006) se procesaron los datos para construir el dendrograma.

4.4 El huerto familiar de la ZNN y sus prácticas agroecológicas

En esta sección se especifica la metodología con la cual se realizó una caracterización de las familias y sus huertos familiares participantes en este estudio, además de la forma en que se realizó la medición de las prácticas agroecológicas en los huertos familiares.

4.4.1 Caracterización huertos familiares

Se sintetizó información general de la zona de estudio y de los huertos familiares, específicamente:

- Caracterización básica histórica, social y agrícola de la zona de estudio.
- Documentación de las características climáticas, topográficas y ambientales de los tres cantones del estudio.
- Descripción del agroecosistema presente en los huertos familiares.
- Conteo de la variedad de cultivares y un cálculo de la agrobiodiversidad de cada HF con el índice de Shannon.

Dado que la distribución de elementos (diseño) en el sitio es importante para la efectividad de las tareas y producción en el HF, se realizó un croquis general del área de cada uno de los 14 huertos familiares y se revisó qué elementos estaban presentes en cada sitio, los elementos que aparecen en 9 o más ocasiones se incluyeron en el huerto familiar típico y a partir de su ubicación espacial relativa con respecto a la casa familiar, se utilizó esta información para elaborar un croquis del huerto familiar típico de la ZNN.

Para analizar los huertos familiares como sistemas productivos, se utilizó el enfoque de sistema, reconociendo que son fenómenos complejos, que interactúan con el ambiente, donde intervienen muchas variables (Domínguez-Ríos & López-Santillán, 2016; Pérez & Razz, 2009; Scalone, 2015). Se realizó un análisis de los insumos y productos del sistema HF, los subsistemas y componentes internos que se identificaron en la mayoría de los casos estudiados.

4.4.2 Prácticas agroecológicas

Se estudiaron las prácticas agroecológicas que se realizan en 14 huertos familiares de la Zona Norte Norte (ZNN), 4 de Upala, 5 de Guatuso y 5 de Los Chiles, algunas de las fincas donde se encuentran estos huertos familiares incluso son catalogadas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería como fincas integradas y consideradas modelo didáctico agroproductivo en la zona.

Para caracterizar las prácticas agroecológicas se le aplicó una encuesta (Anexo 1) a cada uno de los dueños de los 12 huertos familiares identificados por el proyecto “Huertos mixtos familiares como fuente de recursos fitogenéticos para contribuir a la seguridad alimentaria en la Zona Norte de Costa Rica” de UNA-UCR-TEC y a dos huertos familiares más que participaron en un intercambio de semillas organizado por el proyecto interuniversitario a finales del 2016.

Se evaluaron las prácticas agroecológicas con las dimensiones, indicadores y variables especificados en el Cuadro 5. Cada dimensión tuvo una ponderación o peso diferenciado. La dimensión del manejo y calidad del suelo fue la que tuvo el mayor peso (40%) por su importancia en la salud del agroecosistema, luego la dimensión biodiversidad pesó un 30% y finalmente las dimensiones reciclaje de nutrientes y manejo de plagas y enfermedades se ponderó a un 15% cada una.

Para complementar la información que se suministró en la entrevista, se realizaron visitas de campo a los huertos familiares para la observación y la corroboración de la información suministrada. Se tomaron las medidas en el caso del porcentaje de cobertura del suelo, circunferencia a la altura de pecho de los árboles, conteo de individuos por especie, así como corroborar información de la entrevista sobre barreras vivas y grado de erosión.

Cuadro 5. Indicadores agroecológicos evaluados en los agroecosistemas de los huertos familiares de la Zona Norte Norte para construir el Índice de prácticas agroecológicas.

Dimensión	Indicador	Variables	Forma de calificación	Importancia en HF	Fuente
Manejo y calidad del suelo Factor de ponderación 0.4	Cuido suelo	Cobertura de suelo	0-10: según % de suelo cubierto en 10 m ² en un transecto de 30 m, cada 3 m se evalúa un m ²	Protege de erosión y hábitat de microorganismos	(Pulido Fernández, Lavado Contador, & Schnabel, 2011)
		Barreras vivas	8-10: en cercas y en curvas de nivel. 4-7: en cercas. 0-3: poca o ninguna barrera viva	Reducción de la erosión, recuperación del agua de escorrentía y mejoramiento de la fertilidad del suelo	(Pérez, 2009)

	Erosión	Grado de erosión	8-10: siembra en curvas a nivel. Sin erosión. 4-7: sectores con erosión en surcos pequeños. 0-3: cárcavas y zanjas evidencian fuerte erosión	Perdida de suelo y nutrientes	(Imeson & Curts, 2004)
Biodiversidad Factor de ponderación 0.3	Manejo cultivos	Cultivos aprovechables	8-10: 30 o más actividades productivas para autoconsumo y/o venta. 6-7: 20 a 29 actividades 3-5: 10 a 19 actividades 0-2: menos de 9 activid.	Seguridad alimentaria a la familia e ingresos	(Rosenfeld, 2011)
		Barbecho, asociación y rotación cultivos	8-10: practica los tres. 4-7: practica solo dos. 0-3: practica solo uno o ninguno	Ayuda al suelo a mantener producción sostenible y aumenta diversidad.	(Guzmán Casado & Alonso Mielgo, 2008)
	Leñosas	Circunferencia a la altura de pecho (CAP)	Se mide CAP mayores a 3 cm de las plantas leñosas a 1.30 m de altura, en transecto de 50mx2m. Se saca Área Basal=0,079xCAP ² , y se obtiene área basal total. 10: más de 900 cm 8-9: entre 700-900 cm 4-7: entre 300-700 cm 0-3: menos de 300 cm	Diversidad, protección suelo, infiltración del agua, ciclaje de nutrientes profundos, estratos, hábitats, sombra, leña, alimento para personas y animales, etc.	(CATIE, 2012; Villarreal <i>et al.</i> , 2004)
Reciclaje de nutrientes Factor de ponderación 0.15	Compost	Uso compost	8-10: agrega compost todos los años a las áreas de cultivo y muy poco abono químico. 4-7: usa compost ocasionalmente y usa abono químico regularmente. 0-3: no utiliza compost y solo abono químico.	Alimentación del suelo, mejora calidad suelo, activa microorganismos, nutre cultivos, supresor enfermedades	(Soto & Muñoz, 2002)
	Materiales para elaborar compost	Uso materiales locales	8-10: significativo uso de productos y subproductos de los subsistemas agrícola, pecuario y forestal de su finca para hacer el compost. 4-7: poca utilización 0-3: muy baja o nula utilización	Autoabastecimiento de materiales para elaborar compost, evita costos de transporte, evita producir desechos.	(Rosenfeld, 2011)
Manejo de plagas y	Resistencia	Uso plantas resistentes	8-10: Procura identificar y reproducir plantas resistentes en su HF.	Estudio y selección de plantas para	(Díaz-Bautista, Herrera-Cabrera,

enferme- dades Factor de pondera- ción 0.15		tes a enferme- dades y plagas	4-7: De las semilla o plantas que introduce al HF procura averiguar si son resistentes y las características de su manejo. 0-3: No se preocupa o no sabe sobre la resistencia y características de las plantas que introduce.	mejorar resistencia y otras características.	Ramírez- Juárez, Aliphat- Fernán- dez, & Delgado- Alvarado y, 2008)
	Control de plagas y enferme- dades	Control por medios orgáni- cos	8-10: no utiliza controles con productos químicos en ningún caso, más bien productos naturales. 4-7: utiliza productos naturales, pero también productos químicos. 0-3: utiliza para todo problema de enfermedad o plaga productos químicos.	Productos químicos son agresivos con el ambiente, eliminan organismos benéficos, pueden afectar salud de las personas.	(Rosenf- eld, 2011)

Fuente: Elaboración propia.

Una vez cuantificadas las prácticas agroecológicas para cada huerto familiar, se sumaron los resultados para tener una puntuación con base 10 para cada sitio, la cual se usó para analizar la correlación con la cantidad de variedades de maíz que sembraron en cada predio, como parte de la agrobiodiversidad presente en los HF. Para valorar la hipótesis que señala la posible correlación entre las prácticas agroecológicas de los HF y la diversidad genética del maíz presente en cada sitio, se construyeron matrices de distancia genética y geográficas a las que se les aplicó un test de Mantel (Diniz-Filho *et al.*, 2013).

Se realizó un análisis de componentes principales de las prácticas agroecológicas evaluadas y las puntuaciones obtenidas por cada HF, para determinar cuáles prácticas fueron más significativas y las cercanías o no de los HF en su desempeño en prácticas agroecológicas.

4.5 Evaluación de la vulnerabilidad de *los HF*

Para la medición de la vulnerabilidad de los huertos familiares frente al potencial cambio climático y cambios socio-agrícolas en la zona, se creó un índice de

vulnerabilidad de los HF basado en la metodología desarrollada por FORECCSA y descrita por Salinas (2015) y se ajustó a las condiciones de este estudio. Los tres componentes de la vulnerabilidad (exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación) se dividieron en indicadores y se midieron según el criterio indicado (Cuadro 6).

Cuadro 6. Desglose de indicadores y variables para evaluar la vulnerabilidad de los huertos familiares de la Zona Norte Norte ante la variabilidad climática.

Componente	Indicador	Descripción	Variable	Forma calificación	Fuente
Exposición Factor de ponderación 0.45	Intensidad variabilidad climática	Proyección futura de la temperatura y precipitación en los tres cantones del estudio entre los períodos 1979-1998 y 2030-2049.	Diferencia en temperatura promedio	9-10: $\Delta +$ de 4 °C 7-8: Δ 3-4 °C 5-6: Δ 2-3 °C 3-4: Δ 1-2 °C 0-2: Δ 0-1°C	CATIE
			% variación en promedios mínimos y máximos precipitación	9-10: +20% 7-8: 15-20% 5-6: 10-15% 3-4: 5-10% 0-2: 0-5%	CATIE
			% variación en temperatura mínima y máxima	9-10: +20% 7-8: 15-20% 5-6: 10-15% 3-4: 5-10% 0-2: 0-5%	CATIE
			% variación en precipitación mínima y máxima	9-10: +40% 7-8: 30-40% 5-6: 20-30% 3-4: 10-20% 0-2: 0-10%	CATIE
Sensibilidad Factor de ponderación 0.45	Nivel socio-económico de la familia	Condiciones socio-económicas de la familia: nivel de ingreso y estado de la vivienda	Nivel de ingreso de la familia comparado con línea de pobreza	7-10: no pobre 5-6: vulnerable 3-4: Pobreza 0-2: Pobreza extrema	Entrevista dueño HF
			Condiciones de la vivienda	8-10: buena 4-7: regular 0-3: mala	Observación vivienda
	Dependencia productos de finca	Grado en el que la familia suple las necesidades alimenticias con finca	Percepción nivel de aporte de la finca a la familia	9-10: + 80% 6-8: 60-80% 3-5: 30-60% 0-2: 0-30%	Entrevista dueño HF
	Diversidad y prácticas	Calificación de las prácticas	Índice prácticas agroecológicas	Valor de Índice prácticas	Entrevista y

	agroecológicas	agroecológicas y calificación agrobiodiversidad		agroecológicas	observación campo
			Valor en Índice de Shannon	9-10: + 3 5-8: entre 2 y 3 0-4: - 2	Conteo de especies e individuos
Capacidad de Adaptación Factor de ponderación 0.1	Formación propietario HF	Nivel educativo y conocimiento sobre CC del propietario del HF.	Nivel de educación logrado	9-10: universitario 7-8: colegio 4-6: escuela 0-3: no educación	Entrevista dueño HF
			Percepción acceso a información sobre CC y sus efectos.	8-10: acceso regular a info. 4-7: poco acceso. 0-3: conoce sobre CC, pero sin acceso a info.	Entrevista dueño HF
	Continuidad familia en finca	Posibilidades de que algún miembro de la familia continúe el HF y la finca.	Percepción de que algún familiar de continuidad a la HF y finca una vez falte el propietario actual.	8-10: familia si va a continuar 4-7: dudoso de que continúen 0-3: seguro de que no van a continuar	Entrevista dueño HF
	Acceso a agua	Acceso a fuentes de agua y seguridad del abastecimiento	Fuentes de agua y satisfacción dueño HF con fuentes de agua	8-10: +2 fuentes y satisfecho 4-7: 1-2 fuentes y poco satisfecho 0-3: 1-2 fuente, insatisfecho	Entrevista y observación campo
	Apoyo institucional	Calificación del propietario sobre el apoyo que le dan las instituciones a su producción.	Satisfacción con apoyo de las instituciones	8-10: satisfecho apoyo 4-7: poco satisfecho 0-3: no satisfecho	Entrevista dueño HF

Fuente: elaboración propia.

Se complementó esta información con una entrevista a funcionarios del MAG de la región sobre apoyos que la institución está dando a los campesinos de la zona, así como entrevista a los dueños de los HF sobre las necesidades para mejorar su producción y seguir sembrando diversidad de cultivares.

Finalmente, con la información recolectada a lo largo de este trabajo, se elaboró una serie de recomendaciones con el fin de que los HF sigan siendo un lugar de agrobiodiversidad y conservación de recursos fitogenéticos útiles para las futuras generaciones y el maíz un producto central en la alimentación de las familias campesinas.

Capítulo IV

5 Resultados

5.1 Sistema productivo y agrobiodiversidad de los HF de la ZNN

Producto del trabajo de campo en los huertos familiares, esta sección muestrea los resultados sobre las características que presentan los agrosistemas, su análisis como sistema productivo y las interacciones de los elementos que lo conforman, y un análisis de su agrobiodiversidad por medio del Índice de Shannon.

5.1.1 Caracterización del agrosistema del huerto familiar de la ZNN

En los 14 sitios estudiados el promedio de área de la finca fue de 10.9 ha y la más grande es de 32 ha, por lo que pueden considerarse pequeños y medianos propietarios. Cinco dueños no identificaron el área de huerto familiar dentro de la finca. Aquellos dueños que lo hicieron en promedio el área del HF abarcó 0.9 ha en los alrededores de la casa principal. Por observación en los sitios fue claro que el área de HF no tuvo límites fijos, fue imprecisa. Los HF se ubicaron en terrenos bajos, donde predominó la zona de vida Bosque Húmedo Tropical (Cuadro 6).

En todos los casos la tenencia del terreno de la finca fue propia y diez de los 14 custodios fueron propietarios hace 23 años o más, por lo que fueron sitios muy consolidados por el trabajo invertido por la familia. Los dueños de los huertos familiares analizados se identificaron como campesinos y en promedio tuvieron una edad de 55.7 años y diez tuvieron nivel educativo de primaria, tres no estudiaron y solo 1 tuvo secundaria. Los hogares estaban integrados por un promedio 5.3 personas, que cubrieron una parte de sus necesidades alimenticias con la producción de la finca y el huerto familiar: 6 reportaron cubrir entre un 60-80% y 8 apenas de 30-60% de sus necesidades alimenticias, por lo que una parte importante de la producción fue dedicada a autoconsumo familiar, pero tuvieron

que generar recursos económicos para comprar otra parte de la alimentación familiar. En el Cuadro 7 están algunas de las características generales de los huertos familiares estudiados y en el Anexo 2 está la información completa suministrada por los propietarios de los huertos familiares.

Cuadro 7. Características de los huertos familiares estudiados en la Zona Norte Norte y sus dueños.

Id. HF	Área finca (ha.)	Área HF (ha.)	Altitud (msnm)	Zona de vida	Años tenencia finca	Edad propietario (años)	Nivel educativo propietario	Número miembros familia	% necesidades alimenticias cubiertas*
UP 1	2	1,5	120	BMHP	2	58	sin educ.	4	60-80
UP 2	18	2	48	BHT	35	60	primaria	8	30-60
UP 3	12	n.d.	55	BHT	47	69	primaria	8	30-60
UP 4	12	0,5	55	BHT	38	45	primaria	8	30-60
GU 1	7	0,5	109	BHT	30	69	primaria	7	30-60
GU 2	5,5	n.d.	89	BHT	23	45	primaria	8	30-60
GU 3	5	n.d.	267	BPMB	28	53	primaria	3	30-60
GU 4	8	n.d.	93	BMHP	30	54	primaria	6	60-80
GU 5	4,6	0,3	85	BMHP	8	55	primaria	2	60-80
CH 1	32	0,5	51	BHT	24	38	secundaria	5	30-60
CH 2	3,5	1,5	120	BHT	25	62	sin educ.	1	30-60
CH 3	25	n.d.	35	BHT	33	75	sin educ.	5	60-80
CH 4	13	0,25	69	BHT	15	40	primaria	3	60-80
CH 5	5	1	122	BHT	20	57	primaria	6	60-80

Notas: n.d.= no diferencia área de huerto familiar dentro de la finca. BHT=Bosque Húmedo Tropical.

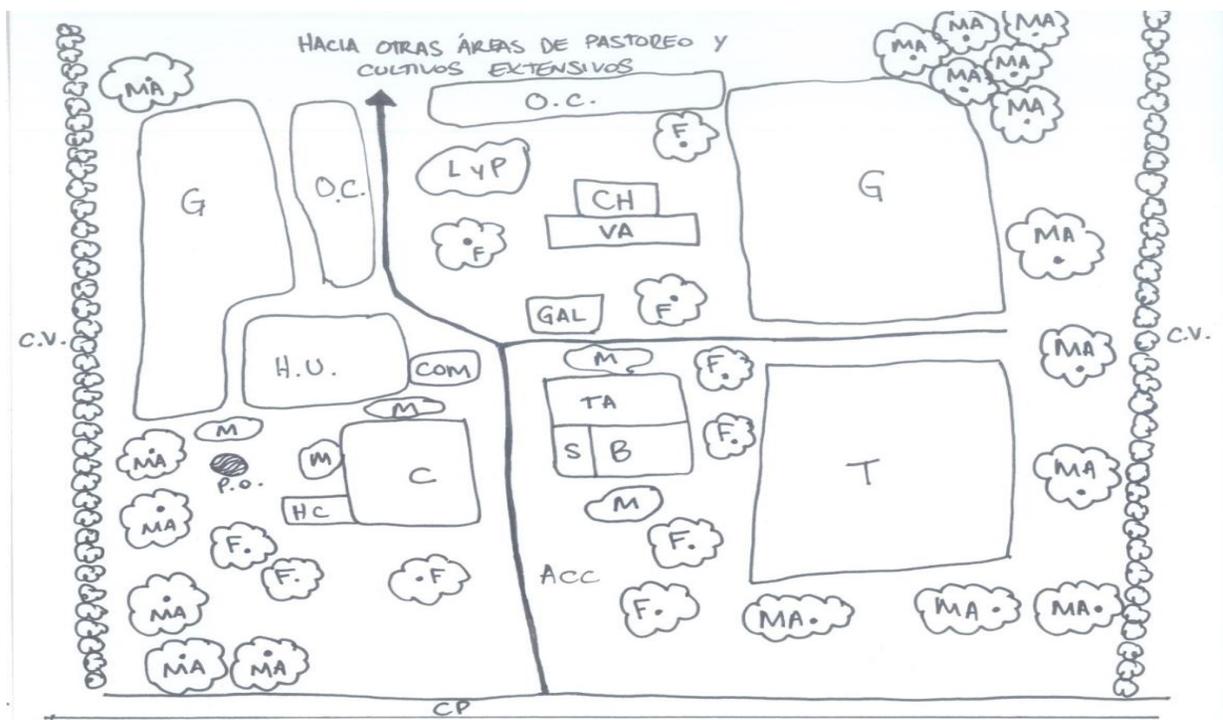
BMHP=Bosque Muy Húmedo Premontano. BPMB= Bosque Pluvial Montano Bajo.

*Necesidades alimenticias de la familia cubiertas por el huerto familiar y la finca.

Fuente: Elaboración propia.

Los dueños de los HF entrevistados planifican muy poco el área del huerto, los elementos presentes y su relación, también es notoria la falta de registros de siembra y producción. En cuanto a los elementos construidos presentes en 9 ó más de los 14 huertos familiares están: casa, taller, bodega, cocina de leña, área para conservar semillas, compostera, huerta de hortalizas, pozo de agua, gallinero, chanchera, establo para vacas, laguna para peces, cercas vivas y caminos internos.

Con esta información y la visualización de los elementos distribuidos en cada sitio, lograda en la visita de campo, se elaboró una representación o croquis de la distribución de los elementos más comunes encontrados en un huerto familiar “típico” de la ZNN, el cual se representa en el Figura 3. Se observó que la casa es el centro de la actividad principal de la familia; a su alrededor se instalan elementos que apoyan el trabajo de la familia y que tienen un uso intensivo, como son: el taller, la bodega, el horno y cocina de leña, el pozo de agua, almacén de semillas y la compostera. También, cerca de la casa está la huerta de hortalizas, para facilitar su uso frecuente en la cocina.



Abreviaturas: Construido: C=casa, HC=horno y cocina de leña, PO=pozo agua, TA=taller, B=bodega, S=secado y conservación de semillas, COM=compostaje, ACC=acceso y camino interno, CP=calle pública. Productos vegetales: G=granos (promedio 6.8 variedades), T=tubérculos (promedio 4.5 variedades), M=medicinales (promedio 6.1 variedades), OC=otros cultivos (promedio 4 variedades), HU=Huerta. Árboles: CV=cerca viva (poro, madero negro), F=frutales (promedio 9.3 variedades), MA=maderables. Animales: GAL=gallinero, CH=chanchera, VA=establo y vacas, LYP=laguna y peces. Promedio área huerto familiar: 0.96 Ha.

Información recolectada: Guido Barrientos. Artes: Mario Espinoza.

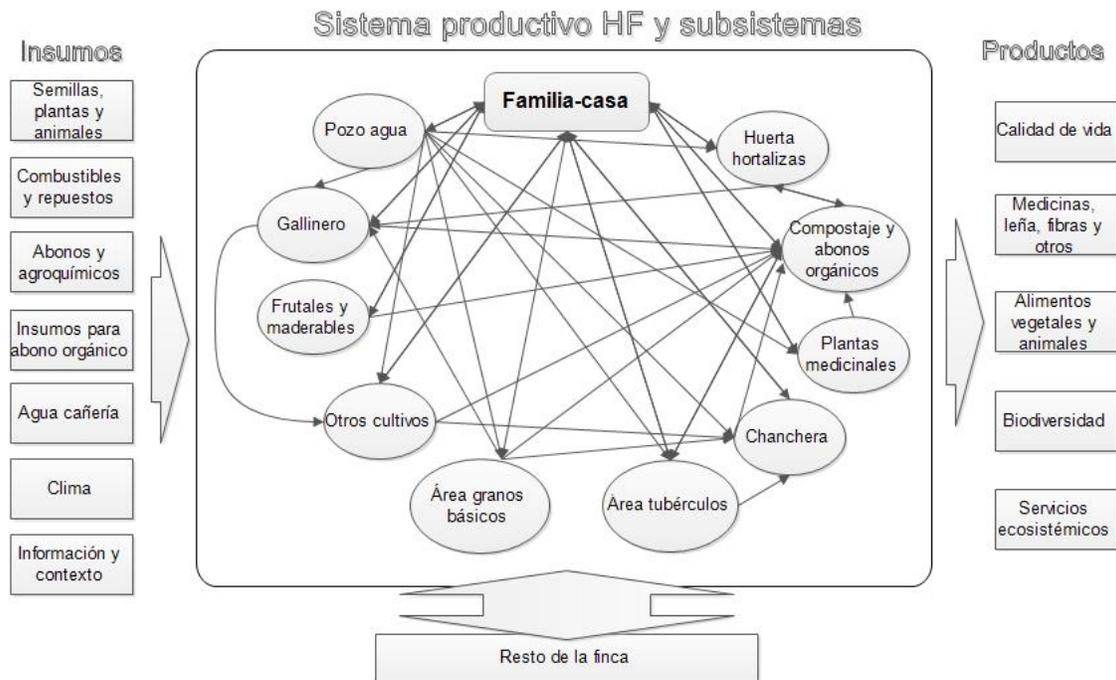
Figura 3. Elementos más comunes y su distribución en un huerto familiar “típico” de la Zona Norte Norte.

Se observó que las plantas que más utilizan en la alimentación de la familia, las siembran en parches dispersos alrededor de la casa, de diferentes dimensiones, por ejemplo plantas medicinales, culinarias y árboles frutales. Un poco más alejado de la casa están las áreas que complementan los productos para el autoconsumo, como el gallinero, la chanchera, el establo, la laguna con peces y las áreas de cultivo de granos, los tubérculos y otros, así como algunos árboles maderables. Los cultivos de granos básicos y tubérculos se pueden extender más allá del área del HF, pues son utilizados para autoconsumo y venta, por esta razón, los productores procuran extender el área productiva de estos cultivos al máximo posible. Aún más alejado de la casa y fuera del área de HF está el resto de la finca, donde están las áreas de pastoreo y cultivos extensivos, cuyos productos son normalmente destinados al mercado para proveer ingresos a la familia.

5.1.2 Huerto Familiar como sistema productivo

Analizados los HF como sistemas productivos, presentaron un conjunto de insumos, que son procesados por una serie de subsistemas internos y dan como resultado productos de salida. La Figura 4 muestra la relación entre los componentes del sistema productivo observados en los HF de la ZNN.

Los insumos que recibe el sistema productivo son: semillas, plantas y animales traídos al sitio por el dueño o su familia, abono químico y agroquímicos que prácticamente todos declararon utilizarlos, materiales para elaborar el abono orgánico, que no tienen en la finca, y concentrado para animales. Los entrevistados señalan que el agua vía cañería es importante para el uso familiar, regadío de cultivos y para los animales, así como los combustibles y repuestos para el funcionamiento de motores y herramientas de trabajo en el campo y el taller. Otro insumo fue la información y asesoría de instituciones recibida por la familia para desarrollar el HF, que influye en el sistema productivo y en las decisiones de sus propietarios.



Nota: elementos y sus relaciones en el sistema observado en la mayoría de huertos familiares visitados.

Fuente: elaboración propia

Figura 4. Esquema del sistema productivo huerto familiar “típico” de la Zona Norte Norte, subsistemas e interrelaciones.

A lo interno del sistema productivo hay un conjunto de subsistemas y sus interrelaciones. En el centro está la familia, que toma las decisiones sobre qué hacer en el HF y aporta la mano de obra a todos los subsistemas. El pozo de agua abastece a la familia y subsistemas productivos. La huerta produce una variedad de plantas comestibles y requiere presencia constante de la familia para deshierbar, control de insectos, abono y cosecha; sus desechos son llevados a la compostera y a su vez la huerta es uno de los destinos principales del abono orgánico. Los subsistemas de plantas medicinales y frutales, están dispersos alrededor de la casa, reciben poco abono, sus productos son para la familia y el excedente lo aprovechan gallinas, chanchos, otros animales y lo que sobra, para producir abono orgánico.

Los subsistemas gallinero y chanchera son fuente importante de proteína para la familia, aportan sus desechos para la compostera o directamente en las áreas de cultivo como abono orgánico; su alimentación con concentrado es complementada con diversos productos de la finca. Los subsistemas que ocupan áreas más grandes son los granos básicos y tubérculos, que consumen la mayor parte de abono orgánico o químico, así como otros agroquímicos para control de plagas y enfermedades. Sus desechos son aportados a la compostera o dejados en el suelo para su incorporación. Normalmente estos cultivos se extienden a otras partes de la finca, y se da un fuerte intercambio de productos y servicios entre el HF y el resto de la finca.

Los productos que suministra el agroecosistema HF son principalmente alimentos vegetales y de origen animal, tanto para la familia como para el mercado, medicina natural, leña para la cocina y horno, materiales para construcción, biodiversidad y servicios ecosistémicos (paisaje, limpieza del agua y aire puro); todo esto le da calidad de vida a la familia.

5.1.3 Riqueza de especies y diversidad en huertos familiares de la ZNN

En el Cuadro 8 están la cantidad de variedades de cultivos y animales que componen la agrobiodiversidad en los huertos familiares. Se destacan la variedad de granos, frutales y medicinales, que muestran una riqueza de especies conviviendo en el espacio del HF y que contribuyen a la biodiversidad. La cantidad de productos vegetales y animales aprovechables (no es la totalidad de especies) en los HF estudiados oscila entre 21 y 56, con un promedio de 36.4, lo que representa una importante cantidad y variedad de productos para el autoconsumo familiar.

Cuadro 8. Riqueza de agrobiodiversidad presente en los huertos familiares de la Zona Norte Norte (número de variedades presentes en cada huerto familiar).

Id. H.F.	Granos	Tubérculos	Frutales	Medicinales	Otros cultivos	Animales	Productos aprovechables	Índice de Shannon
UP 1	8	8	10	3	4	3	36	2.77
UP 2	11	4	9	8	7	4	43	1.59
UP 3	7	3	4	4	2	1	21	2.90
UP 4	6	5	6	3	5	4	29	1.92
GU 1	8	5	11	7	6	3	40	2.47
GU 2	5	3	7	2	3	3	23	1.56
GU 3	3	3	9	9	3	3	30	2.04
GU 4	5	3	6	3	5	4	26	1.58
GU 5	5	4	27	8	8	3	55	2.59
CH 1	6	5	9	5	0	4	29	1.84
CH 2	10	7	18	11	5	5	56	3.10
CH 3	6	4	5	3	4	1	23	1.70
CH 4	6	4	13	12	4	4	43	1.84
CH 5	11	4	13	20	4	3	55	2.78
Promedio	6.9	4.4	10.5	7.0	4.3	3.2	36.4	2.19

Fuente: elaboración propia.

Hay que señalar que según lo observado en los HF, solo los granos básicos, los tubérculos y el cacao tienen una cantidad importante de individuos de cada cultivar, mientras que las plantas medicinales y frutales están representados con muy pocos individuos, lo que da una predominancia de algunas especies; esto reduce la equidad entre las especies y afecta la medición de la agrobiodiversidad.

El promedio en el índice de Shannon de los 14 HF fue de 2.2, que muestra una diversidad media, pero importante riqueza de especies. Con alta diversidad solo se identificó el HF identificado como CH 2 (valor 3.1). Seis huertos familiares obtuvieron valores entre 2 y 3, que sugieren agrobiodiversidad intermedia y siete sacaron calificaciones menores de 2, que implican baja diversidad.

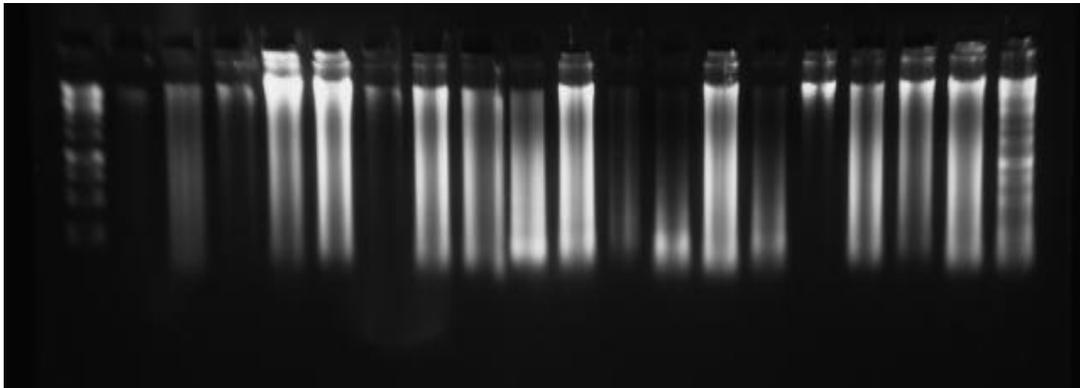
5.2 Caracterización genética de las accesiones de maíz

En esta sección se detallan los resultados del análisis genético hecho a las accesiones de maíz, así como los indicadores genéticos intra y entre poblaciones.

Se construyó un dendrograma que muestra las relaciones entre las poblaciones de maíz.

5.2.1 Validación extracción ADN

De las 15 poblaciones recolectadas por el proyecto interuniversitario en los huertos familiares de la ZNN, se pudieron analizar 14 accesiones, pues la accesión de la población UNA-1086 no germinó, posiblemente porque fueron recolectadas inmaduras, por lo que no fue parte del estudio. Luego de la extracción del ADN de los mesocotilos de cada accesión, la calidad del ADN resultante se probó en agarosa, las muestras generaron una banda luminosa (Figura 5).



Nota: en los extremos están las escaleras de 1000 pb.

Figura 5. Visualización por medio de electroforesis en geles de agarosa al 1% del ADN extraído a partir de mesocotilo de accesiones de maíz criollo y comercial.

5.2.2 Selección y utilización de marcadores SSR

De los 20 marcadores microsatélites que se probaron, para la caracterización genética en las accesiones de maíz criollo y comercial, los cebadores que brindaron la mayor claridad de lectura, detección de polimorfismo y por lo tanto la mayor calidad informativa fueron bngl 1191, bngl 1194, bngl 1265, bngl 1740, bngl 1890 y phi 109188.

En el Cuadro 9 están los rangos de pares de bases reportados en la literatura y el rango de pares de bases detectado en este estudio, así como la cantidad de alelos por locus de cada marcador tipo SSR utilizado. En total se detectaron 55 alelos para las 19 accesiones estudiadas, siendo los marcadores bngl 1191 y bngl 1740 los que muestran mayor cantidad de alelos por locus. Asimismo los valores de PIC son superiores a 0.6 en todos los marcadores, por lo que muestran ser muy informativos.

Cuadro 9. Marcadores tipo SSR utilizados para la caracterización genética de las accesiones de maíz de la Zona Norte Norte y comercial.

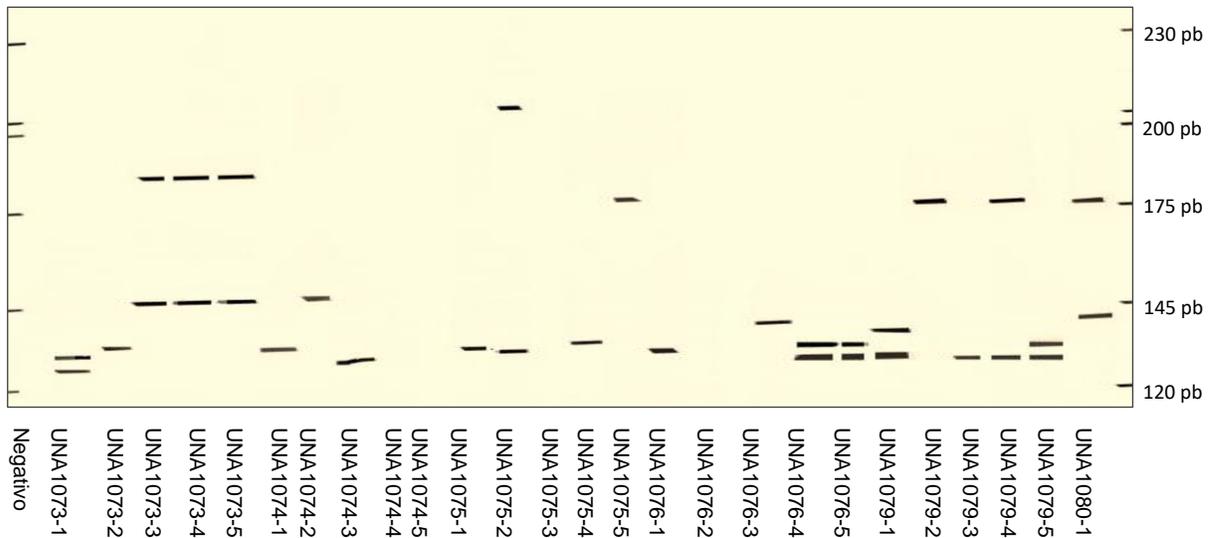
Marcador	Rango pares de bases reportado	Referencia	Rango pares de bases observado	Alelos en el locus	PIC**
bngl 1191	180-250	Mazedb*	164-255	11	0.76
bngl 1194	130-180	Mazedb*	141-251	8	0.61
bngl 1265	200-250	Mazedb*	203-274	9	0.88
bngl 1740	120-140	Loáisiga, 2011	107-193	10	0.65
bngl 1890	140-175	Loáisiga, 2011	123-204	9	0.63
phi 109188	148-174	Jiménez, 2014	157-188	8	0.81

*Maize Genetics and Genomics Database en <http://www.maizegdb.org/>

**Contenido de Información Polimórfica

Fuente: Elaboración propia.

Como el maíz es diploide (2n), en cada locus se localizan uno (homocigota) o dos (heterocigota) alelos, el tamaño de los pares de bases de referencia los alelos. La visualización de las bandas de los alelos en poliacrilamida (ejemplo en Figura 6) de los cinco individuos de cada accesión, que produjo cada marcador SSR en las accesiones estudiadas y su cuantificación con el programa Cross Checker permitió hacer el análisis genético dentro y entre poblaciones en el apartado siguiente.



Nota: la imagen fue invertida de posición y color, y mejorada su visualización con GIMP, a los lados están las escaleras que indican las pares de bases (pb). Se incluyen los 5 individuos de cada accesión.

Figura 6. Visualización de bandas (alelos) de las accesiones de maíz UNA-1073, UNA-1074, UNA-1075, UNA-1076 y UNA-1079 con el marcador ungl 1740.

5.2.3 Análisis genético intrapoblacional

El Cuadro 10 muestra los valores resultantes del procesamiento de los datos intrapoblacionales. La riqueza alélica de las 19 accesiones estudiadas se visualizó a través de los 55 alelos encontrados con los 6 loci explorados; valores de Alelos Diferentes (N_a) se ubican entre 4.5 y 2.8, con mayor cantidad en las accesiones: UNA-1083, UNA-1082 y UNA-1073; y las más bajas en las poblaciones: Maíz Dulce, H1, Maíz Palomero y UNA-1088. El promedio de N_a de todas las accesiones, considerando el error estadístico, fue 3.51 ± 0.11 , y los valores de todas las accesiones comerciales fueron menores al promedio, excepto la población H2, mientras que la mayoría de las accesiones recolectadas en los HF tuvieron valores iguales o mayores al promedio, excepto las poblaciones: UNA-1976, UNA-1081 y UNA-1090, UNA-1075 y UNA-1088.

Los valores de Alelos Efectivos (N_e) mostraron un resultado similar, oscilando entre 3.6 y 2.4. Los valores mayores se dieron en las poblaciones UNA-1083, UNA-1082, UNA-1089 y UNA-1087 y las accesiones con valores menores fueron:

UNA-1088, Maíz Dulce y Maíz Palomero. El promedio general fue de $2,86 \pm 0,09$ alelos efectivos, en las accesiones de los HF nueve mostraron resultados mayores al promedio, así como la población H2, mientras que las accesiones que estuvieron por debajo del promedio fueron: UNA-1090, UNA-1075, UNA-1079, UNA-1081 y UNA-1088.

Para las accesiones de las poblaciones estudiadas el porcentaje de polimorfismo (%P) fue del 100% para todas la poblaciones, excepto en las poblaciones UNA-1084 y H1. El promedio general de polimorfismo fue de $97.37 \pm 1.43\%$.

Cuadro 10. Índices cuantitativos de la diversidad genética intrapoblacional, promedio de los loci de las accesiones estudiadas con 6 marcadores SSR.

Accesiones	N	Na	Ne	I	Ho	He	%P
Criollas							
UNA-1073	5.000 (0.0)	4.000 (0.447)	3.034 (0.413)	1.201 (0.111)	0.300 (0.068)	0.647 (0.036)	100.00%
UNA-1074	4.000 (0.447)	3.500 (0.224)	2.911 (0.168)	1.142 (0.047)	0.122 (0.058)	0.651 (0.020)	100.00%
UNA-1075	4.667 (0.333)	3.167 (0.307)	2.775 (0.311)	1.041 (0.118)	0.167 (0.109)	0.608 (0.060)	100.00%
UNA-1076	4.333 (0.211)	3.333 (0.333)	2.926 (0.367)	1.087 (0.135)	0.242 (0.092)	0.619 (0.064)	100.00%
UNA-1079	4.667 (0.211)	3.500 (0.563)	2.656 (0.413)	1.024 (0.177)	0.208 (0.104)	0.564 (0.079)	100.00%
UNA-1080	4.500 (0.342)	3.833 (0.307)	3.198 (0.234)	1.232 (0.076)	0.325 (0.128)	0.678 (0.027)	100.00%
UNA-1081	5.000 (0.0)	3.333 (0.494)	2.546 (0.378)	0.987 (0.149)	0.233 (0.109)	0.560 (0.066)	100.00%
UNA-1082	4.833 (0.167)	4.167 (0.307)	3.438 (0.413)	1.295 (0.099)	0.217 (0.111)	0.686 (0.039)	100.00%
UNA-1083	4.833 (0.167)	4.500 (0.428)	3.588 (0.394)	1.352 (0.107)	0.283 (0.075)	0.703 (0.035)	100.00%
UNA-1084	4.500 (0.500)	3.500 (0.563)	2.944 (0.495)	1.057 (0.226)	0.233 (0.095)	0.570 (0.118)	83.33%
UNA-1087	4.667 (0.333)	3.667 (0.333)	3.260 (0.192)	1.222 (0.069)	0.500 (0.134)	0.688 (0.019)	100.00%
UNA-1088	4.167 (0.654)	3.000 (0.516)	2.210 (0.349)	0.833 (0.195)	0.183 (0.075)	0.471 (0.104)	100.00%

UNA-1089	4.333 (0.494)	3.833 (0.749)	3.268 (0.648)	1.169 (0.184)	0.175 (0.063)	0.643 (0.055)	100.00%
UNA-1090	4.667 (0.333)	3.333 (0.333)	2.727 (0.280)	1.062 (0.096)	0.133 (0.067)	0.614 (0.038)	100.00%
Comerciales							
H1	4.667 (0.333)	3.000 (0.632)	2.632 (0.503)	0.904 (0.233)	0.200 (0.089)	0.517 (0.117)	83.33%
H2	4.667 (0.211)	3.833 (0.749)	3.178 (0.568)	1.145 (0.198)	0.333 (0.080)	0.624 (0.071)	100.00%
H3	5.000 (0.0)	3.333 (0.494)	2.470 (0.424)	0.940 (0.185)	0.267 (0.042)	0.520 (0.092)	100.00%
Maíz Dulce	4.833 (0.167)	2.833 (0.401)	2.272 (0.379)	0.854 (0.146)	0.200 (0.126)	0.506 (0.067)	100.00%
Maíz Palomero	5.000 (0.0)	3.000 (0.365)	2.396 (0.296)	0.925 (0.126)	0.333 (0.143)	0.547 (0.059)	100.00%
Total	4.649 (0.072)	3.509 (0.107)	2.865 (0.091)	1.078 (0.034)	0.245 (0.022)	0.601 (0.016)	97.37% 1.43%

Notas:

Los valores son el promedio de los 5 individuos de cada accesión.

Los números entre paréntesis son el error estadístico.

N = promedio individuos de cada accesión que generó bandas.

Na = número de alelos diferentes

Ne = Número de alelos efectivos

I = Índice de Shannon

Ho = heterocigosidad observada

He = heterocigosidad esperada

%P = porcentaje de polimorfismo

En cuanto a la heterocigosidad esperada y observada para medir la diversidad genética, se obtuvo un promedio general de las accesiones estudiadas de He de 0.601 ± 0.016 , mientras que la Ho fue de 0.245 ± 0.022 . Las accesiones de las poblaciones que tuvieron mayor He fueron: UNA-1083, UNA-1087, UNA-1082, UNA-1080 y las que tuvieron menor He son: UNA-1088, Maíz Dulce, H1 y H3. Mientras que la Ho con mayores valores fueron las poblaciones: UNA-1087, UNA-1080 y H2, así como las que reportan menor Ho son: UNA-1090, UNA-1074, UNA-1075 y UNA-1089.

Sobre la diversidad genética señalada por el índice de Shannon, el promedio general en este índice fue 1.078 ± 0.034 , baja diversidad, y osciló entre 1.35 y 0.9.

Las accesiones de las poblaciones que muestran valores mayores fueron: UNA-1083, UNA-1082 y UNA-1080, mientras los que tienen valores menores fueron: UNA-1988, Maíz Dulce y H1.

Las accesiones UNA-1087 y UNA-1080 muestran valores altos en H_e y H_o , además la accesión UNA-1080 también muestra un valor alto en el Índice de Shannon, que sugiere una diversidad genética alta, que sobresale en el grupo estudiado.

5.2.4 Análisis genético interpoblacional

En el Anexo 5 se muestra el valor de la distancia genética de Nei del emparejamiento de las accesiones estudiadas. Se observó que las accesiones de maíz de los HF tienen un rango mayor (0.26-1.61) en distancia genética, que las accesiones comerciales (0.44-1.57). En general las mayores distancias genéticas se dieron con las accesiones H3 y H1. En el caso de las accesiones de maíz tomadas de los HF, la menor distancia genética se registró entre UNA-1075 y UNA-1076 (0.259) y la mayor distancia genética entre UNA-1080 y UNA-1089 (1.608). Y entre las accesiones de maíz comercial la menor distancia genética se dió entre H1 y H2 (0.436) y la mayor distancia genética entre H3 y Maíz Palomero (1.574).

La Figura 7 muestra el dendrograma de las accesiones estudiadas, donde se observa la forma en que se agruparon y las distancias genéticas entre ellas, lo que permitió separarlas en dos grandes grupos. En el Grupo 1 se ubicaron siete accesiones: UNA-1073, UNA-1090, UNA-1087, UNA-1084, UNA-1089, Maíz Palomero (MP) y UNA-1088. Y dentro de este grupo hay un subgrupo, formado por las variedades UNA-1084, UNA-1089 y MP, que genéticamente está bastante cerca entre sí.

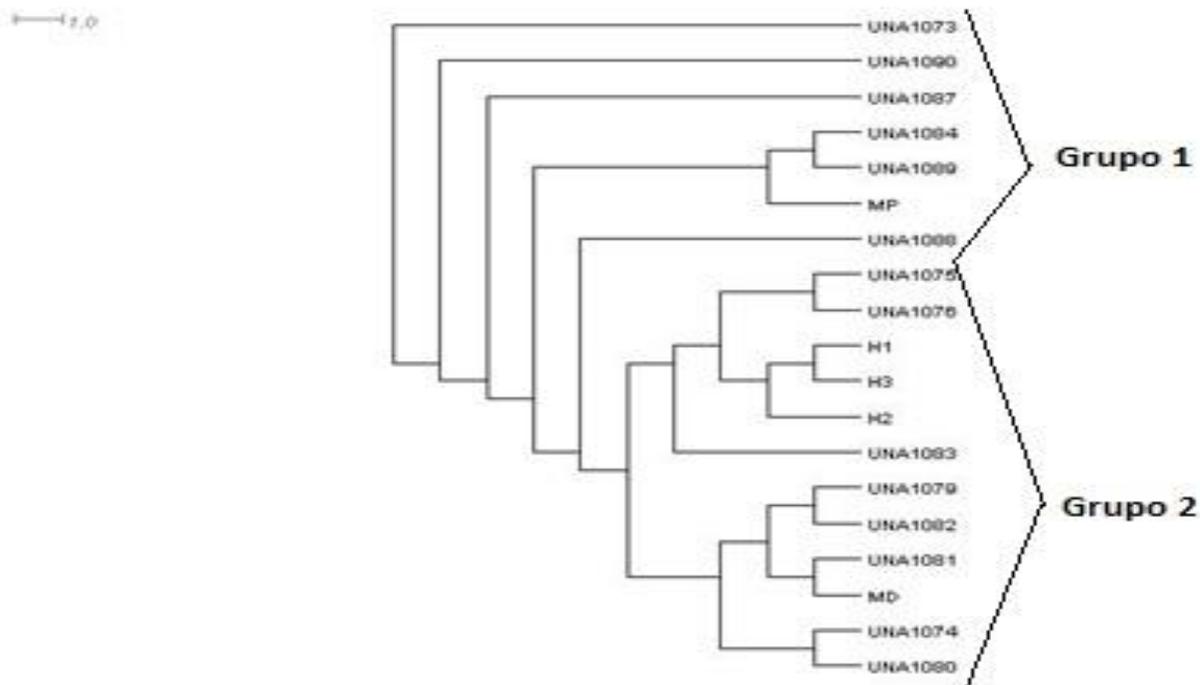


Figura 7. Dendrograma filogenético de las accesiones de maíz estudiadas en los HF de la ZNN y las variedades comerciales (MP, H1, H2, H3 y MD).

Este primer grupo es diverso en el color (3 amarillos, 3 blancos y 1 negro) y tamaño de los granos (Cuadro 11) y lo integran los maíces que los agricultores llaman criollo amarillo, enano blanco, enano amarillo, congo y redondo. En particular el congo (UNA-1087) mostró alto H_e y H_o .

El resto de las accesiones se ubica en el Grupo 2, en total son 12 accesiones de las cuales 9 de color blanco y 7 son de tamaño grande y, a su vez, este grupo se divide en dos subgrupos. El primer subgrupo lo formaron las variedades UNA-1075, UNA-1076, H1, H3, H2 y UNA-1083, incluye los híbridos suministrados por el CIMMYT muy cercanos entre sí y los identificados con el nombre común de pujagua (UNA-1075) y el maicena (UNA-1076). En el Anexo 6 hay dos representaciones diferentes del dendrograma, con base en ellas se observó que este subgrupo cuenta con las accesiones con las mayores distancias genéticas, donde destaca el híbrido H3 por ser la accesión más alejada genéticamente de las accesiones estudiadas.

Y el segundo subgrupo está formado por seis accesiones de maíz, que muestran mayor cercanía por parejas: UNA-1079 con UNA-1082, UNA-1081 con Maíz Dulce y UNA-1074 con UNA-1080. Este subgrupo incluye los maíces con el nombre común de maizon, nutrigrano, maíz dulce y punta de diamante, que los dueños de los HF reportaron conseguir en el comercio local.

Cuadro 11. Características de los granos de las variedades de maíz sembradas en los Huertos Familiares de la Zona Norte Norte y comerciales.

Identificación en colección UNA	Nombre común	Color grano	Tamaño grano *	Uso principal señalado por dueños HF	Cantidad HF que lo siembran
UNA 1073	Amarillo criollo	Amarillo	mediano	Autoconsumo y venta	1
UNA 1074	Nutrigrano	Amarillo	mediano	Alimento animales	2
UNA 1075	Pujagua	Morado	mediano	Autoconsumo y alimento animales	6
UNA 1076 UNA 1079	Maiceno o maicena	Blanco	pequeño	Alimento animales	10
UNA 1080	Blanco punta diamante	Blanco	grande	Autoconsumo y venta	6
UNA 1081	Blanco tuza morada	Blanco	mediano	Autoconsumo y venta	1
UNA 1082	Maizón híbrido	Blanco	grande	Autoconsumo y venta	7
UNA 1083	Híbrido elote	Blanco	grande	Autoconsumo y venta	4
UNA 1084	Amarillo híbrido	Amarillo	mediano	Autoconsumo y venta	6
UNA 1087	Conga o Negro	Negro	grande	Autoconsumo	3
UNA 1088	Enano amarillo	Amarillo	mediano	Alimento animales y venta	3
UNA 1089	Redondo	Blanco	grande	Autoconsumo y venta	1
UNA 1090	Enano blanco	Blanco	pequeño	Alimento animales y venta	4
na	Maíz Dulce	Amarillo	pequeño	Autoconsumo y venta	2
na	Maíz Palomero	Blanco	pequeño	na	na
na	H1	Blanco	grande	na	na
na	H2	Blanco	grande	na	na
na	H3	Blanco	grande	na	na

Nota: na significa que no aplica.

*El tamaño del grano se determinó por comparación entre las muestras recolectadas.

En la Figura 8 se ilustra el análisis por componentes principales de la diversidad genética de las accesiones estudiadas. En este caso se ajustaron los resultados a

dos dimensiones para representar gráficamente las relaciones genéticas entre las poblaciones estudiadas. Estos dos ejes explicaron el 40.6% de la variabilidad observada entre las poblaciones.

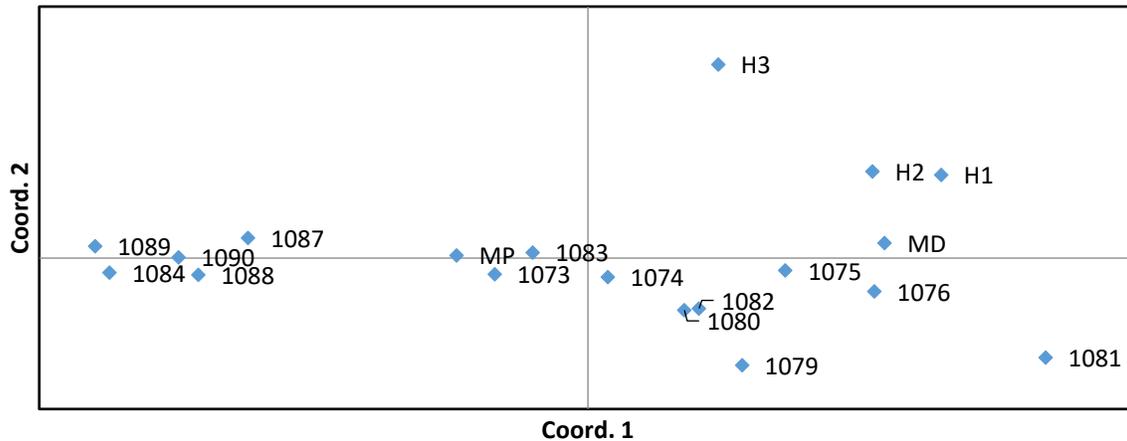


Figura 8. Análisis de las dos coordenadas principales de variabilidad genética en las 19 accesiones estudiadas, colectadas en huertos familiares de la ZNN y el comercio, basado en 6 marcadores SSR.

Se observó que las accesiones tomadas en los HF están ampliamente distribuidas a lo largo de la coordenada 1 (eje X), las accesiones comerciales están más agrupadas en el cuadrante derecho superior, con excepción de la población de maíz palomero (MP), que forma parte del Grupo 1 del dendrograma. La accesión del híbrido H3 se observa más alejada del grupo, con mayor distancia genética, consecuente con lo observado en los dendrogramas A y B del Anexo 6.

En la Figura 9 se observa el resultado del análisis AMOVA, que determina el origen de la variabilidad encontrada entre las accesiones del estudio. La variabilidad entre individuos sustenta la mayor parte de la diversidad observada (59%), seguida por la variabilidad a lo interno de los individuos (27%), una parte pequeña de la variabilidad se origina entre accesiones (10%) y entre el grupo de accesiones criollas y el grupo de accesiones comerciales (4%).

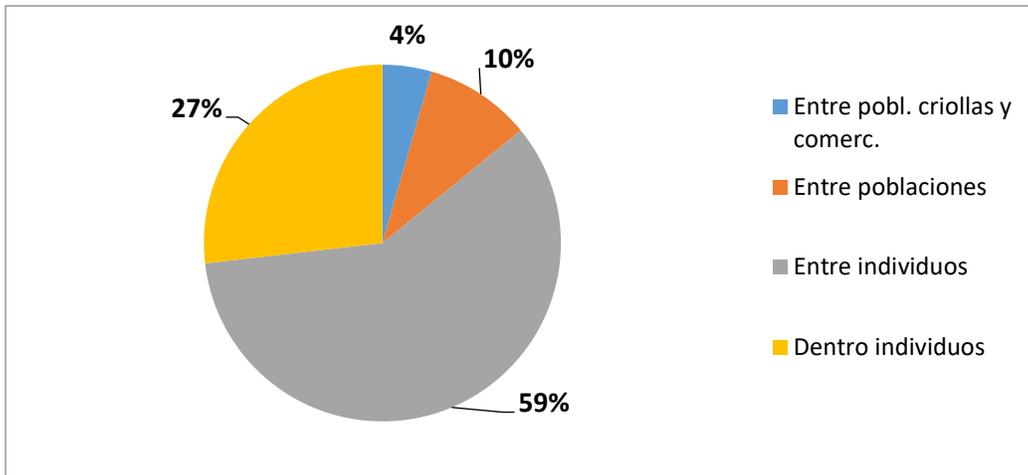
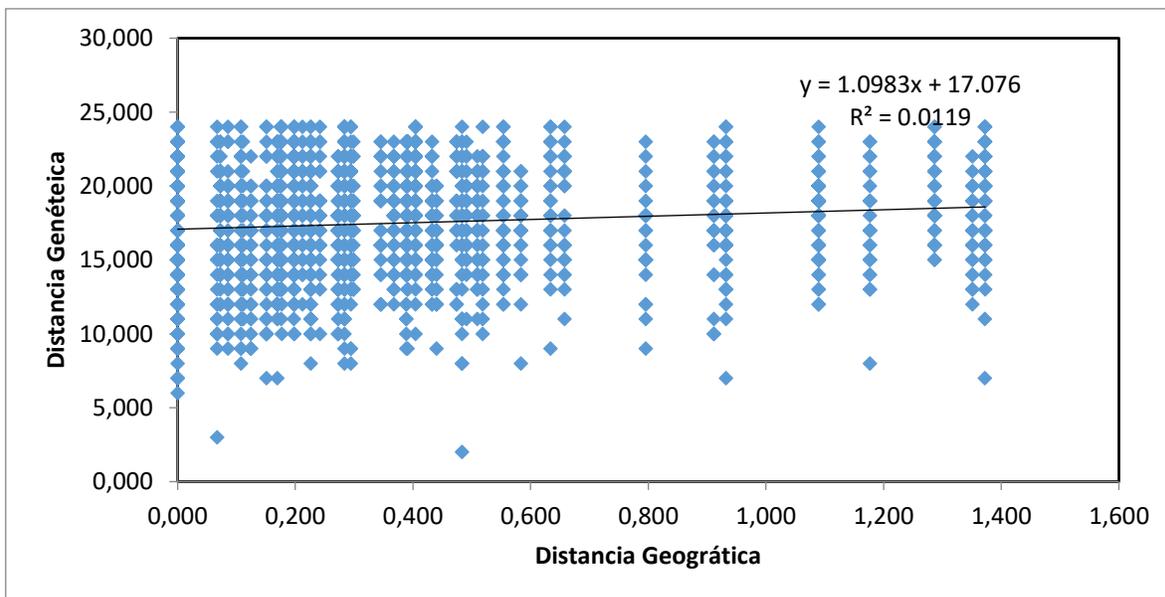


Figura 9. Porcentajes de variabilidad molecular encontrada en las 19 accesiones de *Zea mays* estudiadas de huertos familiares de la Zona Norte Norte y comercio, basada en 6 marcadores SSR polimórficos.

Al analizar la relación de la distancia geográfica con la distancia genética entre las accesiones de maíz colectadas en los HF, vemos en la Figura 10 que la pendiente es casi sin inclinación (1.01x), y con una R^2 muy baja (0.012), por lo que no es significativa la relación entre estas dos características.



Nota: cada punto es una accesión de las poblaciones de maíz tomadas en los HF.

Figura 10. Relación entre la distancia genética y la distancia geográfica de 14 accesiones *Zea mays* estudiadas en huertos familiares de la Zona Norte Norte con 6 marcadores SSR.

5.3 Prácticas agroecológicas en los huertos familiares de la Zona Norte

En esta sección se anotan los resultados de la medición de las prácticas agroecológicas en los huertos familiares, los promedios de las dimensiones analizadas y la relación entre la biodiversidad y el índice de prácticas agroecológicas.

5.3.1 Valoración general de las dimensiones de las prácticas agroecológicas

El promedio general de los 14 huertos familiares en sus prácticas agroecológicas fue de 5.9 (Cuadro 12). Los HF que sacaron mayor puntaje en el índice fueron UP1 (8.5) y CH2 (8.0), mostraron una la mejor puntuación en biodiversidad, 10 y 8.7 respectivamente, determinada por la presencia de leñosas y productos aprovechables en los sitios (ambos calificados con 10 en los dos HF), también en manejo y calidad del suelo tuvieron la mejor puntuación (9 y 8.3 respectivamente).

Les sigue de cerca el HF UP2, que en manejo y calidad del suelo tuvo un 6.7, pero en biodiversidad un 8.0 y en reciclaje de nutrientes un 9.5, lo que le permitió en la puntuación final llegar a 7.5. De las visitas de campo, los huertos familiares UP1, CH2 y UP2 mostraron diversidad de cultivos, cobertura del suelo, abundancia de leñosas.

Los HF que sacaron los puntajes más bajos en el índice de prácticas agroecológicas fueron: CH4 (4.8), UP3 (4.7), GU2 (4.4) y CH3 (4.0). Presentaron en la dimensión reciclaje de nutrientes puntuaciones medias (7.0, 6.0, 6.5, 3.0 respectivamente), en manejo del suelo puntuaciones medias bajas (5.3, 4.7, 4.0 y 5.0 respectivamente), en biodiversidad puntuaciones bajas (4.0, 4.3, 4.0, 3.7 respectivamente), y muy bajas en la dimensión de manejo de plagas y enfermedades (3.0, 4.5, 4.0, 3.0 respectivamente). En la visita de campo se observó que eran sitios con poca presencia de leñosas, mucho suelo desnudo y donde predominaban muy pocos cultivos.

La dimensión que resultó mejor calificada en el grupo de HF estudiados fue reciclaje de nutrientes, con un promedio de 6.68, por el uso frecuente en los HF de diversos tipos de abonos orgánicos y el uso de materiales locales en su elaboración.

La dimensión de Biodiversidad en los HF tuvo en promedio un 6.24, donde contribuyó la agrobiodiversidad, por la variedad de productos aprovechables de origen vegetal y animal que producen, tanto para autoconsumo como para venta. El manejo de los cultivos lo hacen usando rotación y asociación, pero no barbecho (descanso), por la necesidad de producción intensiva para satisfacer sus necesidades. La presencia de leñosas en el huerto familiar fue poco frecuente, lo que baja la calificación de esta dimensión. Se observaron cultivos que mostraban algunas asociaciones interesantes como maíz con arroz, maíz con chamol y camote, cebollino con lechuga, y maíz con pimienta en desarrollo.

La dimensión de manejo y calidad del suelo obtuvo en promedio un 5.98; este aspecto es básico para una producción sostenible y es el que tiene el mayor peso ponderado de las dimensiones estudiadas, de modo que afecta fuertemente la calificación final. La mayoría de los dueños de los huertos familiares señaló en la entrevista que tiene erosión, y se observó en la visita a los HF poca erosión en las áreas planas de las fincas, pero se incrementa en las áreas con pendiente, por la alta precipitación en la zona y la escasa presencia de obras de retención del suelo, como zanjas, barreras vivas o muertas, etc. La mitad de los dueños de los huertos señaló que realiza prácticas de conservación del suelo, principalmente: eras en 90° con respecto a la pendiente, barreras de piedras, drenajes y represas con piedras. El suelo lo manejan al descubierto (en promedio casi 50% fue tierra desnuda) y casi todos los dueños de los huertos señalaron en la entrevista que no cubren el suelo, a excepción de cuando cortan el zacate y no lo recogen. Todos los dueños de los huertos familiares señalaron utilizar barreras vivas, pero en la observación se detectaron casi solo en cercas que son linderos de la finca. Sí se

observó, en estos casos, un uso importante del poró y el madero negro, que son leguminosas que ayudan en la fijación del nitrógeno.

La dimensión que sacó la calificación más baja fue manejo de plagas y enfermedades, con un promedio de 4.39. Esto es debido a que en los huertos familiares estudiados prácticamente no se tienen criterios para seleccionar plantas por su capacidad de resistencia a insectos o enfermedades, ni a variaciones del clima (sequías o inundaciones), sino que señalan los dueños de los HF en la entrevista que recurren a la prueba y error, o sea, se siembran las plantas que se logra conseguir y ven si se adapta y produce de forma adecuada. También señalan en la entrevista que el control de plagas y enfermedades lo realizan, en su mayoría, combinando sustancias orgánicas y químicas, y se observó que entre más área sembrada y más especializada la producción, mayor el uso de agroquímicos en la finca. En el Anexo 3 está el detalle de la calificación de las variables y el cálculo del puntaje del Índice de Prácticas Agroecológicas en los HF.

Cuadro 12. Calificaciones de las dimensiones y variables del Índice Prácticas Agroecológicas en huertos familiares de la Zona Norte Norte.

Identificación Huertos Familiares	Dimensión 1: Manejo y calidad suelo				Dimensión 2: Biodiversidad				Dimensión 3: Reciclaje de nutrientes			Dimensión 4: Manejo de plagas y enfermedades			Puntaje Índice prácticas agroecológicas*
	Cobertura suelo	Barreras vivas	Grado erosión	Promedio dimensión 1	Productos aprovechables	Asociación y rotación	Leñosas	Promedio dimensión 2	Abono orgánico	Materiales locales	Promedio dimensión 3	Plantas resistentes	Control orgánico	Promedio dimensión 4	
UP 1	9	9	9	9.00	10	10	10	10.00	8	7	7.50	3	8	5.50	8.55
UP 2	7	4	9	6.67	10	9	5	8.00	10	9	9.50	3	10	6.50	7.47
UP 3	3	6	5	4.67	6	3	4	4.33	5	7	6.00	3	6	4.50	4.74
UP 4	6	5	7	6.00	8	6	3	5.67	5	7	6.00	3	6	4.50	5.68
GU 1	3	8	8	6.33	10	7	10	9.00	7	7	7.00	3	6	4.50	6.96
GU 2	3	4	5	4.00	6	3	3	4.00	7	6	6.50	3	5	4.00	4.38
GU 3	4	4	7	5.00	6	3	5	4.67	4	8	6.00	5	5	5.00	5.05
GU 4	5	6	6	5.67	6	5	4	5.00	4	4	4.00	5	6	5.50	5.19
GU 5	5	6	6	5.67	8	3	8	6.33	8	5	6.50	3	3	3.00	5.59
CH 1	5	3	7	5.00	6	8	2	5.33	9	10	9.50	5	5	5.00	5.78
CH 2	8	10	7	8.33	10	6	10	8.67	10	9	9.50	3	6	4.50	8.03
CH 3	5	4	6	5.00	6	4	1	3.67	4	2	3.00	3	3	3.00	4.00
CH 4	7	2	7	5.33	8	2	2	4.00	6	8	7.00	3	3	3.00	4.83
CH 5	7	8	6	7.00	10	7	9	8.67	7	4	5.50	3	3	3.00	6.68
Promedios	5.50	5.64	6.79	5.98	7.86	5.43	5.43	6.24	6.71	6.64	6.68	3.43	5.36	4.39	5.92

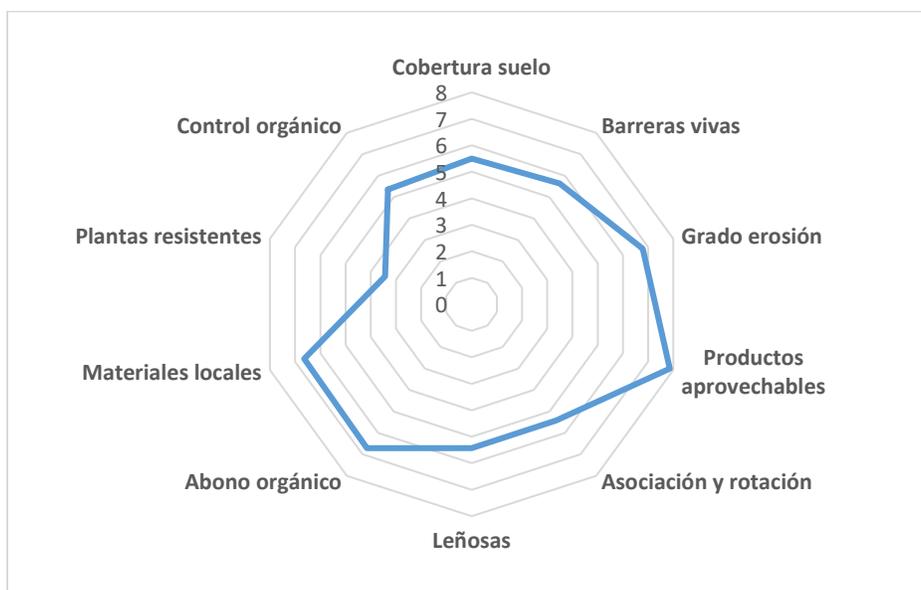
*Para el puntaje del índice de prácticas agroecológicas la calificación de cada dimensión se ponderó con un factor de importancia, la dimensión 1 por 0.4, la dimensión 2 por 0.3 y las dimensiones 3 y 4 por 0.15 cada una.

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2 Calificaciones de variables que miden las prácticas agroecológicas

En la Figura 11 están las calificaciones de las diez variables que miden las prácticas agroecológicas estudiadas en los 14 huertos familiares de la Zona Norte Norte. Ninguna variable sacó nota igual o mayor a 8. Las que sacaron calificación promedio entre 6 a 8 fueron: variedad de productos aprovechables (7.86), control erosión (6.79), elaboración y uso de abono orgánico (6.71) y uso materiales locales (6.64).

Las prácticas agroecológicas de los huertos estudiados cuya nota promedio estuvo entre 5 y 6 fueron: barreras vivas (5.64), cobertura del suelo (5.50), asociación y rotación de cultivos (5.43), presencia de leñosas (5.43) y control con medios biológicos (5.36). Solo la práctica agroecológica de seleccionar plantas resistentes a plagas y enfermedades sacó una calificación muy baja (3.43), pues la actitud reportada por los dueños de HF es traer plantas nuevas al sitio, sembrarlas y ver si funcionan.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Calificaciones promedio de las variables del Índice de prácticas agroecológicas en 14 huertos familiares de la Zona Norte Norte.

Al hacer un análisis de componentes principales sobre la diversidad de prácticas agroecológicas (Figura 12) vemos la distribución espacial de las dimensiones y variables con las que se construyó el índice de prácticas agroecológicas para los HF de la ZNN. La dimensión 4 fue la que menos contribuyó a explicar las distancias en diversidad encontradas, principalmente la variable plantas resistentes aporta muy poco. Mientras que las dimensiones biodiversidad y reciclaje de nutrientes, y las variables asociados a ellos explican en gran medida las semejanzas y diferencias encontradas.

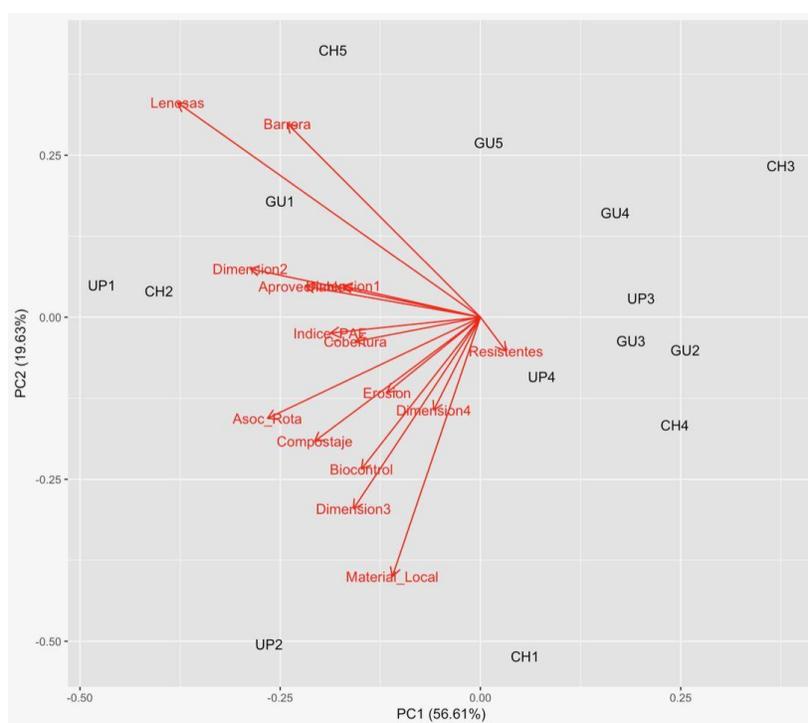


Figura 12. Análisis de componentes principales sobre la diversidad de las prácticas agroecológicas medidas en 14 huertos familiares de la Zona Norte Norte.

Las puntuaciones en el índice de prácticas agroecológicas de los huertos familiares, en este análisis de componentes principales, los distribuyen mostrando la proximidad en diversidad entre los HF UP1 y CH2, y la lejanía del grupo de los HF CH3, CH1, UP2 y CH5. También muestra un subgrupo cercano entre sí, formado por los HF UP3, GU3, GU2, GU4, UP4 y CH4.

5.3.3 Relación variedades de maíz y prácticas agroecológicas en HF

De acuerdo con la cantidad de variedades de maíz sembradas y los productos aprovechables en cada Huerto Familiar, y su relación con la calificación en el índice de prácticas agroecológicas (Cuadro 13), el HF identificado como UP1 siembra 6 variedades y su calificación en prácticas agroecológicas fue la más alta (8.55), pero con una cantidad intermedia de productos aprovechables (36). También el HF CH2 siembra 6 variedades, tiene la mayor cantidad de productos aprovechables (56) y su calificación fue 8.03.

Cuadro 13. Maíz, agrobiodiversidad y prácticas agroecológicas en huertos familiares de la Zona Norte Norte.

Id. HF	Variedades de maíz sembrados en cada HF	Cantidad variedades maíz sembrados	Productos aprovechables	Índice de Shanon	Puntuación prácticas agroecológicas	Puntuación práctic. agroec. sin produc. aprovech.
UP 1	maicena, enano amarillo, enano blanco, conga, maizón (híbrido) y pujagua.	6	36	2.77	8.55	8.55
UP 2	Blanco punta diamante, amarillo, pujagua, conga, redondo	5	43	1.59	7.47	7.17
UP 3	amarillo, blanco tuza morada, blanco diamante e híbrido elote	4	21	2.90	4.74	4.49
UP 4	amarillo, pujagua, blanco (híbrido) y maiceno.	4	29	1.92	5.68	5.33
GU 1	maicena, pujagua, híbrido elote, maizón, amarillo	5	40	2.47	6.96	6.81
GU 2	blanco, maicena, enano, híbrido elote	4	23	1.56	4.38	4.08
GU 3	maicena, híbrido elote	2	30	2.04	5.05	4.85
GU 4	amarillo enano, blanco maizón	2	26	1.58	5.19	5.04
GU5	Amarillo criollo, maizón, Maíz elote	3	55	2.59	5.59	5.34
CH 1	maicena, nutrigrano, blanco híbrido	3	29	1.84	5.78	5.68
CH 2	maizón, maicena, enano blanco, enano amarillo, pujagua, maíz dulce	6	56	3.10	8.03	7.83
CH 3	amarillo, maicena, blanco	3	23	1.70	4.00	3.65
CH 4	maicena, blanco, nutrigrano	3	43	1.84	4.83	4.23
CH 5	maíz dulce, maiceno, pujagua, congo, amarillo, maizón	6	55	2.78	6.68	6.48

Los huertos familiares que siembran menos variedades de maíz son GU 3 y GU 4, solo siembran 2 variedades, con 30 y 26 productos aprovechables y su calificación en las prácticas agroecológicas es de 5.05 y 5.19 respectivamente, pero no son las calificaciones más bajas. Los de menor calificación en prácticas agroecológicas son el CH 3 con 4.00 y la GU 2 con 4.38, que siembran 3 y 4 variedades de maíz y tienen de las cantidades más bajas de productos aprovechables, ambos 23.

Para determinar si hay relación entre las prácticas agroecológicas con el número de variedades de maíz sembradas y los productos aprovechables en cada HF, se reprocesó la puntuación del Índice de prácticas agroecológicas, para calcularlo sin la variable productos aprovechables (Cuadro 13) y se relacionó con el Índice de Shannon, que contiene las variedades de maíz y otros productos aprovechables como parte de la agrobiodiversidad en cada HF. La correlación de Pearson (Figura 13) dió un valor de 0.86, con una $R^2=0.74$, que muestra que hay una correlación importante entre los valores de estos dos aspectos de los HF, como se esperaba, por ser la biodiversidad un aspecto importante que guía las prácticas agroecológicas.

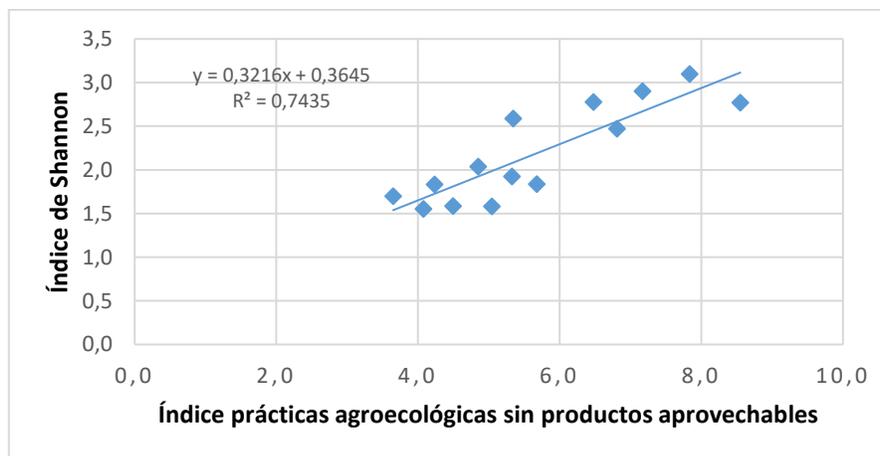


Figura 13. Relación entre la calificación de las prácticas agroecológicas (sin productos aprovechables) y la agrobiodiversidad medida con el Índice de Shannon en los huertos familiares estudiados en la Zona Norte Norte.

Un test de Mantel probando las matrices genéticas y de prácticas agroecológicas dió un r : 0.03 con una significancia de 0.5, con 999 permutaciones, por lo que se aprueba la hipótesis nula de ausencia de correlación, se concluye que no hay correlación entre las prácticas agroecológicas en los HF y la diversidad genética del maíz colectado.

5.4 Vulnerabilidad de los HF y conservación *in situ* del maíz

En esta sección veremos los resultados de la medición de los indicadores que contiene el índice de vulnerabilidad calculado para los huertos familiares de la Zona Norte Norte y lo que solicitan los dueños para mantener sus sistemas productivos.

5.4.1 Variabilidad climática y vulnerabilidad social en la ZNN

Al consultar a los dueños de HF de la ZNN sobre si percibían cambios en el clima, mencionaron: 85.7% que hay más calor, 64.3% menos lluvia y más plagas, 50% notan más días de sequía, 14.3% las lluvias son más inestables, 7.1% hay cambios en los árboles y otro 7.1% la tierra se calienta. Confirman la variabilidad ambiental que ya está afectando la zona.

Usando bases de datos del CATIE sobre indicadores climáticos, en específico para los tres cantones en estudio, se sacó temperatura y precipitación de los períodos 1979-1998 y la proyección 2030-2049, comparando estos dos períodos de 20 años cada uno (Cuadro 14). En los cantones en estudio se incrementará la temperatura de 2 a 2.14 °C, y las variaciones entre los promedios de las temperaturas mínimas y máximas se incrementarán en un 67%, aunque las variaciones entre las temperaturas mínimas y máximas será menor, entre 9.4 y 13.8%. El promedio mensual de la precipitación se reducirá muy poco entre los dos períodos, pero la variación de los promedios de precipitación mínimos y

máximos se incrementará en cerca de 15-16%, la variabilidad será mayor entre las precipitaciones mínimas y máximas, entre 44.7 y 55.8%.

Cuadro 14. Comparación de datos de temperatura y precipitación de los cantones de Upala, Los Chiles y Guatuso, entre los períodos 1979-1998 y 2030-2049.

Años	Temperatura (°C)			Precipitación (mm)		
	Upala	Los Chiles	Guatuso	Upala	Los Chiles	Guatuso
	Promedio mensual					
1979-1998	25.10	26.58	26.29	187.37	238.31	254.64
2030-2049	27.19	28.72	28.30	184.91	237.45	253.61
Diferencia	2.09	2.14	2.01	-2.45	-0.86	-1.04
	Diferencia promedio mínimos y máximos					
1979-1998	2.36	2.43	2.41	189.93	194.16	192.26
2030-2049	3.94	4.06	4.01	219.938	222.76	221.39
% variación	66.8	67.0	66.9	15.8	14.7	15.2
	Temperaturas mínimas			Precipitación mínima		
1979-1998	22.3	23.58	23.36	-120.80	-91.07	-83.72
2030-2049	22.67	24.29	24.07	-123.06	-94.54	-87.47
	Temperaturas máximas			Precipitación máxima		
1979-1998	30.39	31.53	31.16	592.90	616.26	630.00
2030-2049	31.88	32.99	32.71	988.77	929.10	979.33
	Diferencias mínimos y máximos					
1979-1998	8.09	7.95	7.8	713.7	707.33	713.72
2030-2049	9.21	8.70	8.64	1111.83	1023.64	1066.80
% variación	13.84	9.43	10.77	55.78	44.72	49.47

Fuente: Elaboración propia, con datos del Laboratorio de Modelado Climático del CATIE en <http://mesomapps.info/>

5.4.2 Índice de vulnerabilidad de HF

Los datos del CATIE muestran importante variabilidad de temperatura y precipitación entre el período 1979-1998 y la proyección 2030-2049. En el Cuadro 15 las variables utilizadas arrojan una exposición promedio de los HF de la ZNN de 6.7, la cual es alta. Las variables que tuvieron mayor peso son las relacionadas a la variabilidad en la precipitación promedio (7.1) y comparando mínimos y máximos (9.5) y pesó mucho menos la variabilidad en la temperatura promedio (5.2) y entre las mínimas y máximas (4.9).

Cuadro 15. Componentes, variables y calificaciones del índice de vulnerabilidad de los huertos familiares de la Zona Norte Norte.

Id HF	Intensidad variabilidad climática				Compo- nente Exposición	Depend. Produc.	Nivel socio- económico		Diversid. Y práct. Agroec.		Compo- nente Sensibi- lidad	Formación propietario		Continui- dad Fam.	Acceso agua	Apoyo Inst.	Compo- nente Capacidad Adaptac.	Puntuación Índice de Vulnerabi- lidad *
	Dife- rencia Temp.	% variación Precip.	% variación Temp. min. y max.	% variación Prec. min. y max.	Promedio	Satisfac. Neces. Aliment.	Ingre- so Famil.	Condi- ción Vivien- da	Ind. Shanon	Ind. Pract. Agrocol.	Promedio	Nivel Educ.	Acceso info.	Percep- ción Continui- dad	Satis- facción fuente agua	Satisf. Apoyo Inst.	Promedio	
UP 1	5	7,4	6	10	7,1	7	8	9	3	1,45	5,7	2	3	3	3	5	3,2	5,4
UP 2	5	7,4	6	10	7,1	5	4	7	7	2,53	5,1	5	3	9	7	4	5,6	4,9
UP 3	5	7,4	6	10	7,1	5	2	2	2	5,26	3,3	6	5	10	5	5	6,2	4,0
UP 4	5	7,4	6	10	7,1	5	3	4	4	4,32	4,1	6	3	9	4	5	5,4	4,5
GU 1	5	7,2	5	9,5	6,7	5	2	2	4	3,04	3,2	5	5	8	9	4	6,2	3,8
GU 2	5	7,2	5	9,5	6,7	5	4	3	7	5,62	4,9	4	3	7	7	3	4,8	4,7
GU 3	5	7,2	5	9,5	6,7	5	2	4	5	4,95	4,2	4	3	9	7	8	6,2	4,3
GU 4	5	7,2	5	9,5	6,7	7	4	4	7	4,81	5,4	4	9	7	3	8	6,2	4,8
GU 5	5	7,2	5	9,5	6,7	7	2	3	4	4,41	4,1	4	4	1	6	9	4,8	4,4
CH 1	5,5	6,8	4	9	6,3	5	3	2	6	4,22	4,0	7	9	10	7	7	8	3,9
CH 2	5,5	6,8	4	9	6,3	5	8	9	1	1,97	5,0	2	3	1	7	8	4,2	4,7
CH 3	5,5	6,8	4	9	6,3	7	5	6	7	6	6,2	2	4	9	7	5	5,4	5,1
CH 4	5,5	6,8	4	9	6,3	7	3	2	6	5,17	4,6	5	4	10	9	9	7,4	4,2
CH 5	5,5	6,8	4	9	6,3	7	7	7	3	3,32	5,5	5	4	9	9	8	7	4,6
Prom.	5,2	7,1	4,9	9,5	6,7	5,9	4,1	4,6	4,7	4,1	4,7	4,4	4,4	7,3	6,4	6,3	5,8	4,5

*Para el valor del índice de Vulnerabilidad (V) la calificación de cada componente se multiplicó por un factor de ponderación, los componentes Exposición (E) y Sensibilidad (S) por 0.45 y el componente Capacidad de Adaptación (C) por 0.1 y el cálculo es $V=(E+S)-C$.

Fuente: Elaboración propia.

Sobre la dimensión sensibilidad de los HF al cambio climático, se debe tomar en cuenta que si las variables de nivel de ingreso familiar, condiciones de la vivienda, biodiversidad y prácticas agroecológicas tienen calificaciones bajas, el efecto es que aumenta la sensibilidad, por lo que en el índice de vulnerabilidad se usó el valor inverso de las calificaciones obtenidas en estos indicadores. La dependencia de la familia a la producción en la finca y en el HF se suma a la sensibilidad en el tanto a mayor dependencia mayor el efecto en la familia si no logra los niveles de producción acostumbrados para satisfacer sus necesidades debido a la variabilidad climática.

El valor promedio de los puntajes de las variables sobre sensibilidad fue de 4.7. Los HF que tienen una sensibilidad mayor son CH 3 con 6.2, UP 1 con 5.7 y CH 5 con 5.5. Mucha de su sensibilidad se encuentra en bajas calificaciones en las condiciones socio-económicas de las familias. Los HF que muestran menor sensibilidad fueron GU 1 con 3.2 y UP 3 con 3.3, ambos con buenas calificaciones en las variables en las que los anteriores HF salieron mal. Las variables que en promedio más aportaron a aumentar la sensibilidad fueron las necesidades alimentarias de las familias cubiertas por HF y finca (5.9), la biodiversidad (4.7) y las condiciones de la vivienda (4.6). Las que menos aportaron a la sensibilidad fueron el ingreso familiar (4.1) y el índice de prácticas agroecológicas (4.1).

La capacidad de adaptación está ligada a las posibilidades de que el dueño del HF y su familia dispongan de información, apoyos y recursos indispensables que mantener niveles de producción aceptables, para sufrir lo menos posible los efectos de la variabilidad climática en la zona. La calificación promedio de la capacidad de adaptación fue de 5.8. Los HF que sacaron menor calificación en esta variable fueron el UP 1 con 3.2 y CH 2 con 4,4, pesó principalmente en la baja nota la falta de educación del dueño del HF y la percepción de que no ven posible que un familiar continúe con la finca en el futuro. Mientras que los HF con mejor calificación fueron CH 1 con 8.2 y CH 4 con 7.6, en ambos el apoyo

institucional y la seguridad de que su familia seguirá con la finca tienen un peso importante en la nota de capacidad de adaptación.

En la dimensión de capacidad de adaptación la variable que en promedio salió mejor calificada fue la continuidad de la familia en la finca (7.3), lo cual es esperanzador en términos de preservar la forma de vida campesina de las familias estudiadas. Un poco más abajo, están las calificaciones de las variables apoyo de instituciones con 6.7 y acceso al agua y satisfacción con su suministro (6.4). Las calificaciones más bajas las tuvieron las variables acceso a información sobre cambio climático y nivel educativo de los dueños de los HF, ambos con 4.4.

La puntuación ponderada final del Índice de Vulnerabilidad en promedio fue de 4.5, los HF tuvieron calificaciones entre 3.8 y 5.4, que indican una vulnerabilidad media. Los que sacaron mayor vulnerabilidad fueron los HF UP 1 (5.4) y CH 3 (5.1), mientras los que muestran los valores menores son los HF GU 1 (3.8) y CH 1 (3.9), los demás HF tienen calificaciones entre 4 y 5. En el Anexo 4 está el detalle de la calificación de las variables y el cálculo del puntaje en el índice de vulnerabilidad de los huertos familiares de la ZNN.

5.4.3 Apoyo para la sostenibilidad de los HF

En las entrevistas a los dueños de los HF, señalaron como principales problemas para la producción agropecuaria en sus fincas: falta de recursos económicos (acceso a créditos, costo de peones e insumos), pocas variedades aptas a los cambios en el clima, nuevas plagas, semilla comercial con mala germinación, intermediarios que ahogan al productor, no ven que haya una planificación agrícola de qué sembrar, dónde y cuándo en el país, daños ambientales en la zona por piñeras y cambio climático.

En entrevista con José Vallejos, funcionario del MAG en Upala, señala que impulsan el criterio de fincas integradas y sobre los huertos familiares, verifican

que ayudan con la seguridad alimentaria de la familia, pero reconoce que no tienen acciones directas para apoyar los huertos familiares y tienen problemas de recursos para motivar a que las fincas sean sostenibles y para fomentar la integración de la familia en la gestión de la finca.

Los dueños de los huertos familiares de la ZNN señalan como los principales apoyos que necesitan de parte de las instituciones, para la sostenibilidad de su sistema agroproductivo:

- Conocer, mejorar y aplicar políticas y reglamentos para: agilizar permisos para perforación pozos, financiamiento ágil y oportuno, hagan cumplir regulaciones y controlen la expansión piñera, apoyo para participar en compras del Estado, apoyo gubernamental al pequeño productor, apoyo en mercadeo de productos pequeño productor y subsidios para trabajar en la finca.
- Revaloración de la cultura campesina: para que la forma de vida campesina se conserve y valore.
- Investigación y extensión: experimentación de cara al futuro, más presencia del extensionista agrícola, mejor asesoramiento en la finca, apoyo para la planificación de la finca y la producción.
- Tecnología apropiada: acceso a ambientes protegidos y sistemas de riego, apoyo con semillas aptas para el clima, herramientas y materiales de trabajo, y tecnología apropiada para conservar semillas criollas.
- Capacitación agropecuaria: capacitación para enfrentar cambio climático, capacitación en el manejo de plagas y enfermedades.

Los dueños de los HF entrevistados se autodefinen como campesinos que desean seguir la forma de vida heredada de sus padres y 6 de los 14 ven al maíz dentro de su cultura, e ilustran el significado del maíz al decir que “es una semilla que nos da la vida desde las raíces”.

6. Discusión

6.1 Características de las familias dueñas de los huertos familiares

La relativamente reciente colonización campesina de los cantones de la ZNN, influye para que las familias de la zona, de manera general, no tengan un arraigo histórico. En la entrevista con los dueños de los HF, éstos en su mayoría señalan que llegaron con su familia de otras partes del país en busca de tierras. Actualmente, aún predomina la vida rural en los tres cantones, por lo que la dinámica social y económica es propia de las condiciones de la ruralidad (INDER, 2014). Las cabezas de las familias entrevistadas señalan que desean seguir su vida en el campo, en general les gustaría que sus hijos sigan sus pasos y continúen desarrollando la finca que ellos iniciaron.

La vida de estas familias está muy influenciada por el contexto donde viven. Los cambios en el modelo económico del país han afectado la actividad agropecuaria de la ZNN, donde por una parte se ha privilegiado un sistema agroexportador basado en monocultivos de grandes extensiones, y por otro se descuida el sistema productivo de autoabastecimiento y venta local, algo muy característico de la vida campesina. Existe una deuda con generar más oportunidades para las familias campesinas, pues a pesar de las potencialidades y riqueza natural de la ZNN, se registran índices bajos de desarrollo social, concentración de la actividad productiva y los servicios básicos en las cabeceras cantonales, que son fuente de inequidades sociales (Valverde & Acuña, 2011), rezago observado en las condiciones de vida y oportunidades de las familias de los 14 HF estudiados. Los grandes perdedores han sido las familias campesinas que mantienen un sistema productivo tradicional basado en granos básicos, tubérculos y ganadería.

En la ZNN hay fuerte presión de los grandes monocultivos por la tierra y brindan una oferta de trabajo limitada. Los dueños de los HF entrevistados señalaron que la expansión de la piña está limitando las posibilidades de alquilar terrenos para la

siembra de granos básicos y tubérculos, y si sus hijos no logran estudiar, la única fuente de trabajo serán las piñeras y como peón agrícola los salarios son bajos. Si logran prepararse deben ir a buscar trabajo lejos de sus lugares de residencia. El rezago en la ZNN no motiva a que las nuevas generaciones vean la vida campesina como una opción de vida y de trabajo, por lo que se dificulta el relevo generacional para sostener los agroecosistemas típicos de los HF. El Plan de Desarrollo Rural del Territorio ZNN plantea apoyo a la seguridad alimentaria y el uso ecosistémico de los recursos naturales (INDER, 2014), pero no contempla el agroecosistema del HF para un manejo más sistémico que promueva su biodiversidad, aproveche los servicios ambientales y sea base de la seguridad alimentaria campesina.

6.2 Sistema productivo y agrobiodiversidad de los HF de la ZNN

La ZNN se caracteriza físicamente por ser un lugar de tierras bajas y calientes, con una gran riqueza natural donde predomina el Bosque Húmedo Tropical. El agroecosistema denominado **huerto familiar** analizado en 14 sitios de la ZNN, se caracteriza por estar en los alrededores de la casa y porque gira entorno a las necesidades y gustos de la familia campesina propietaria, características reportadas también por otros autores, entre ellos Lok (1998) y Arrieta (2015). En los casos estudiados, son parte de fincas de pequeños y medianos productores de origen campesino, que se trasladaron a la zona hace dos décadas por la necesidad de tierra para cultivar.

La extensión promedio de los HF analizados fue de 0.9 hectáreas, lo cual es un poco grande, para lo encontrado por Pulido *et al.* (2008), en un estudio para América Latina donde el promedio de tamaño de los huertos familiares fue de entre 0.1 y 0.25 Ha. Esta diferencia en tamaño puede deberse a lo poco claro de los límites del HF que tienen sus dueños, característica que se notó en las entrevistas y que fue observado y reportado también por Lok (1998). Otra posibilidad es que los HF de este estudio son solamente rurales, zona donde las

familias disponen normalmente de mayor terreno que en zonas urbanas o semiurbanas (Lok, 1998).

El origen de las familias dueñas de los HF estudiados es de fuera de la ZNN, pero como la tenencia de la tierra en su mayoría es de hace décadas, han consolidado los elementos presentes en el sistema productivo, de tal forma que logran autoabastecerse en promedio el 50% de las necesidades alimentarias de la familia con la producción del HF y el resto de la finca, el resto de necesidades básicas las cubren con ingresos que provienen de la venta de productos de la finca. Huertos caseros del centro de Nicaragua producen casi 80% de las necesidades alimentarias de la familia (Arrieta, 2015), posiblemente su situación es más de subsistencia que los de la ZNN.

Los elementos que contienen los HF de la ZNN facilitan la vida de la familia campesina y atienden las necesidades básicas al proveer alimentos, medicina, leña y agua. Provee lo básico de la despensa a la cual tiene acceso la familia todo el año y es posible que, como se observó en otro estudio, es a la vez el recurso más cercano de las familias para sobrevivir ante el riesgo ambiental y los cambios del mercado (Mariaca, 2012). Para su buen funcionamiento requiere de la presencia constante de mano de obra, la cercanía a la vivienda lo facilita, incluso involucra a todos los miembros de la familia en el trabajo en el HF, es un lugar de encuentro familiar y trabajo conjunto (Arrieta, 2015; Lok, 1998). Además, los HF conservan una estrecha relación con el resto de la finca al intercambiar materiales y funciones. De las entrevistas se desprende que los dueños de los HF no toman en cuenta el paisaje en el diseño de los huertos para la ubicación de los elementos que lo componen, es una ausencia clave que limita la conectividad entre los sistemas productivos y los ecosistemas presentes alrededor de las fincas (Arrieta, 2015), y hacer un uso más eficiente de los recursos que se disponen en el HF y la finca.

Como se observó en el análisis del sistema HF típico de la ZNN, es una unidad productiva de uso intensivo, cambiante, de experimentación, con mucha diversidad de plantas y animales, que alberga varios subsistemas productivos que tienen importantes interacciones entre ellos. Es una herencia clave del saber agrícola tradicional y es clave en las estrategias de soberanía alimentaria (Altieri & Nicholls, 2012) además de ser un aporte valioso al desarrollo local (Pulido *et al.* 2008). Desde esta perspectiva el HF sostenible de la ZNN, tiene características en su composición que reflejan la cultura campesina de sus dueños y que contribuye a la seguridad alimentaria de las familias, lo que lo hace valioso en estrategias de desarrollo local sostenible si se apoya con políticas públicas.

La agrobiodiversidad de los HF de la ZNN se origina y se enriquece por el intercambio de semillas y plantas. En concordancia con otros estudios, los dueños de los HF fomentan la diversidad de las plantas en sus sitios, con lo que aumenta la resiliencia de sus sistemas agrícolas en condiciones climáticas y económicas cambiantes (Aguilar-Stoen, Moe, & Camargo-Ricalde, 2009). En HF de América Latina se encontró que contienen agrobiodiversidad, desde 27 hasta 405 especies (Pulido *et al.*, 2008). En el caso de los 14 HF de la ZNN se reportó de 22 a 56 productos aprovechables, con un índice de Shannon promedio de 2.19, que evidencia variedad de especies presentes en los HF estudiados. También Arrieta (2015), reporta en huertos caseros de Nicaragua, que contabilizó hasta 80 productos aprovechables y una alta agrobiodiversidad. En los HF de la ZNN se observa una importante riqueza de especies, pero con una media o baja diversidad, medido con el Índice de Shannon, debido en muchos casos a la dominante abundancia de pocas especies. Sin embargo, esta medición no analiza las relaciones que se dan entre las especies, lo cual debe profundizarse para entender mejor el agroecosistema huerto familiar (Arrieta, 2015; Griffon, 2008). El HF de la ZNN es un sistema productivo que mantiene la agrobiodiversidad y una alta intrerrelación entre sus componentes y subsistemas, como base de la producción agrícola que provee un importante porcentaje de sus necesidades alimentarias, inspirado en una cultura campesina de autoabastecimiento.

Es importante señalar que se observó la tendencia de los dueños de HF de irse especializando en el cultivo que mayor rentabilidad económica le proporciona, en la zona estudiada en este momento la pimienta tiene un buen precio en el mercado y las condiciones climáticas favorecen su producción. Conforme se va dando esta especialización y construyendo un monocultivo de pimienta, se van eliminando otros cultivos y otras variedades que eran importantes en la dieta familiar y que enriquecían la biodiversidad del sitio, esto lo hacen bajo la premisa de llegar a ser un productor exitoso, que va a colocar su producto en el mercado y obtener los ingresos económicos para satisfacer las necesidades de la familia. Los dueños de los HF presentan un promedio de edad alta (55.7 años) que les complica luchar contra los cambios marcados del entorno y las políticas nacionales que descuidan al campesinado, situación que se empeora por su baja escolaridad.

6.3 Caracterización genética de las poblaciones de maíz

En esta sección se analiza los resultados de los indicadores genéticos dentro y entre poblaciones de maíz estudiadas.

6.3.1 Riqueza alélica

Los marcadores moleculares SSR utilizados en este estudio mostraron ser altamente informativos con PIC que van de 0.61 a 0.88; el que reportó mayor información polimórfica fue el marcador bngl 1265. Jiménez (2014) señaló que los marcadores SSR que utilizó en su estudio, daban buena información reportando PIC entre 0.54 y 0.75. Por esta razón, los maradores SSR usados son recomendables para futuros estudios de caracterización genética del género *Zea*.

La caracterización genética con 6 marcadores SSR de las 95 accesiones de 14 variedades de maíz recolectadas en huertos familiares de la Zona Norte Norte y las 5 variedades comerciales de maíz, mostraron una cantidad importante de

alelos (55), con una cantidad promedio de 4.65 alelos por locus, alelos diferentes 3.50 y alelos efectivos 2.86. Esto muestra una importante riqueza alélica en las accesiones. Si se compara con estudios similares, como el trabajo de Terra *et al*, (2011), quienes analizaron cinco poblaciones de maíz con 25 loci de microsatélites, identificando 92 alelos, con una media de 3.7 alelos por locus. Jiménez (2014), utilizó 165 accesiones de razas criollas e indígenas de maíz de Colombia, usó 6 SSR polimórficos y encontró un promedio de 4.7 alelos. Ignjatovic-Micic *et al* (2015), del Instituto de Investigación del Maíz Zemun Polje del Este de los Balcanes, analizaron dos poblaciones agroecológicas de maíz (“fint” y “dent”) con 10 SSR y encontraron 56 y 63 alelos, respectivamente. Loáisiga (2011), con 240 accesiones de siete poblaciones de *Zea nicaraguensis*, usó once cebadores SSR y encontró 42 alelos, para un promedio de 3.8. Tanto la cantidad de alelos detectados y el promedio de alelos por locus es similar en estos estudios genéticos de *Zea* con lo encontrado en las accesiones estudiadas, lo que muestra la riqueza alélica del maíz cultivado en esta zona del país.

El análisis con 20 marcadores SSR de 220 muestras de maíz criollo de dos regiones de Costa Rica (Carvajal, Núñez, & Arrieta, 2016) arrojó 4 alelos únicos en las variedades de maíz de la Región Brunca y 10 para la Chorotega. El estudio de accesiones de maíz de la ZNN muestra similar riqueza alélica que la reportada para la Región Brunca, pero menor riqueza alélica que la encontrada en la Región Chorotega, donde a lo largo de la historia ha tenido una alta diversidad en el cultivo del maíz.

Además, es importante notar que en general las accesiones recolectadas en los HF (excepto UNA-1088), reportan mayor riqueza de alelos diferentes (N_a) y alelos efectivos (N_e), que las poblaciones comerciales estudiadas. Esta riqueza alélica podría ser valiosa como fuente de variabilidad genética (Ignjatovic-Micic *et al.*, 2015), conclusión a la que llegó también Reif *et al.* (2006), luego de emplear 25 marcadores SSR para estudiar 24 razas mexicanas de maíz, y reportar un alto número de alelos. Los polimorfos reportados en las accesiones estudiadas fue alto

(97.37±1.43%), en el estudio de Terra *et al* (2011), los polimorfos variaron entre 64% hasta el 80%. Al igual que el trabajo con 215 poblaciones de maíz criollo en Tamaulipas, México (Castro-Nava *et al.*, 2013), las poblaciones de maíz criollas fueron importantes como una fuente de variabilidad genética y recursos para la mejora del cultivo. Lo que es válido para los resultados con las accesiones estudiadas en la ZNN, señala la importancia de conservar este material fitogenético y de profundizar los estudios sobre sus características genéticas y agronómicas.

6.3.2 Diversidad genética

La diversidad genética encontrada en las accesiones de maíz estudiadas, medida por medio de la heterocigosidad, mostró en promedio una H_e de 0.601 ± 0.016 , mientras que la H_o fue de 0.245 ± 0.022 , lo cual es una baja diversidad genética observada frente a la esperada. En el estudio de Jiménez (2014), se reporta una H_o promedio de 0.509 ± 0.03 y H_e promedio de 0.567 ± 0.03 , y Loáisiga (2011), muestra una H_o con un promedio de 0.563. La baja H_o en las accesiones de la ZNN pudiera deberse a la relativamente reciente llegada de los pobladores y el traer variedades de maíz de diferentes procedencias que se han cruzado en la zona. En el trabajo con maíz criollo de las regiones Brunca y Chorotega, reportan una H_e de 0.84 (Carvajal *et al.*, 2016), una heterocigosidad mayor a lo encontrado en el maíz criollo de la ZNN, que muestra mayor diversidad genética en esas regiones.

En cuanto a la distancia genética de Nei se observó, en este estudio, que las accesiones de maíz criollo, comparadas entre ellas mismas, tienen un rango de 0.26 a 1.61, mientras que en las accesiones comerciales entre sí el rango fue entre 0.44 a 1.57, lo que implica que las primeras tienen mayor variación genética. Esto también lo observó Ignjatovic-Micic *et al.* (2015) entre los genotipos “flint” que presentaron valores (0.11-0.38) más amplios que los presentados por genotipos “dent” (0.22-0.33), y concluyó en que los “flint” mostraban mayor variación genética. En el estudio de Terra *et al.* (2011), se encontraron valores de

distancia genética de 0.24 (poblaciones de maíz Pampa y Suwan) hasta 0.78 (en teosintle), concluyendo que hay cercanía genética del maíz y el teosintle y que tenían poca variación en las frecuencias alélicas. La mayor variación genética presente en las accesiones recolectadas en los HF de la ZNN, que supera a la observada en las accesiones comerciales, muestran su potencial para el mejoramiento del cultivar.

Las semejanzas entre las variedades de maíz pueden comprenderse por una ascendencia común, por lo que las accesiones que caen en el mismo grupo del dendrograma tiene características compartidas, por eso tienen pocas diferencias en su estructura alélica, mientras que las más lejanas tienden a tener más particularidades (López & Pérez, 1999). Las accesiones que se ubican en el Grupo II (descrito en el análisis del dendrograma) tuvieron más cercanía, situación que se acentúa en los subgrupos, mientras que las accesiones del Grupo I están más lejos genéticamente por separarse tempranamente. La división de accesiones en dos grupos, observada en este estudio, puede obedecer a la separación entre poblaciones manejadas localmente y de mejoramiento, o sea, entre poblaciones criollas que han mantenido su identidad genética (en el dendrograma forman ramas tempranamente) y poblaciones que han pasado por procesos de selección e hibridación (de más reciente adquisición de características derivadas), a esta conclusión también se llegó en un estudio genético de poblaciones de papa en Colombia (Juyó, 2012).

Con respecto al análisis de componentes principales de la variabilidad genética en este estudio, dos componentes explican el 40.6% de la variabilidad y los tres primeros componentes explican el 55.6% de la variabilidad observada entre las poblaciones, mientras que en el trabajo de Ignjatovic-Micic *et al* (2015) los tres componentes principales representaron el 80.9% de la variación total, una mayor variabilidad explicada con menos componentes, lo que sugiere menor diversidad genética que las poblaciones estudiadas en la ZNN. La agrupación y clara separación de las variedades híbridas del CIMMYT (H1, H2, H3) del resto,

obtenida en el dendrograma y el análisis de componentes principales es un indicativo de que este resultado es robusto, como también concluye Bravo (2009).

El análisis AMOVA reveló que el 59% de la variabilidad observada en las accesiones de los HF y comerciales se da entre individuos y 27% a lo interno de los individuos estudiados, lo que señala que es muy poca la variabilidad entre poblaciones. Esto concuerda con lo reportado por Loáisiga (2011), en su estudio con maíz nicaragüense, el AMOVA determinó que la mayor parte de la variación estaba dentro de la población y también Terra *et al.* (2011), determinó que el 64.5% de la variación se da dentro de las poblaciones. Pero esto es contrario a lo encontrado en estudios más amplios, como el de Bedoya (2012), que empleó 28 marcadores tipo SSR para caracterizar maíz de Latinoamérica (131 poblaciones de 23 países) y determinó que existe una mayor diversidad genética interpoblaciones que intrapoblaciones. A nivel macro las diferencias ambientales y separación geográfica contribuyen en gran medida al patrón de la diversidad genética del maíz, pero a pequeña escala (Zona Norte Norte de Costa Rica) no opera, posiblemente por la similitud en el clima y el origen de las semillas que es muy diverso y distante de la zona, aspectos que juegan un papel determinante en el material genético resultante. Efectivamente los dueños de los HF al responder sobre el origen de las semillas de maíz, con frecuencia respondían que era de fuera de la zona (San José, Talamanca, Nicaragua), que un amigo de otra comunidad se la regaló y con pocas variedades (enano amarillo, enano blanco, congo) mantenían y utilizaban año con año su propia semilla. También el estudio con 18 variedades de maíz en Brasil, incluidas 5 variedades indígenas (Aparecido & Romero, 2000), mostraron una reducida variabilidad; el 83% de la variación estaba dentro de las poblaciones. Los autores atribuyen este efecto a una reciente fundación de la población o por lo pequeña de la muestra recogida, situación similar al estudio en HF de la ZNN del país.

Tampoco hubo relación entre la distancia geográfica y la distancia genética de las accesiones estudiadas, por lo que las poblaciones de maíz no son el resultado

del aislamiento geográfico, como también concluyó el estudio de Aparecido & Romero (2000). Asimismo, el estudio sobre la estructura genética del maíz criollo en las Regiones Chorotega y Brunca de Carvajal *et al.* (2016), se señaló que las poblaciones de maíz están poco diferenciadas entre sí, con el índice de fijación muy bajo ($F_{st}=0.07$), en el caso del maíz de la ZNN fue un poco mayor ($F_{st}=0.14$), pero implica también que hay poca variación entre accesiones. Este resultado se explicó, en ese estudio, por las prácticas y el manejo que los productores de maíz realizan, que se basa en el color del grano para separar las variedades; lo mismo ocurre con los HF estudiados en la ZNN, pero también su práctica de intercambiar y usar grano de diferentes procedencias influye en la baja diversidad genética encontrada.

También se observó que no todas las variedades de maíz que se siembran en los HF son criollas; las alternan o siembran a la vez con otras variedades conseguidas en el comercio. Por ejemplo, en un HF se siembra maiceno o maicena, es un maíz de grano pequeño especial para la alimentación de gallinas (autoconsumo), y a la vez pueden sembrar el híbrido para elote o el híbrido maizón, ambos con fines comerciales.

Bravo (2009) analizó con 10 marcadores SSR y cuatro características morfológicas, 24 accesiones de maíz morado procedentes de Ecuador y el CIMMYT y no encontró correlación entre agrupaciones morfológicas y moleculares, lo que refuerza que las variedades de maíz se establecen por el manejo del productor basado en características del grano, más que por otras diferencias que puedan presentar, como las genéticas.

Para que el maíz siga siendo un cultivo importante y alimento central en la dieta de los campesinos, deben explorarse diversas zonas del país y ampliar los bancos de germoplasma con que cuentan los centros agronómicos, con el fin de fomentar la conservación, manejo eficiente y su utilización en la adaptación del cultivo a la fuerte variabilidad climática que se está presentando en el país y en

Centroamérica (Breña, 2013). Aunque se estima que el 95% de las variedades cultivadas en sistemas orgánicos o de bajos insumos fueron criados para los sistemas convencionales de altos insumos (Boyhan & Stone 2016), también se puede trabajar un fitomejoramiento de cultivos de bajos insumos, como es característico de los huertos familiares. La mejora del patrimonio fitogenético (incluido el maíz) en sistemas orgánicos, incluye producir variedades con sus características de mejorar rendimiento, más eficiencia en el uso de nutrientes, resistencia a las enfermedades y resistencia a estrés abiótico (Boyhan & Stone, 2016). La variedad genética encontrada en las accesiones de los HF de la ZNN es un importante banco de alelos para la mejora del cultivo de maíz.

6.4 Prácticas agroecológicas en HF de la ZNN

Arrieta (2015) señala que el 85% de los huertos caseros que estudió en Nicaragua, carecen de prácticas agroecológicas fundamentales. En el caso de los HF de la ZNN se muestra que tienen un papel importante en el manejo de los sitios, aunque los utilizan con variada intensidad, por lo que el Índice de Prácticas Agroecológicas de los HF tuvo valores entre 4.0 y 8.5.

Montañez-Escalante *et al* (2014) encontraron que la resiliencia se ve mejorada con la implementación de prácticas agroecológicas en HF, como manejo de agua, conservación de suelos, diversificación de cultivos y fomentar biodiversidad. Por lo que se podría pensar que estos HF estudiados tienen algún grado de resiliencia por la implementación de prácticas agroecológicas, lo que es estratégico para enfrentar la variabilidad ambiental y garantizar la fuente de agua y alimentos para la familia. La resiliencia en los HF se debe profundizar en su estudio en esta zona del país.

Aunque en el análisis realizado ninguna dimensión del Índice de Prácticas Agroecológicas en promedio llegó a una calificación de 7, los valores obtenidos fueron medios y bajos, pero muestran los esfuerzos de los dueños de los HF en

cuidar los recursos naturales en el sistema agroproductivo. Aun así, estos resultados también evidencian la necesidad de mejora o intensificación en el uso de prácticas agroecológicas, para ayudar a fortalecer la sostenibilidad y resiliencia de los sitios. Molina-Murillo *et al* (2017) evaluaron la resiliencia de fincas agroecológicas del Valle Central de Costa Rica y encontraron que las prácticas agroecológicas que implementan también muestran valores medios y bajos. A nivel nacional el Índice de Prácticas Agropecuarias Sostenibles calculado para todas las fincas del Censo Agropecuario 2014, fue en promedio de 3.8, muy bajo, lo que refleja que la mayoría de las fincas del país presenta una situación desfavorable respecto de la incorporación de prácticas sostenibles (Programa Estado de la Nación en Desarrollo Sostenible, 2015). Como las prácticas agroecológicas inciden en la mejora de la resiliencia en los sistemas de producción agrícola, se vuelve necesario mejorar su difusión y aplicación para adaptarse a los cambios climáticos extremos.

Las prácticas agroecológicas mejor calificadas (de 6 a 8 puntos) en los HF de la ZNN fueron productos aprovechables, control de la erosión y la elaboración de abono orgánico con materiales de la misma finca. Mientras que las menos utilizadas son presencia de leñosas, cobertura del suelo y selección plantas resistentes a plagas y enfermedades. Esta última obtuvo la calificación más baja (3.43), originado en la cultura de los dueños de los HF de prueba y error, situación que también reporta Lok (1998). Aunque también debe reconocerse que esta última práctica aportó muy poco en la calificación obtenida por los HF, según el análisis de componentes principales de la variabilidad de prácticas agroecológicas. Esto remite a la necesidad de evaluar mejor cuáles son los indicadores de prácticas agroecológicas que son más significativos para continuar aplicándolos en evaluaciones de otros sistemas agroproductivos.

El alto puntaje en el indicador reciclaje de nutrientes es producto de que los huertos familiares en general preparan y usan abono orgánico con materiales que tienen en sus propias fincas (boñiga, restos de cosechas, carbón, poró, suelo

montaña y agua), y materiales que consiguen en el comercio (melaza, gallinaza, cascarilla de arroz, broza café y semolina). A pesar de que la mayoría de dueños de los HF reporta que usó abono orgánico, también emplean el abono químico en la fertilización del maíz y otros cultivos, lo cual sugiere que utilizan la composta por su aporte como mejorador del suelo y menos como aportador de nutrientes.

Se observó en los HF de la ZNN una importante variedad de tipos de maíz sembrados (14), y que con frecuencia se da la mezcla de cultivos de maíz criollo e híbridos comerciales en los HF. El origen de la semilla del maíz criollo tiene una amplia variedad de procedencias: de otras fincas, suministrados por extensionistas, comprados en el comercio local, de otros sitios del país (San José, Talamanca) e inclusive, traído de Nicaragua. Estos factores inducen a pensar que no todas las variedades de maíz encontradas en los HF de la ZNN tienen características propiamente autóctonas o criollas. Esto ayuda a explicar la baja diversidad en las accesiones recolectadas en los HF y la poca diferencia genética con las poblaciones comerciales encontradas en esta investigación.

La teoría señala que debe ser fuerte la relación entre las prácticas agroecológicas y la diversidad (productos aprovechables, incluido el maíz) en una finca, pues un principio fundamental de la agroecología es diversificar específica y genéticamente el agroecosistema en el tiempo y el espacio (Altieri & Nicholls, 2012). El cálculo de la correlación mostró una importante relación entre ambos factores en los HF estudiados. Esta relación se irá fortaleciendo conforme los HF desarrollen más sus prácticas agroecológicas y la agrobiodiversidad, que en este estudio se calificaron como intermedias.

Por otro lado, no se encontró evidencia para apoyar la hipótesis de una correlación entre las prácticas agroecológicas y la diversidad genética del maíz presente en los HF. La diversidad genética viene por otras vías que no pasan por las prácticas agroecológicas en los sitios, como la procedencia diversa de la semilla, el flujo de

material genético de otras zonas y la oferta de maíz comercial accesible para los productores.

6.5 Vulnerabilidad de los HF

Es claro que en la ZNN se prevé a mediano plazo un aumento de la temperatura media anual y fuerte variabilidad en la precipitación, que se podrá apreciar en el año 2030, por lo que urge que la población conozca y se adapte a esos cambios climáticos (Bouroncle et al., 2015). La tendencia en el clima de la ZNN en las siguientes dos décadas es el incremento de la temperatura, que excederá los 28°C, y aumento en lluvias intensas en períodos más cortos en algunos meses del año (lo que conlleva la posibilidad de inundaciones) y faltante de lluvia en otros, condiciones que favorecen la alta incidencia de plagas (insectos y hongos) (Arrieta, 2015). Además, los períodos de sequía también afectarían la producción si no se cuenta con fuentes de agua seguras y que cubran satisfactoriamente las necesidades de los productores (Arrieta, 2015). En el índice de vulnerabilidad para los HF de la ZNN la exposición es relativamente alta (en promedio 6.7), producto de variables que muestran fuerte incremento en la variabilidad de temperatura y precipitación, haciendo la oscilación entre valores mínimos y máximos más extrema.

El aumento en la temperatura es notorio en la ZNN y puede tener efectos directos en la producción de las fincas y HF; en particular se reporta para el maíz que cuando la temperatura máxima promedio del ciclo productivo es $> 34^{\circ}\text{C}$ durante 45 días o más, se reduce significativamente la fotosíntesis (Ruiz-Corral et al., 2011). Acercarse en el futuro a esta situación térmica en la ZNN podría significar la imposibilidad de tener rendimiento suficiente en la producción de maíz, lo que afectaría el consumo familiar y alimento de los animales, al forzar a las familias a comprar grano en el mercado, lo cual complicaría aún más su precaria situación económica, aumentando su vulnerabilidad y reduciendo las posibilidades de mantener el HF y la finca. Para contribuir a enfrentar este posible panorama futuro,

se vuelve relevante la estrategia de la adaptación basada en ecosistemas (AbE), donde el uso de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos del sitio y la zona, son claves para adaptarse a la variabilidad climática (Bouroncle *et al.*, 2015).

Los efectos en la agricultura de estos cantones, de una variabilidad climática más extrema, se agravan por sus características de bajos niveles de desarrollo humano y pobreza, con déficit en vivienda digna y servicios básicos (educación, salud, agua), vinculadas a su rezago social (Soto Zuñiga, 2013), situación que sufren las familias dueñas de los HF estudiados. De acuerdo con los patrones de vulnerabilidad al cambio climático en Costa Rica, se han identificado como de alto riesgo los cantones de Upala, Los Chiles y Guatuso (IMN-MIANET-PNUD, 2012). El rezago social en la ZNN aumenta el riesgo ante la variabilidad climática por limitar su capacidad de respuesta frente a los efectos de las altas temperaturas, las inundaciones o las sequías. En particular los HF estudiados mostraron en el índice de vulnerabilidad, una sensibilidad media (4.7), con limitaciones en los ingresos y las condiciones de la vivienda familiar, y en el HF, con las prácticas agroecológicas y la biodiversidad. Sería importante estudiar los HF de la ZNN luego del paso del huracán Otto, para analizar su resiliencia frente al impacto sufrido.

El Índice de vulnerabilidad de los 14 HF de la ZNN muestra alta exposición por la zona donde se ubican, mediana sensibilidad, pero una capacidad de adaptación (5.8) intermedia, lo que da como resultado una vulnerabilidad promedio de 4.5: implica que se limitan las posibilidades de continuar en el tiempo como forma de vida y sistema productivo, si no se mejoran las condiciones que los hacen sensibles y se aumenta su capacidad de respuesta ante los cambios climáticos. Sin embargo, la capacidad de la población rural de estos cantones para adaptarse, depende de su acceso a servicios básicos, acceso a información, recursos para la innovación y capacidad de mantener ecosistemas saludables, argumento con el que coincide Bouroncle *et al.* (2015).

Los tres cantones de la ZNN son muy vulnerables; la causa está ligada a la alta incidencia de la pobreza y un bajo Índice de Desarrollo Social, limitaciones para una vida saludable, con acceso a educación; así mismo, bajo poder adquisitivo y viviendas en condiciones inapropiadas, hacen que los 3 cantones estén dentro de los 15 cantones más vulnerables al cambio climático (Vignola *et al.*, 2014). También el huracán Otto del 2016, que entró a Costa Rica por este territorio, mostró el fuerte impacto que puede tener un evento hidrometeorológico intenso en un contexto de rezago social, debilidad institucional y uso del suelo y de sus recursos naturales sin control (Programa Estado de la Nación, 2017).

Los HF que son menos vulnerables UP 3 (3.8) y CH 1 (3.9) tienen calificaciones bajas de sensibilidad al contar con ingresos económicos que superan la línea de pobreza, condiciones de vivienda en buen estado e importante biodiversidad, así como calificaciones buenas en capacidad de adaptación basadas en el acceso a información, satisfacción con sus varias fuentes de agua y plena convicción de que su familia va a continuar en la finca y con el HF.

Los HF más vulnerables son el UP1 (5.4) y CH3 (5.1), son sensibles por el bajo ingreso familiar (pobreza extrema y vulnerable a la pobreza respectivamente) y las malas condiciones de la vivienda, aunque muestra fortaleza en la biodiversidad y prácticas agroecológicas el UP1 y deficiencia en estos dos aspectos el CH3. Y ambos HF salen con baja capacidad de adaptación por su muy bajo nivel educativo, poco acceso a información y poca satisfacción con el apoyo institucional recibido. El HF UP1, junto con el UP2 (vulnerabilidad 4.9) y CH2 (4,7), son de los que siembran más variedades de maíz (5 y 6 respectivamente), mientras que el CH3 solo siembra 3 variedades. Un hecho significativo es que los HF UP1 y CH2 tienen certeza de que ningún miembro de su familia continuará con el HF, mientras que los HF CH3 y UP2 sí tienen la esperanza de que su familia continúe con la finca. En general, a mejores ingresos y condiciones de vida aumenta la posibilidad de que los miembros de la familia continúen en el sitio. Las bajas posibilidades de continuar en el tiempo de los HF con más bajas condiciones

de vida, que a su vez son los que tienen mejor calificación en el índice de prácticas agroecológicas, son una potencial pérdida de biodiversidad general y en particular de germoplasma de maíz criollo en la zona.

El maíz es un recurso fitogenético muy importante y su diversidad requiere ser conservada para la mejora futura del cultivo. Su protección *in situ* es importante, pues tiene la ventaja de que al mantener los agricultores el cultivo de maíz en sus sistemas agrícolas facilita su adaptación a nuevas condiciones ambientales, lo que no sucede con la conservación *ex situ*. La conservación *in situ* se reconoce como un proceso dinámico, que se encuentra en las manos de los agricultores (Fernández-Granda *et al.*, 2010). Sin embargo, las condiciones de variabilidad climática y rezago social de las familias dueñas de los HF de la ZNN, dificultan las condiciones de seguir conservando las variedades de maíz y otros recursos fitogenéticos, pues varios HF tienen altas posibilidades de no continuar a mediano plazo y otros HF de reducir la productividad y poner en peligro la base real de sustento de sus familias, por lo que las ventajas de conservación *in situ* está en entre dicho si no reciben la ayuda necesaria, que debe iniciar por una actitud más proactiva de las instituciones para llegar a la población campesina y atender sus problemas más sentidos.

En el país existe un importante grupo de instituciones con capacidad para apoyar los HF y las fincas de los pequeños y medianos productores, que promulgan políticas y planes nacionales, pero la experiencia de los 14 HF estudiados, es que es muy poco el apoyo directo que les llega. Los principales problemas para la producción del HF están diluidos entre las prioridades institucionales y las políticas que dictan. El MAG señala que las acciones principales que realizan con los productores de la zona son: visitas a buenas experiencias, seguimiento y asistencia. Desde el MAG también fomentan las prácticas que mitiguen los efectos del cambio climático, dan recomendaciones al productor, por ejemplo, que tenga pasto de corta mejorado. Señala, además, que en la región hay un

encargado de pronósticos semanales que vienen del IMN, pero no hay difusión masiva de los informes.

La situación de los HF de la ZNN refleja el nivel de marginalidad en el que están sumergidas las familias dueñas y su forma de vida campesina, olvidados por el Estado y por el mercado. Superar esto requiere, entre otros apoyos, tener un sistema de innovación agropecuaria que integre la investigación con los servicios de extensión y fomente la modernización del sector agro-productivo nacional por medio de la generación, innovación, validación e investigación de tecnología en beneficio de la sociedad (Vignola *et al.*, 2014) y en particular atienda al campesinado y sus sistemas agroproductivos particulares (como los huertos familiares) para llevarlos a niveles elevados de productividad, sostenibilidad y resiliencia.

Para todos dueños de HF entrevistados el maíz es un alimento fundamental en la dieta familiar, señalan que es un alimento básico para sobrevivir tanto humanos como animales (grano y planta), se necesita tener en casa y conservar las semillas, es la alimentación principal que se consume de muchas formas, alimento variado (comidas y bebidas), es versátil y da posibilidad de ingresos. Esta visión de su vida ligada al campo y del cuidado de las semillas de maíz son características esenciales para ser custodios de materiales fitogenéticos en sus sitios, cuidándolos, sembrando y utilizando sus productos año tras año, con lo que garantizan una conservación *in situ* del maíz y otra variedad de productos presentes en el HF.

7 Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

7.1.1 Situación y caracterización huerto familiar en ZNN

Las familias dueñas de los HF estudiados son de origen campesino, pequeños y medianos productores, que se trasladaron relativamente hace poco tiempo a la ZNN para tener tierra, y que usan intensamente un área de casi una hectárea alrededor de la casa (el HF) con mano de obra familiar, implementando un sistema productivo agroforestal, cuya estructura y función se orienta a satisfacer las necesidades alimenticias básicas de la familia todo el año, además de recibir del HF servicios ecosistémicos y calidad de vida, por lo que son un elemento valioso para el desarrollo local y el bienestar de las familias campesinas. Los elementos presentes en el HF tienen una fuerte interacción con el resto de la finca, en muchos casos su dueño no diferencia entre el espacio del HF y la finca.

Los HF de la ZNN se caracterizan por tener una importante diversidad de cultivos (promedio 36.4 productos aprovechables), combinando en poco terreno plantas comestibles, medicinales, frutales, maderables y animales menores. La agrobiodiversidad en los HF es media y baja (promedio en el Índice de Shannon=2.2), por la abundancia dominante de pocas especies (principalmente granos básicos y tubérculos) y muy pocos individuos de especies medicinales y frutales. Conforme el campesino se especializa en un cultivo que le genera rentabilidad económica, tiende a hacer monocultivo en su terreno y deja de sembrar otras especies que antes usaba para el autoconsumo familiar, este cambio debilita la agrobiodiversidad en los HF y reduce la seguridad alimentaria de las familias.

La información recopilada de los 14 HF y el contexto rural de rezago social de la ZNN, sugiere que la Revolución Verde modificó los cultivos e insumos que utilizan

los campesinos en su sistema productivo, pero no desapareció esa forma de vida, aunque sí la marginó y la ha vinculado más a los vaivenes del mercado; al encarecer los insumos que necesita, deviene víctima de los intermediarios para vender su producción y del descuido de las políticas públicas. La llegada del sistema productivo agroexportador industrializado y las políticas neoliberales que lo promueven, ha terminado de excluir a estas familias, siendo marginadas por las políticas del Estado y minimizado las opciones que les da el mercado. El camino que les ofrece el sistema predominante es convertirse de campesino a productor, que le implica especializarse en un producto (pimienta en el caso de la zona estudiada) y jugar con las reglas del mercado para conseguir los ingresos que necesitan con el fin de proveerse las necesidades alimentarias (en vez de producirlas en su terreno y autoabastecerse), y hacerlo en clara desventaja por el nivel bajo de tecnología, educación e información que dispone el dueño del HF.

7.1.2 Poblaciones de maíz y caracterización genética

La caracterización genética de 14 accesiones de maíz recolectadas en los HF de la ZNN y 5 comerciales (95 individuos en total), usando 6 marcadores tipo microsatélites, arrojó 55 alelos con un promedio de 4.65 alelos por locus. Se evidencia importante riqueza alélica y polimorfismo, pero baja heterocigosidad ($H_e=0.6$ y $H_o=0.24$), comparada con la reportada por un estudio similar en la Región Chorotega y Región Brunca ($H_e=0.84$) del país.

La evidencia señala que hay poca diversidad interpoblacional (10%), la mayoría de la diversidad es entre individuos (59%) y dentro de las accesiones (27%), por lo que las poblaciones genéticamente no se diferencian mucho, tampoco hay relación entre la distancia genética y la distancia geográfica entre las accesiones de maíz colectado en los HF de la ZNN. Aspectos que sugieren que el material genético es producto de la procedencia de la semilla utilizada es muy variada, en gran medida de fuera de la zona, lo que posiblemente ha mezclado la genética de las poblaciones propiamente autóctonas o criollas con híbridos comerciales y con variedades de otras partes del país, incluso de Nicaragua.

La distancia genética de Nei y el análisis de componentes principales sobre variabilidad muestran que las accesiones de maíz colectado en los HF de la ZNN tienen una amplia diversidad genética y que presentan mayor variación genética que las comerciales. Además, ambos análisis muestran que las variedades más separadas y recientes genéticamente del conjunto de poblaciones estudiadas, son los híbridos del CIMMYT, identificados como CLTHW001 (H1), CLTHW007 (H2) y CLTHW002 (H3), este último el más alejado genéticamente del grupo.

También con la distancia genética de Nei, las variedades de maíz se pueden dividir en dos grandes grupos: Grupo I accesiones con características genéticas más antiguas y Grupo II accesiones con características genéticas más recientes, híbridos o productos del cruce con variedades foráneas, y más cercanos genéticamente a lo interno de los subgrupos que forman este Grupo II.

Los resultados obtenidos en el estudio de las accesiones de maíz criollo de la ZNN presentan una importante riqueza genética, motivada por un importante flujo genético en las poblaciones y por la diferenciación entre individuos dentro de las poblaciones.

La riqueza de alelos en las accesiones de maíz colectadas en los HF de la ZNN es importante como una fuente de variabilidad genética y recursos para la mejora del cultivo, por lo que las colecciones de maíces nativos y su estudio tienen un valor potencial para adaptar este cultivo a la variabilidad climática. Los HF son sistemas productivos bajos en insumos, por lo que el fitomejoramiento del maíz debe tener en cuenta este aspecto para producir variedades útiles en estos agrosistemas y que este grano siga siendo base en la forma de vida campesina.

7.1.3 Biodiversidad y prácticas agroecológicas en HF

En los huertos familiares estudiados de la ZNN se implementan las prácticas agroecológicas con variada intensidad (Índice Prácticas Agroecológicas entre 4 y 8.5), lo que muestra avances en el cuidado del ambiente, pero también evidencia la necesidad de mejora. Las prácticas mejor calificadas fueron variedad de productos aprovechables (7.9), control de erosión (6.8), elaboración de abono orgánico (6.7) y uso de materiales de la finca (6.6). Las de menor nota fueron barreras vivas (5.6), presencia de leñosas (5.4), rotación y asociación de cultivos (5.4), cobertura de suelo (5.5), control biológico de plagas y enfermedades (5.4) y selección de plantas resistentes a plagas y enfermedades (3.4). Indicadores como presencia de leñosas, uso de materiales locales, rotación y asociación de cultivos y abono orgánico tiene un peso importante en la calificación del índice de prácticas agroecológicas, otros como selección de plantas resistentes, control de erosión y cobertura aportaron muy poco.

Las prácticas agroecológicas son necesarias para la sostenibilidad de los sistemas productivos, por impulsar acciones para conservar el suelo, manejo de agua y fomentar biodiversidad (a nivel genético, de especies y de ecosistemas), por lo que es fundamental su mayor promoción de uso con los dueños de los HF y agricultores en general. Esto lograría disminuir la sensibilidad de los sitios ante los efectos negativos de la variabilidad climática y las inequidades sociales propias de la ZNN, aportando a la seguridad alimentaria de la familia campesina. Los HF deben visualizarse como agroecosistemas necesarios para la adaptación basada en ecosistemas, por los servicios y productos que brindan a la familia, incluso con una variabilidad climática mayor a la actual.

Los campesinos y productores están en capacidad para intensificar el uso de prácticas agroecológicas, pero requieren de un apoyo sostenido para ello. En particular, la práctica agroecológica de seleccionar plantas resistentes a plagas, enfermedades y estrés abiótico, que recibió la calificación más baja en el Índice de Prácticas Agroecológicas de los HF, requeriría, para su implementación, de una

importante capacitación y asesoramiento a los dueños de los huertos familiares, por parte de entes especializados. Para las siembras de maíz y otros cultivos, lo habitual es que el dueño del HF consigue semilla o plantas de diversas variedades sin conocer a fondo sus características, las siembran en su predio y evalúan su continuidad a partir de la producción lograda; esto, a corto plazo, puede tener resultados, pero a largo plazo, ante los efectos del cambio climático, puede no prepararlos adecuadamente con variedades adaptadas a la variabilidad climática extrema.

En los HF estudiados de la ZNN se siembra una importante variedad de tipos de maíz (14), incluyendo variedades criollas (ej: maiceno, pujagua y congo) e híbridos comerciales (maíz para elote, diamante, etc). Se confirmó la correlación entre la agrobiodiversidad (incluida las variedades de maíz), medida con el Índice de Shannon, y la calificación obtenida en las prácticas agroecológicas (sin incluir los productos aprovechables).

La hipótesis de correlación entre las prácticas agroecológicas y la diversidad genética de maíz en los HF se rechazó, pues no se encontró evidencia. La diversidad de maíz no se basa en las prácticas agroecológicas, sino en la procedencia diversa (comercio, otros lugares lejanos) de las semillas sembradas en los HF, práctica común de sus dueños.

7.1.4 Vulnerabilidad HF y conservación *in situ*

La exposición de los HF es alta (6.7) en los tres cantones de la ZNN, por su posición geográfica, influenciada por el Corredor Seco Centroamericano y condiciones climáticas caracterizadas por alta temperatura y lluvia, con variaciones extremas de la sequía a la inundación.

La sensibilidad de las familias y sus HF es media (4.7) por las condiciones socioeconómicas de rezago típicas de la zona y las limitaciones en las prácticas agroecológicas y biodiversidad presente en los HF. Esta sensibilidad sumada a la

exposición, genera un importante riesgo, que en parte es contrarrestado con la capacidad de adaptación (5.8), dando una vulnerabilidad media (4.5), pero importante, que cuestiona el mantenimiento en el tiempo de este tipo de agrosistema ligado a la cultura campesina de la zona.

Los HF GU1 y CH3 son de los más bioagrodiosos y de los que siembran más variedades de maíz; tienen mayor vulnerabilidad y, por lo tanto, menor posibilidad de continuar en el tiempo; se caracterizan por sus bajas condiciones socio-económicas, la convicción de que sus hijos no continuarán en la finca, muy bajo nivel educativo, poco acceso a información y poca satisfacción con el apoyo institucional recibido. Se señalan así los aspectos centrales que requieren ayuda para lograr que su forma de vida campesina y los HF ligados a ella continúen en el tiempo.

Los huertos familiares, son una forma muy eficiente de conservar las variedades de maíz *in situ*; sembrando, cosechando y utilizando el grano para sus necesidades familiares, año con año, lo someten a prácticas agrícolas y variaciones en el clima, que pueden generar cambios genéticos de adaptación que no se obtendrían con la conservación *ex situ*.

La pérdida de HF y la forma de vida campesina ligada a ellos, significa la pérdida potencial de biodiversidad general y en particular de germoplasma de maíz criollo en la ZNN, pues se pierden sitios para el manejo y conservación de la agrobiodiversidad asociada a los HF.

7.2 Recomendaciones

- Explorar otras zonas del país y ampliar el banco de poblaciones de maíz criollo con que cuenta la UNA y otros centros de investigación agronómica, para la conservación, manejo eficiente y su utilización en la adaptación del cultivar a la fuerte variabilidad climática, asimismo, combinar los estudios genéticos, morfológicos y agrológicos de las variedades de maíz criollo.

- La evaluación de las prácticas agroecológicas requiere también realizar una caracterización más detallada de ellas mismas, seleccionar las más útiles para la medición, e incluir rangos óptimos y metodologías utilizadas, tanto de las prácticas evaluadas en este estudio como de muchas otras que implementan los campesinos.
- En la medición de la biodiversidad es necesario incluir las relaciones entre los elementos presentes, que no visualiza el Índice de Shannon, para mejorar el conocimiento del agroecosistema y sus interacciones.
- Una extensión y capacitación más eficiente de las instituciones pasa por reforzar en las familias campesinas el uso de prácticas agroecológicas claves como de conservación de suelo, la rotación y el asocio de cultivos, la utilización de variedades resistentes a plagas, enfermedades y estrés abiótico, la selección y conservación de semillas, así como el diseño de los huertos. Esto ayudaría a reducir la sensibilidad y aumentar la capacidad de respuesta de las familias campesinas ante la variabilidad climática y rezago social de la ZNN.
- Estudiar los HF de la ZNN luego del paso del huracán Otto, sería valioso para analizar su resiliencia; el actual estudio puede ayudar a fijar una línea base para el análisis.

Bibliografía citada

- Aguilar-Stoen, M., Moe, S. R., & Camargo-Ricalde, S. L. (2009). Home gardens sustain crop diversity and improve farm resilience in Candelária Loxicha, Oaxaca, Mexico. *Human Ecology*, 37(1), 55–77.
- Altieri, M. (1991). ¿Por qué estudiar la agricultura tradicional? *Clades*, Número especial 1.
- Altieri, M. (1998). Agroecología: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável. Retrieved from <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=LIBROS.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expression=mfn=006674>
- Altieri, M. (2001). *Agroecología: principios y estrategias para diseñar una agricultura que conserva recursos naturales y asegura la soberanía alimentaria*. Berkeley, USA: Universidad de California.
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8(1), 7–20. Retrieved from <http://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2056/servlet/articulo?codigo=4536643&info=resumen&idioma=ENG>
- Altieri, M. & Nicholls, C. (2012). Agroecología: única esperanza para la soberanía alimenticia y la resiliencia socioecológica. *Agroecología*, 7(2), 65–83.
- Altieri, M. & Nicholls, C. (2010). Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. *Universidad de California*. Berkeley, USA.
- Alvarez, C., Olguín, C., Asiain, A., Alcántar, G., & Castillo, A. (2001). Biotechniques for Improvement of Home Gardens in Tropical Wet Lands, 19, 37–46.
- Aparecido, M., & Romero, C. (2000). Isoenzymatic variation in the germplasm of Brazilian races of maize (*Zea mays* L.). *Genetics and Molecular Biology*, 23(2), 375–380.
- Arias, L., Latournerie, L., Montiel, S., & Sauri, E. (2007). Cambios recientes en la diversidad de maíces crollos de Yucatán, México. *Universidad y Ciencia Del Trópico Húmedo*, 23(1), 69–74.
- Arrieta, S. (2015). *Prácticas agroecológicas para mejorar la producción y la seguridad alimentaria en huertos caseros en Nicaragua Central*. CATIE.
- Azofeifa-Delgado, A. (2006). Uso de marcadores moleculares en plantas; aplicaciones en frutales del trópico. *Agronomía Mesoamericana*, 17(2), 221–242.
- Bedoya, C. (2012). *Estudio de diversidad genética en poblaciones de maíz (Zea mays L.) evaluadas con microsátélites*. Universitat de les Illes Balears.
- Beovides, Y., Fregene, M., Alves, A., Gutiérrez, J. P., Buitrago, C., Marin, J. A., ... Toledo, H. (2006). Análisis de diversidad genética mediante microsátélites (SSR) en cultivares del germoplasma cubano de yuca. *Bioteχνología Vegetal*, 6(1), 9–14.
- BID, MINAE, SINAC, & DDC. (2015). *Estrategia y plan de acción para la adaptación del sector biodiversidad de Costa Rica al cambio climático (2015-2025)*. San José, Costa Rica.
- Bouroncle, C., Imbach, P., Läderach, P., Rodríguez, B., Medellín, C., & Fung, E. (2015). La agricultura de Costa Rica y el cambio climático: ¿Dónde están las prioridades para la adaptación? *CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS)*. Colombia: Programa de Investigación de CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10568/45941>

- Boyhan, G., & Stone, S. (2016). Breeding for organic and sustainable production. In K. Gopal (Ed.), *Organic Farming for Sustainable Agriculture* (pp. 123–168). Nashville, Tennessee, USA: Dilip Nandwani. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-26803-3>
- Bracco, M., Lia, V., Poggio, L., Hernández, J., & Gottlieb, A. (2013). Caracterización genética de razas de maíz autóctonas de Misiones, Argentina. *Revista Ciencia y Tecnología*, 15(20), 52–60.
- Bravo, A. L. (2009). *Caracterización morfológica y molecular de accesiones de maíz negro (Zea mays L.) mediante Análisis de Secuencias Simples Repetidas*. Universidad San Francisco de Quito.
- Breña, A. (2013). *Estructura genética espacial asociada a la selección en razas de maíz de México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Carvajal, S., Núñez, G., & Arrieta, G. (2016). Diversidad genética del maíz criollo de regiones Brunca y Chorotega, Costa Rica. In INTA & Sector Agroalimentario (Eds.), *LXI Reunión anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el mejoramiento de cultivos y animales. Resúmenes* (p. 67). San José, Costa Rica.
- Castro-Nava, S., Lopez, A., Pecina, J., Mendoza, C., & Reyes, C. (2013). Exploración de germoplasma nativo de maíz en el centro y sur de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(4), 645–653.
- CATIE. (2012). *Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica*. (G. Detiefsen & E. Somarriba, Eds.) (Centro Agr). Turrialba, Costa Rica.
- CCAFS, MAG, CAC, & CIAT. (2014). Estado del Arte en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria en Costa Rica. Palmira, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Díaz-Bautista, M., Herrera-Cabrera, B. E., Ramírez-Juárez, J., Aliphath-Fernández, M., & Delgado-Alvarado, A. (2008). Conocimiento campesino en la selección de variedades de haba (*Vicia faba L.*) en la Sierra Norte de Puebla México. *Interciencia*, 33(8), 610–615.
- Diniz-Filho, J. A. F., Soares, T. N., Lima, J. S., Dobrovolski, R., Landeiro, V. L., Telles, M. P. de C., ... Bini, L. M. (2013). Mantel test in population genetics. *Genetics and Molecular Biology*, 36(4), 475–485. <http://doi.org/10.1590/S1415-47572013000400002>
- Domínguez-Ríos, Víctor A. & López-Santillán, M. A. (2016). Teoría General de Sistemas, un enfoque práctico. *Tecnociencia Chihuahua*, 10(3), 125–132.
- Dwiyanti, S., & Yamada, T. (2013). Molecular Mapping and Breeding for Genes/QTLs Related to Climate Change. In *Genomics and Breeding for Climate-Resilient Crops: Vol. 1 Concepts and Strategies* (Vol. 1, pp. 179–212). <http://doi.org/10.1007/978-3-642-37045-8>
- FAO. (1996). *Informe sobre el Estado de los Recursos Fitogenéticos en el Mundo*. Roma.
- FAO. (2005). *Agricultura y diálogo de cultura: nuestro patrimonio común*. Roma.
- FAO. (2015). *Coping with climate change - The roles of genetic resources for food and agriculture*. <http://doi.org/10.1177/0267323110363652>
- FAO, & Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura. (2010). *El Segundo Informe sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura en el Mundo*. Roma.
- Fernández-Granda, L., Crossa, J., Fundora-Mayor, Z., Castiñeiras, L., Gálvez-Rodríguez, G., García-García, M., & Giraudy-Bueno, C. (2010). Identification and characterization of races of maize in traditional farming systems in two rural areas of

- Cuba. *Revista Biociencias*, 1(1), 4–18.
- Gámez Vázquez, A. J., de la O Olán, M., Santacruz Varela, A., & López Sánchez, H. (2014). Conservación in situ, manejo y aprovechamiento de maíz Palomero Toluqueño con productores custodios. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(8), 1519–1530. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000800015&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- González, C. F., León, M. E., Morillo, A. C., Ochoa, E., & Morillo, Y. (2016). Caracterización molecular de palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq., procedente de diferentes orígenes (Zaire y Camerún) usando marcadores microsatélites. *Acta Agronomica*, 65(3). <http://doi.org/10.15446/acag.v65n3.48413>
- Gonzalez, E. (2009). *Análisis de la diversidad genética en poblaciones naturales de especies vegetales amenzadas : Ilex perado ssp. lopezlilloi (Aquifoliaceae), Silene nocteolens (Caryophyllaceae) y Sorbus aria (Rosaceae). Resultados Preliminares.* Universidad de Las Palmas de Gran Canarias.
- Griffon, D. (2008). Estimación de la Biodiversidad En Agroecología. *Agroecología*, 3, 25–31.
- Gutiérrez, E. (2010). *Efectos de los aumentos de CO 2 y temperatura del aire y la disponibilidad de nitrógeno sobre el metabolismo del carbono y nitrógeno en plantas de trigo (Triticum aestivum L.)*. Universidad de Salamanca, España.
- Guzmán Casado, G., & Alonso Mielgo, M. (2008). *Buenas prácticas en reducción ecológica: asociaciones y rotaciones.* (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Ed.). Granada, España.
- Hammer, K., & Teklu, Y. (2008). Plant Genetic Resources : Selected Issues from Genetic Erosion to. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 109(1), 15–50.
- Huson, D. H., & Bryant, D. (2006). Application of phylogenetic networks in evolutionary studies. *Molecular Biology and Evolution*, 23(2), 254–267. <http://doi.org/10.1093/molbev/msj030>
- Ignjatovic-Micic, D., Ristic, D., Babic, V., Andjelkovic, V., & Vancetovic, J. (2015). A simple SSR analysis for genetic diversity estimation of maize landraces. *Genetika*, 47(1), 53–62. <http://doi.org/10.2298/GENSR1501053I>
- IICA, PDR, & UCR. (2007). *Los Chiles, Upala, Guatuso y La Cruz: dinámicas territoriales en la Zona Norte de Costa Rica.* San José, Costa Rica: IICA.
- IICA, & Red SICTA. (2014). *Cadenas de Valor de Maiz Blanco y Frijol en Centroamerica: actores, problemas y acciones para su competitividad.* San José, Costa Rica: Cooperación Suiza en América Central.
- Imeson, A., & Curts, M. (2004). La Erosión del Suelo. *Lucinda*, (1), 15.
- IMN-MIANET-PNUD. (2012). Informe final Mejoramiento de las capacidades nacionales para la evaluación de la vulnerabilidad y adaptación del sistema hidrico al cambio climático en Costa Rica, como mecanismo para disminuir el riesgo al cambio climático y aumentar el Índice de Desarr. San José, Costa Rica: Ministerio de Ambiente Energía y Telecomunicaciones. Programa de las Nacionales Unidas para el Desarrollo.
- INDER. (2014). *Informe de caracterización nástica del Territorio Guatuso-Upala-Los Chiles.* San Carlos, Costa Rica.
- INEC. (2012). *Censo 2011: características económicas. Inegi.* San José, Costa Rica: Instituto Nacional de Estadística Geografía, Área de Censos de Población y Vivienda.

- Retrieved from <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=8>
- INEC. (2013). *Costa Rica Mapas de Pobreza 2011*. San José, Costa Rica.
- Infante, F. (2013). Percepciones y estrategias de los campesinos del secano para mitigar el deterioro ambiental y los efectos del cambio climático en Chile 1, 8(1), 71–78.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos-Costa Rica. (2015). *VI Censo Nacional Agropecuario. Resultados generales*. (INC, Ed.) (1ra ed.). San José, Costa Rica.
- IPCC. (2001). *Cambio climático 2001: Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ed.) *Tercer informe de Evaluación*. OMM, PNUMA. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/impact-adaptation-vulnerability/impact-spm-ts-sp.pdf>
- Jiménez-Escobar, N. (2011). Huertos familiares en la bahía de Cispatá, Córdoba, Colombia. ..., 20(2), 309–328. Retrieved from http://ibone.unne.edu.ar/objetos/uploads/documentos/bonplandia/public/20_2/309_328.pdf
- Jiménez, J. (2014). *Caracterización de las razas criollas e indígenas de maíz Colombiano por medio de marcadores moleculares SSR*. Universidad Nacional de Colombia.
- Juyó, D. K. (2012). *Diversidad genética y estructura poblacional en genotipos diploides de papa. Vasa*. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from <http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>
- Kato, T., Mapes, C., Mera, M., Serratos, A., & Bye, R. (2009). *Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica*. (Universida). México D.F.
- Lia, V. (2004). *Diversidad genética y estructura poblacional en razas nativas de maíz (Zea mays ssp. mays) del Noroeste Argentino: presente y pasado del germoplasma autóctono*. Universidad de Buenos Aires. Argentina.
- Loáisiga, C. (2011). *Cytogenetics, genetic diversity and phylogenetics of wild Zea species*. Swedixh University of Agricultural Sciences.
- Lok, R. (1998). *Huertos caseros tradicionales de América Central: características, beneficios e importancia, desde un enfoque multidisciplinario*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- López, E., & Pérez, G. (1999). Métodos de análisis en la reconstrucción filogenética. *Biol. S.E.A.*, (26), 45–56.
- MAG, ONS, CONAREFI & FAO. (2008). *Segundo Informe Nacional sobre el Estado de los Recursos Fitogenéticos para la Agricultura y Alimentación, Costa Rica*. San José, Costa Rica.
- Mariaca, R. (2012). *La complejidad del huerto familiar maya del sureste de México. El huerto familiar del sureste de México*.
- Martínez, E., & Ureta, C. (2009). *Impactos, vulnerabilidad y adaptación de las razas mexicanas de maíz y sus ancestros ante escenarios de cambio climático. Informe Final*. México D.F.
- Matsuoka, Y., Vigouroux, Y., Goodman, M. M., G, J. S., Buckler, E., & Doebley, J. (2002). A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *PNAS*, 99(9), 6080–6084. Retrieved from www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.052125199
- Méndez, V., & Gliessman, S. (2002). Un enfoque interdisciplinario para la investigación en agroecología y desarrollo rural en el trópico latinoamericano. ... *Integrado de Plagas y Agroecología* ..., 5–16. Retrieved from http://agroeco.org/socla/wp-content/uploads/2013/11/un_enfoque_interdisciplinario.pdf

- MIDEPLAN. (2017). *Estadísticas Regionales 2010 - 2015*. San José, Costa Rica: Miinisterio de Planificación Nacional y Política Económica, Área Planificación Regional. Retrieved from https://documentos.mideplan.go.cr/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/15588f8a-da77-46ba-b0b9-b51f2c130b49/Costa_Rica_Estadisticas_Regionales_2010-2015.pdf?guest=true
- MINAE, & IMN. (2009). Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. San José, Costa Rica. Retrieved from <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/segundacomunicacion-nacional>
- MINAE, & SINAC. (2014). V Informe Nacional al Convenio sobre Diversidad Biológica, Costa Rica. San José, Costa Rica: GEF-PNUD.
- MINAET, IMN, & PNUD. (2012). *Riesgo futuro del sector hídrico de Costa Rica ante el cambio climático*. San José, Costa Rica.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería Costa Rica. (2007). Plan Estratégico de la Cadena Productiva de Maíz y Frijol. Período 2008 – 2010. San José, Costa Rica.
- Molina-Murillo, S. A., Barrientos, G., Bonilla, M., Garita, C., Jiménez, A., Madriz, M., ... Valdés, S. (2017). ¿Son las fincas agroecológicas resilientes? Algunos resultados utilizando la herramienta SHARP-FAO en Costa Rica. *Revista Ingeniería*, 27(2), 25–39. <http://doi.org/10.15517/RI.V27I2.27859>
- Montañez-Escalante, P. I., Ruenes-morales, M. R., Monserrat, M., & Héctor, F. (2014). Los huertos familiares Maya-Yucatecos : situación actual y perspectivas en México, 100–109.
- Morales-Yokobori, M. (2002). *Caracterización genotípica de plantas de maíz (Zea Mays L.) utilizando secuencias microsátélites distribuidas uniformemente sobre el genoma*. Universidad de Belgrano. Buenos Aires. Argentina.
- Mosquera-Sánchez, P., & et al. (1999). FOTOSÍNTESIS, RESPIRACIÓN Y FOTORRESPIRACIÓN EN HOJAS DE CAFÉ *Coffea* sp. *Cenicafé*, 50(3), 215–221.
- Muñozcano, M. (2011). *Diversidad genética del maíz, perspectivas para su conservación y desarrollo en una comunidad Mixteca de Oaxaca: Santa María Tataltepec*. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Texcoco, Edo. de México.
- Naciones Unidas. (1992). Convenio sobre la diversidad biológica. ONU. Retrieved from <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Olarte Suárez, D. (2013). La vulnerabilidad en Jalisco frente a la variabilidad climática. *Relacso*, (2), 17. Retrieved from <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/7293/1/RFLACSO-Re2-05-Olarte.pdf>
- Ordaz, J. L., Ramírez, D., Mora, J., Acosta, A., & Serna, B. (2010). *Costa Rica: efectos del cambio climático sobre la agricultura* (CEPAL). México, D.F.
- Ortiz, R. (2012). *El cambio climático y la producción agrícola* (BID). Retrieved from <http://www.iadb.org>
- Peakall, R., & Smouse, P. (2012). *GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Introduction to Population Genetic Analysis*. (A. N. University, Ed.). Sidney. Retrieved from <http://biology.anu.edu.au/GenAlEx/>
- Pérez, C. J. (2009). Barreras vivas para producción de granos básicos en zonas de laderas de América Central. In *Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas como una medida de adaptación al cambio climático en América Central* (pp. 69–85).

- Peréz, J., & Razz, R. (2009). La teoría general de los sistemas y su aplicación en el estudio de la seguridad agroalimentaria. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, 15, 486–498.
- Porebski, S., Bailey, L. G., & Baum, B. R. (1997). Modification of a CTAB DNA extraction protocol for plants containing high polysaccharide and polyphenol components. *Plant Molecular Biology Reporter*, 15(1), 8–15.
- Price, N. (1982). *The tropical mixed garden: an agroforestry component of the small farm*.
- Programa Estado de la Nación. (2011). El Desafío de Enfrentar el Cambio Climático. In *Cuarto Informe Estado de la Región en Desarrollo Humano Sostenible* (pp. 361–426). San José, Costa Rica: PEN.
- Programa Estado de la Nación. (2013). *Indicadores cantonales. Censos Nacionales de Población y Vivienda 2000 y 2011*. (PEN & INEC, Eds.). San José, Costa Rica.
- Programa Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible -Costa Rica. (2014). *Vigesimo primer Informe del Estado de la Nación. Capítulo Armonía con la naturaleza*. (21 ed.). San José, Costa Rica.
- Programa Estado de la Nación en Desarrollo Sostenible. (2015). Armonía con la Naturaleza. In *XXI Informe del Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible* (pp. 177–228). <http://doi.org/303.447.286.P964vp-21>
- Proyecto Estado de la Nación. (1998). Capítulo 7: Desafíos de la Región Huetar Norte. In P. E. de la Nación (Ed.), *Cuarto Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible, Costa Rica* (1era ed., pp. 245–295). San José, Costa Rica.
- Pulido Fernández, M., Lavado Contador, J. F., & Schnabel, S. (2011). Estimación de la cobertura del suelo para estudios de degradación. influencia de la escala espacial y la técnica de muestreo. *Nimbus*, 27–28, 169–181.
- Pulido, M. T. (1993). Plantas Útiles para consumo familiar en la Region de la Frontera Mexico-Belice. *Caribbean Journal of Sciences-Universidad de Puerto Rico*, 29(July), 235–249.
- Pulido, M. T., Pagaza-Calderón, E. M., Martínez-Ballesté, A., Maldonado-Almanza, B., Saynes, A., & Pacheco, R. M. (2008). Home gardens as an alternative for sustainability: Challenges and perspectives in Latin America. *Current Topics in Ethnobotany*, 661(2), 1–25.
- Quirós, E. (2014). *EL SECTOR AGROPECUARIO Y EL FENOMENO DEL NIÑO 2014* (SEPSA). Costa Rica: Mag.
- Reif, J. C., Warburton, M. L., Xia, X. C., Hoisington, D. A., Crossa, J., Taba, S., ... Melchinger, A. E. (2006). Grouping of accessions of Mexican races of maize revisited with SSR markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 113(2), 177–185. <http://doi.org/10.1007/s00122-006-0283-5>
- Rojas, W., Flores, J., & Pinto, M. (2014). Conservación in situ de la agrobiodiversidad: la experiencia de PROINPA en comunidades curcunlacustres al Lago Titicaca. In Fundación PROINPA (Ed.), *Memoria 2014 INIAF* (pp. 48–54). La Paz, Bolivia.
- Rosenfeld, V. (2011). Evaluación de sostenibilidad agroecológica de pequeños productores- Misiones, Argentina. In Universidad Nacional de Misiones (Ed.), *Informe de avance. Proyecto Políticas Económicas y Desarrollo Rural: en el territorio de la Provincia de Misiones*. (p. 162). Posadas, Argentina.
- Ruiz-Corral, J. A., Ramírez-Díaz, J. L., Hernández-Casillas, J. M., Aragón-Cuevas, F., Sánchez-González, J. de J., Ortega-Corona, A., ... Ramírez-Ojeda, G. (2011). Razas mexicanas de maíz como fuente de germoplasma para la adaptación al Cambio Climático. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (2), 365–379.

- Ruíz-Muller, M. (2006). *Conservación in situ de la agrobiodiversidad Andino-Amazónica. Zonas de agrobiodiversidad: alternativas para su regularización y categorización*. (Proyecto de Conservación in situ de los Cultivos Nativos y sus parientes silvestres., Ed.). Lima, Perú: Proyecto de Conservación in situ de los cultivos nativos y sus parientes silvestres.
- Salinas, M. (2015). *Determinar el nivel de vulnerabilidad y adaptabilidad climática de los sistemas de producción agroecológica y otros sistemas de producción de las familias de la parroquia San Joaquín en el cantón Cuenca, provincia del Azuay*. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
- Santilli, J. (2016). ¿Qué es agrobiodiversidad? *Unidades de Consevacao*. Retrieved from <http://uc.socioambiental.org/es/print/552324>
- Sarandón, S. J., & Flores, C. C. (2009). Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: Una propuesta metodológica. *Agroecología*, 4, 19–28. Retrieved from <http://revistas.um.es/agroecologia/article/view/117131>
- Sartori, M., Negri, M. E., Delucchi, C., Toledo, M., López, D., Lorea, R. D., & Díaz, A. (2014). *Caracterización mediante marcadores moleculares SSR de líneas de maíz pisingallo. Congreso Nacional de Maíz*. Rosario, Argentina.
- Scalone, M. (2015). Sistemas de producción Agropecuarios Sistemas Agrarios Regionales. In *El enfoque de sistemas* (pp. 1–21). Montivideo, Uruguay.
- Schlatter, A., Eyhéride, G., Presello, D., Alvarez, M., Ornella, L., & Iglesias, J. (1997). Marcadores Moleculares en Maíz. *Idia XXI*, 111–113.
- Schuelke, M. (2000). An economic method for the fluorescent labeling of PCR fragments A poor man ' s approach to genotyping for research and high-throughput diagnostics . *Nature Biotechnology*, 18(February), 233–234. <http://doi.org/10.1038/72708>
- Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria. (2008). *Plan Nacional de Alimentos Costa Rica: oportunidad para la agricultura nacional*. San José, Costa Rica.
- Soto, G., & Muñoz, C. (2002). Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en la agricultura orgánica. *Manejo Integrado de Plagas y Afroecología (Costa Rica)*, 65, 123–129.
- Soto Zuñiga, B. (2013). Informe Costa Rica. Las condiciones de sequía y estrategias de gestión en Costa Rica.
- Terra, T. de F., Wiethölter, P., Almeida, C. C. de S., Silva, S. D. dos A. e, Bered, F., Sereno, M. J. C. de M., & Barbosa Neto, J. F. (2011). Genetic variability in maize and teosinte populations estimated by microsatellites markers. *Ciência Rural*, 41(2), 205–211. <http://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000005>
- UNA, UCR, & TEC. (2014). *Proyecto: Huertos mixtos familiares como fuente de recursos fitogenéticos para contribuir a la seguridad alimentaria en la Región Huetar Norte de Costa Rica*. Heredia, Costa Rica.
- UNA, UCR, & TEC. (2015). Estudio y conservación de la diversidad genética del maíz criollo en dos regiones de Costa Rica. Informe final. San José, Costa Rica: Consejo Nacional de Rectores, Área de Investigación.
- Valverde, J., & Acuña, K. (2011). *Desarrollo local en la Región Huetar Norte Norte*. (CUDECA, Ed.). San José, Costa Rica: UNED.
- Vergara, W., Ríos, A., Trapido, P., & Malarín, H. (2014). *Agricultura y Clima Futuro en América Latina y el Caribe : Impactos Sistémicos y Posibles Respuestas*. Banco Interamericano de Desarroll.

- Vignola, R., Otárola, M., & Trevejo, L. (2014). *Integración de actividades y estudios de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. Informe final de consultoría*. (CATIE, Ed.). Costa Rica: IMN, GEF, MINAE, PNUD.
- Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., ... Umaña, A. M. (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de Biodiversidad*. (Programa de inventarios de biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Ed.) *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Bogotá, Colombia.

ANEXOS

ANEXO 1. Cuestionario para propietarios de los huertos familiares de la Zona Norte Norte

Información general H.F.

1.ID: _____

2.Nombre propietario: _____

3.Cantón: _____ 4.Distrito: _____ 5.Comunidad: _____

Dirección: _____

6.Teléfono casa: _____ 7.Celular: _____

Núcleo familiar:

8.Nombre	9.Parentesco	10.Edad	11.Nivel educativo	12. Trabaja en HF

Huerto Familiar y finca:

13.Distingue entre H.F y la finca? Si__ No__

14.Tamaño aproximado del H.F. _____ m2 _____ Ha

15.Tiene finca?Si__No__ 16.Tamaño de la finca _____ Ha. 17.El terreno es propio__ alquilad__
prestado__

18. Hace cuantos años tiene usted la finca? _____

19.¿Cuáles son los problemas principales que tiene para producir en su finca?

20.¿Usted se siente campesino?Si__No__ 21.Por qué? _____

22.¿Sus hijos están interesados en continuar el trabajo en la finca? Si__ No__ Por qué?

Trabajo.

23.Alguno de la familia necesita trabajar fuera de la finca para completar los ingresos? Si__ No__

24.¿Quién?_____ 25.¿Qué tipos de trabajo realizan? _____

26. Cree que en la zona donde viven hay posibilidades de conseguir trabajo? Si___ No___

27. ¿Qué tipo de trabajo encontraría? _____

28. ¿Han pensado en ir a vivir a otro lugar? Si__ No__

29. ¿Porqué motivo: trabajo__ educación__ otro _____

Productos del H.F.:

30. De todos los alimentos que consume su familia, ¿qué porcentaje le da la finca? Menos del 30%___ entre 30-60%___ de 60-80%__ 80-100%__

Productos	38.Autoconsumo	39.Vende	40.Origen de la semilla
31.Maíz			
32.Otros granos			
33.Tubérculos			
34.Frutales			
35.Medicinales			

36-Otros		
37.Animales		

41. De sus necesidades (familiares y animales) ¿qué % cubre su producción de maíz? Menos del 30%___ entre 30-60%___ de 60-80%___ 80-100%__

Relación con el maíz:

42.¿Qué significa el maíz para usted? _____

43.¿Selecciona la semilla que va a sembrar al siguiente año? No__ Si__

44.¿Cómo?_____

45.¿Cómo conserva la semilla de maíz para sembrar al siguiente año?

46.¿A tenido problemas al guardar la semilla? No__ Si__ 47.¿Cuáles? _____

48.¿Le han ofrecido semilla de maíz comercial para que cultive? Si__ No__ 49.¿Quién? _____

50.¿Ha sembrado maíz comercial? Si__ No__ 51.¿Seguirá sembrando? _____

Prácticas agroecológicas en H.F. (se observarán y medirán en el campo):

52.¿Realiza usted cobertura del suelo? Si__ No__ No sabe_____

53.¿Qué tipo de cobertura? Viva___ 54.cuáles plantas?_____

Muerta___ 55.¿cuáles materiales?_____

56.¿Usa barreras vivas? Si___ No___ 57.¿Dónde? Cercas___ Orilla ríos___ Al lado huerta ___

otro_____

58.¿Tiene problemas de erosión o pérdida de suelo? Poco___ Mucho___ No___ No sabe___

59.¿Hace algo para corregir la erosión? No___ Si___ 60.¿Qué hace? _____

61.¿Le interesa en su HF haya mucha diversidad de plantas? Si___ No___ 62.¿Por qué?

63.¿Cómo logra usted que su HF sea muy variado? _____

En la siembra en su HF utiliza la 64.asociación de cultivos___ 65.rotación de cultivos___

66.barbecho o descanso del suelo_____. 67.¿Porqué? _____

68.¿En su HF siembra árboles? No___ Si___ 69.¿Por qué los tiene allí? _____

70.¿Utiliza compost o abono orgánico en su HF? No___ Si___ 71.¿Por qué? _____

72.Si utiliza compost, usted mismo lo prepara___ lo compra___

73.Si usted mismo lo prepara, los materiales con los que hace el compost son de la finca___ (la mayoría___ o una parte___) o traídos de afuera___.

74.Los materiales de la finca utilizados son:

75. Materiales que compra o trae de afuera: _____

76.¿Cada cuánto y cómo utiliza el compost? _____

77.¿Utiliza abono químico? No___ Si___ 78.¿Cuáles? _____

79.¿Cada cuánto y cómo utiliza el abono químico? _____

80.¿Cómo hace frente a las plagas y enfermedades que aparecen en su HF? Usa solo productos naturales___ Usa productos químicos___ Utiliza ambos _____

81.Al traer plantas o semillas nuevas a su finca, ¿averigua primero si son resistentes a enfermedades y plagas? Si___ No___ 82.Por qué? _____

Sensibilidad al cambio climático:

83.¿De dónde toma el agua para regar su HF? Pozo___ cañería___ lluvia___ río___

otro_____

84.¿Tiene buen acceso y cantidad de agua para regar? Si___ No___ 85.¿Por qué? _____

86.¿Conoce sobre el cambio climático? No___ Si___ 87.¿Cómo se enteró?

88.¿A observado cambios en el comportamiento del clima? No___ Si___ 89.¿Cuáles? Lluve
menos___, llueve más___, más calor___, más días de sequía___ otro_____

90.¿Considera que recibe apoyo adecuado de las instituciones públicas para mantener la
productividad en su finca y HF? Si___ No___ 91.Por qué? _____

92.¿Recibe información periódica sobre el cambio climático y cómo enfrentarlo de parte de las
instituciones? Si___ No___ 93.Por qué? _____

94.Si cambia las condiciones climáticas, ¿prevé que podrá seguir produciendo? Si___ No___
95.¿Por qué?

96.¿Cuáles son los apoyos que usted y su familia necesitan para seguir produciendo?

97.Y en específico ¿qué apoyos necesita para lograr seguir conservando la semilla criolla de maíz y
seguirlo sembrando año con año? _____

Anexo 2. Información suministrada por los dueños de los huertos familiares de la ZNN.

Id. HF	Propietario	Prod. Principal HF	Ha. finca	Ha. HF	Edad propiet.	Escolaridad propiet.	Miemb. fam	Continuidad en finca	Años tenencia finca	Condición vivienda	Nivel ingreso fam	% necec. aliment	granos basic
UP 1	Andrea Chavala	granos básicos, pimienta, otros	2	1,5	58	sin educ	4	no, estudian se van	2	mala	pob. extrem.	60-80	8
UP 2	Felipa Palacios	granos básicos, tubérculos y frutales	18	2	60	escuela	8	si, por la región	35	mala	vulner. pob.	30-60	11
UP 3	Pedro Alvarez	pimienta	12	n.d.	69	escuela	8	si	47	buena	no pobre	30-60	7
UP 4	Jesús Murillo	cacao, hortalizas	12	0,5	45	escuela	8	si, produzcan tierra	38	regular	no pobre	30-60	6
GU 1	Hilario	pimienta y raices	7	0,5	69	escuela	7	si, aunque menos los nietos	30	buena	no pobre	30-60	8
GU 2	Rafael Vega	pimienta	5,5	n.d.	45	escuela	8	si, difícil	23	regular	vulner. pob.	30-60	5
GU 3	Angel Ugalde	cacao, tilapia	5	n.d.	53	escuela	3	si, no estudiaron	28	regular	no pobre	30-60	3
GU 4	Flor y Marciano	ganado lechero	8	n.d.	54	escuela	6	si, espero	30	regular	vulner. pob.	60-80	5
GU 5	Juan Jose	ganado	4,6	0,3	55	escuela	2	no, vive en ciudad	8	regular	no pobre	60-80	5
CH 1	Robert Alpizar	ganado	32	0,5	38	colegio	5	si, los involucro	24	buena	no pobre	30-60	6
CH 2	Diego Henriquez	granos básicos, tuberculos y frutales	3,5	1,5	62	sin educ	1	no, desinterés en parcela	25	mala	pob. extrem.	30-60	10
CH 3	Israel Lazo	platano, ganado	25	n.d.	75	sin educ	5	si, ya trabaja campo	33	regular	vulner. pob.	60-80	6
CH 4	Donald Quesada	ganado	13	0,25	40	escuela	3	si, los motivo a esta forma de vida	15	buena	no pobre	60-80	6
CH 5	Cecilia Reyes	granos básicos, tubérculos y frutales	5	1	57	escuela	6	si, les gusta	20	mala	pobre	60-80	11

Anexo 2 (continuación)

Id. HF	tubérculos	frutales	medicinal	otros cultivos	animales	Productos aprovechab.	Variedades maiz/HF	Conserva semillas	Uso materia finca en compost	Cobertura suelo	Cercas vivas	Grado erosión
UP 1	8	10	3	4	3	36	6	si	Usa poco	90 %	muchas cercas	inclinado, no se observa
UP 2	4	9	8	7	4	43	5	si	Usa materiales propios no intensivo	70 %	Solo cercas	plano, no se observa
UP 3	3	4	4	2	1	21	4	si	Usa poco	30 %	Cercas y río	zanjas pequeñas
UP 4	5	6	3	5	4	29	4	si	Usa poco	60 %	Cercas y río	leve erosión
GU 1	5	11	7	6	3	40	5	si	usa poco	30 %	muchas cercas	gabetas
GU 2	3	7	2	3	3	23	4	si	usa poco	30 %	Solo cercas	zanjas pequeñas
GU 3	3	9	9	3	3	30	2	si	usa materiales propios no intensivo	40 %	Solo cercas	leve erosión
GU 4	3	6	3	5	4	26	2	si	usa muy poco	50 %	Solo cercas	zanjas pequeñas
GU 5	4	27	8	8	3	55	3	si	poco	50%	alguns cercas	zanjas pequeñas
CH 1	5	9	5	0	4	29	3	si	uso intensivo	50 %	poco en cercas	leve erosión
CH 2	7	18	11	5	5	56	6	si	usa intesivamente	80 %	Cercas, rio y contorno	leve erosión
CH 3	4	5	3	4	1	23	3	si	no usa	50%	poco en cercas	zanjas pequeñas
CH 4	4	13	12	4	4	43	3	si	uso poco	70 %	muy poco en cercas	leve erosión
CH 5	4	13	20	4	3	55	6	si	poco	70%	muchas cercas	zanjas pequeñas

Anexo 2 (continuación)

Id. HF	Cultivos Asociacion, Rotación y Barbecho	Arboles maderables	Control plagas y enfermed.	Plantas resistentes	Cañería	Pozo	Río o naciente	Cosecha lluvia	Satisfacción fuente agua	Satisfacción apoyo Instituc.	Recibe informac. CC	Casa	Garaje	Taller	Bodega
UP 1	practica 3	si	Orgánico	no	no	si	no	no	no satisfac.	poco apoyo	No, ni mencionan tema	si	no	no	no
UP 2	practica 3	no	Orgánico	no	si	si	no	no	satisfecho	no, solo INA y poco	No, hace 2 años hablaron	si	si	no	no
UP 3	solo una	no	Ambos	no	no	no	si	no	satisfecho	no, pocas charlas	muy poco	si	no	si	si
UP 4	practica 2	no	Ambos	no	no	si	si	no	no satisfac.	no, pocas instit	no llega info	si	si	si	si
GU 1	practica 2	no	Ambos	no	si	si	no	no	satisfecho	no, solo reuniones	si, pero poca	si	no	si	no
GU 2	solo una	no	Químico	no	si	no	no	no	no satisfac.	no, no valoran productor	no, muy poco	si	no	si	si
GU 3	solo una	no	Químico	no	no	no	si	no	satisfecho	si, visitas MAG	no hablan de eso	si	si	no	si
GU 4	practica 2	no	Orgánico	si	no	si	no	no	inseguro	si, MAG ayuda	si, charlas y asesor	si	si	si	si
GU 5	solo uno	no	Químico	no	si	si	no	no	satisfecho	si, MAG e INDER	no, solo por tele	si	si	si	no
CH 1	practica 3	si	Ambos	no	si	no	si	no	satisfecho	si, hacen lo que pueden	si, talleres	si	si	si	si
CH 2	practica 2	si	Ambos	no	no	si	no	si	satisfecho	si, con capacitación	no	si	no	si	si
CH 3	solo uno	si	Químico	no	si	si	si	no	satisfecho	no, muy poca visita	no, solo por tele	si	si	no	si
CH 4	solo uno y poco	si	Químico	no	si	si	no	no	satisfecho	si, nos organizamos	no, charlas esporádicas	si	no	no	no
CH 5	practica 2	si	Ambos	no	si	si	no	si	satisfecho	no, sin asesoría si da insumos	no, charlas esporádicas	si	no	si	si

Anexo 2 (continuación)

Id. HF	Área semillas	Compostera	Huerta	Pozo agua	Camino interno	Laguna	Secador solar	Establo	Gallinero	Chanchera	Cercas vivas	Cocina de leña
UP si	si	si	si	si	no	no	no	si	si	si	si	si
UP 2	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si
UP 3	si	si	si	no	si	si	si	no	si	no	si	no
UP 4	si	si	si	si	si	si	no	no	si	si	si	no
GU si	si	si	si	si	si	no	no	si	si	no	si	si
GU 2	si	si	si	no	si	si	no	si	si	si	si	si
GU 3	si	si	no	no	si	si	si	no	si	si	si	no
GU 4	si	no	no	si	no	si	no	si	no	si	si	si
GU 5	no	si	si	si	si	si	no	si	si	si	si	si
CH si	si	si	si	no	si	no	no	si	si	si	si	no
CH 2	si	si	no	si	si	si	si	no	si	no	si	si
CH 3	no	no	no	no	si	si	no	no	no	no	si	si
CH 4	si	si	si	si	si	no	no	si	si	si	no	si
CH 5	no	si	si	si	no	no	no	si	si	si	si	si

Anexo 3. Cálculo del Índice de Prácticas Agroecológicas en los huertos familiares de ZNN

Id. HF	Cuidado del suelo				Erosión		Dimensión 1		
	Cobertura suelo		Barreras vivas		Grado de erosión		Manejo y calidad del suelo		
	Observación	Calificación	Observación	Calificación	Observación	Calificación	Promedio variables	Factor ponderación	Valor D1
UP 1	90 %	9	muchas cercas	9	inclinado, no se observa	9	9,00	0,4	3,60
UP 2	70 %	7	Solo cercas	4	plano, no se observa	9	6,67	0,4	2,67
UP 3	30 %	3	Cercas y río	6	zanjas pequeñas	5	4,67	0,4	1,87
UP 4	60 %	6	Cercas y río	5	leve erosión	7	6,00	0,4	2,40
GU 1	30 %	3	muchas cercas	8	gavetas	8	6,33	0,4	2,53
GU 2	30 %	3	Solo cercas	4	zanjas pequeñas	5	4,00	0,4	1,60
GU 3	40 %	4	Solo cercas	4	leve erosión	7	5,00	0,4	2,00
GU 4	50 %	5	Solo cercas	6	zanjas pequeñas	6	5,67	0,4	2,27
GU 5	50%	5	algunas cercas	6	zanjas pequeñas	6	5,67	0,4	2,27
CH 1	50 %	5	poco en cercas	3	leve erosión	7	5,00	0,4	2,00
CH 2	80 %	8	Cercas, río y contorno	10	leve erosión	7	8,33	0,4	3,33
CH 3	50%	5	poco en cercas	4	zanjas pequeñas	6	5,00	0,4	2,00
CH 4	70 %	7	muy poco en cercas	2	leve erosión	7	5,33	0,4	2,13
CH 5	70%	7	muchas cercas	8	zanjas pequeñas	6	7,00	0,4	2,80
Promedios		5,50		5,64		6,79	5,98		

Anexo 3 (continuación)

Id. HF	Manejo de cultivos				Leñosas		Dimensión 2		
	Productos aprovechables		Barbecho, asociación y rotación		Circunferencia Altura de Pecho (CAP)		Biodiversidad		
	Observación	Calificación	Observación	Calificación	Observación	Calificación	Promedio variables	Factor ponderación	Valor D2
UP 1	36	10	practica 3	10	903 cm	10	10,00	0,3	3,00
UP 2	43	10	practica 3	9	366 cm	5	8,00	0,3	2,40
UP 3	21	6	solo una	3	352 cm	4	4,33	0,3	1,30
UP 4	29	8	practica 2	6	322 cm	3	5,67	0,3	1,70
GU 1	40	10	practica 2	7	818 cm	9	9,00	0,3	2,70
GU 2	23	6	solo una	3	320 cm	3	4,00	0,3	1,20
GU 3	30	6	solo una	3	480 cm	5	4,67	0,3	1,40
GU 4	26	6	practica 2	5	360 cm	4	5,00	0,3	1,50
GU 5	55	8	solo uno	3	857 cm	8	6,33	0,3	1,90
CH 1	29	6	practica 3	8	213 cm	2	5,33	0,3	1,60
CH 2	56	10	practica 2	6	1808 cm	10	8,67	0,3	2,60
CH 3	23	6	solo uno	4	98 cm	1	3,67	0,3	1,10
CH 4	43	8	solo uno y poco	2	180 cm	2	4,00	0,3	1,20
CH 5	55	10	practica 2	7	964 cm	10	8,67	0,3	2,60
Promedios				5,43		5,43	6,24		

Anexo 3 (continuación)

Id. HF	Compost				Dimensión 3		
	Abono orgánico o químico		Materiales finca		Reciclaje de nutrientes		
	Observación	Calificación	Observación	Calificación	Promedio variables	Factor ponderación	Valor D3
UP 1	orgánico y químico	8	Usa poco	7	7,50	0,15	1,13
UP 2	certificada orgánica	10	Usa materiales propios no intensivo	9	9,50	0,15	1,43
UP 3	orgánico y químico	5	Usa poco	7	6,00	0,15	0,90
UP 4	orgánico y químico	5	Usa poco	7	6,00	0,15	0,90
GU 1	orgánico y químico	7	usa poco	7	7,00	0,15	1,05
GU 2	orgánico y químico	7	usa poco	6	6,50	0,15	0,98
GU 3	poco orgánico y químico	4	usa materiales propios no intensivo	8	6,00	0,15	0,90
GU 4	orgánico y químico	4	usa muy poco	4	4,00	0,15	0,60
GU 5	restos cocina, boñiga y lombricompost	8	poco	5	6,50	0,15	0,98
CH 1	constantemente	9	uso intensivo	10	9,50	0,15	1,43
CH 2	constantemente	10	usa intensivamente	9	9,50	0,15	1,43
CH 3	solo gallinaza	4	no usa	2	3,00	0,15	0,45
CH 4	solo boñiga	6	uso poco	8	7,00	0,15	1,05
CH 5	fermentos de frutas y monte	7	poco	4	5,50	0,15	0,83
Promedios		6,71		6,64	6,68		

Anexo 3 (continuación)

	Resistencia		Control plagas y enfermed.		Dimensión 4			Puntaje prácticas agroecológicas en HF
	Uso plantas resistentes a plagas y enfermedades		Control orgánico - químico		Manejo de plagas y enfermedades			
Id. HF	Observación	Calificación	Observación	Calificación	Promedio variables	Factor ponderación	Valor D4	
UP 1	No consulta, solo prueba	3	Productos orgánicos	8	5,50	0,15	0,83	8,55
UP 2	No consulta, solo prueba	3	Solo sustancias orgánicos	10	6,50	0,15	0,98	7,47
UP 3	No consulta, solo prueba	3	Ambos	6	4,50	0,15	0,68	4,74
UP 4	No consulta, solo prueba	3	Ambos	6	4,50	0,15	0,68	5,68
GU 1	No consulta, solo prueba	3	Ambos	6	4,50	0,15	0,68	6,96
GU 2	No consulta, solo prueba	3	Ambos	5	4,00	0,15	0,60	4,38
GU 3	Revisa no tenga plagas	5	Ambos	5	5,00	0,15	0,75	5,05
GU 4	Revisa no tenga plagas	5	Ambos	6	5,50	0,15	0,83	5,19
GU 5	No consulta, solo prueba	3	Químicos	3	3,00	0,15	0,45	5,59
CH 1	Consulta características planta	5	Ambos	5	5,00	0,15	0,75	5,78
CH 2	No consulta, solo prueba	3	Ambos	6	4,50	0,15	0,68	8,03
CH 3	No consulta, solo prueba	3	Químicos	3	3,00	0,15	0,45	4,00
CH 4	No consulta, solo prueba	3	Químicos	3	3,00	0,15	0,45	4,83
CH 5	No consulta, solo prueba	3	Químicos	3	3,00	0,15	0,45	6,68
Promedios		3,43		5,36	4,39			5,92

Anexo 4. Cálculo del Índice de Vulnerabilidad de los huertos familiares de la ZNN

Id. HF	Intensidad Cambio Climático								Componente 1		
	Diferencia temperatura		% variación precipitación		% variación temperatura mínimas y máximas		% variación precipitación mínimas y máximas		Exposición		
	Observación	Calificación	Observación	Calificación	Observación	Calificación	Observación	Calificación	Promedio variables	Factor ponderación	Puntaje exposición
UP 1	2,09	5	15,8	7,4	13,8	6	55,8	10	7,1	0,45	3,20
UP 2	2,09	5	15,8	7,4	13,8	6	55,8	10	7,1	0,45	3,20
UP 3	2,09	5	15,8	7,4	13,8	6	55,8	10	7,1	0,45	3,20
UP 4	2,09	5	15,8	7,4	13,8	6	55,8	10	7,1	0,45	3,20
GU 1	2,01	5	15,2	7,2	10,8	5	49,5	9,5	6,7	0,45	3,00
GU 2	2,01	5	15,2	7,2	10,8	5	49,5	9,5	6,7	0,45	3,00
GU 3	2,01	5	15,2	7,2	10,8	5	49,5	9,5	6,7	0,45	3,00
GU 4	2,01	5	15,2	7,2	10,8	5	49,5	9,5	6,7	0,45	3,00
GU 5	2,01	5	15,2	7,2	10,8	5	49,5	9,5	6,7	0,45	3,00
CH 1	2,14	5,5	14,7	6,8	9,4	4	44,7	9	6,3	0,45	2,85
CH 2	2,14	5,5	14,7	6,8	9,4	4	44,7	9	6,3	0,45	2,85
CH 3	2,14	5,5	14,7	6,8	9,4	4	44,7	9	6,3	0,45	2,85
CH 4	2,14	5,5	14,7	6,8	9,4	4	44,7	9	6,3	0,45	2,85
CH 5	2,14	5,5	14,7	6,8	9,4	4	44,7	9	6,3	0,45	2,85
Promedios		5,2		7,1		4,9		9,5	6,7		3,00

Anexo 4 (continuación)

Dependencia productos finca		Nivel socio-económico familia							Diversidad y práct. Agroecológicas					Componente 2		
% satisfacción necesidades alimenticias con productos finca		Nivel infreso familiar			Condiciones vivienda				Indice Shannon			Indice Practicas. Agroecológicas		Sensibilidad		
Id. HF	Observ.	Calific.	Observ.	Calific.	Valor inverso	Condición	Calific.	Valor inverso	Pun-taje	Calific.	Valor inverso	Calific.	Valor inverso	Promedio variables	Factor ponderación	Puntaje sensibilidad
UP 1	60-80	7	pob. extrem.	2	8	mala	1	9	2.77	7	3	8,55	1,45	5,7	0,45	2,56
UP 2	30-60	5	vulner. pob.	6	4	mala	3	7	1.59	3	7	7,47	2,53	5,1	0,45	2,30
UP 3	30-60	5	no pobre	8	2	buena	8	2	2.90	8	2	4,74	5,26	3,3	0,45	1,46
UP 4	30-60	5	no pobre	7	3	regular	6	4	1.92	4	4	5,68	4,32	4,1	0,45	1,83
GU 1	30-60	5	no pobre	8	2	buena	8	2	2.47	6	4	6,96	3,04	3,2	0,45	1,44
GU 2	30-60	5	vulner. pob.	6	4	regular	7	3	1.56	3	7	4,38	5,62	4,9	0,45	2,22
GU 3	30-60	5	no pobre	8	2	regular	6	4	2.04	5	5	5,05	4,95	4,2	0,45	1,89
GU 4	60-80	7	vulner. pob.	6	4	regular	6	4	1.58	3	7	5,19	4,81	5,4	0,45	2,41
GU 5	60-80	7	no pobre	8	2	regular	7	3	2.59	6	4	5,59	4,41	4,1	0,45	1,84
CH 1	30-60	5	no pobre	7	3	buena	8	2	1.84	4	6	5,78	4,22	4,0	0,45	1,82
CH 2	30-60	5	pob. extrem.	2	8	mala	1	9	3.10	9	1	8,03	1,97	5,0	0,45	2,25
CH 3	60-80	7	vulner. pob.	5	5	regular	4	6	1.70	3	7	4,00	6,00	6,2	0,45	2,79
CH 4	60-80	7	no pobre	7	3	buena	8	2	1.84	4	6	4,83	5,17	4,6	0,45	2,09
CH 5	60-80	7	pobre	3	7	mala	3	7	2.78	7	3	6,68	3,32	5,5	0,45	2,46
Promedios		5,86		5,93	4,07		5,43	4,57			4,71	5,92	4,08	4,7		

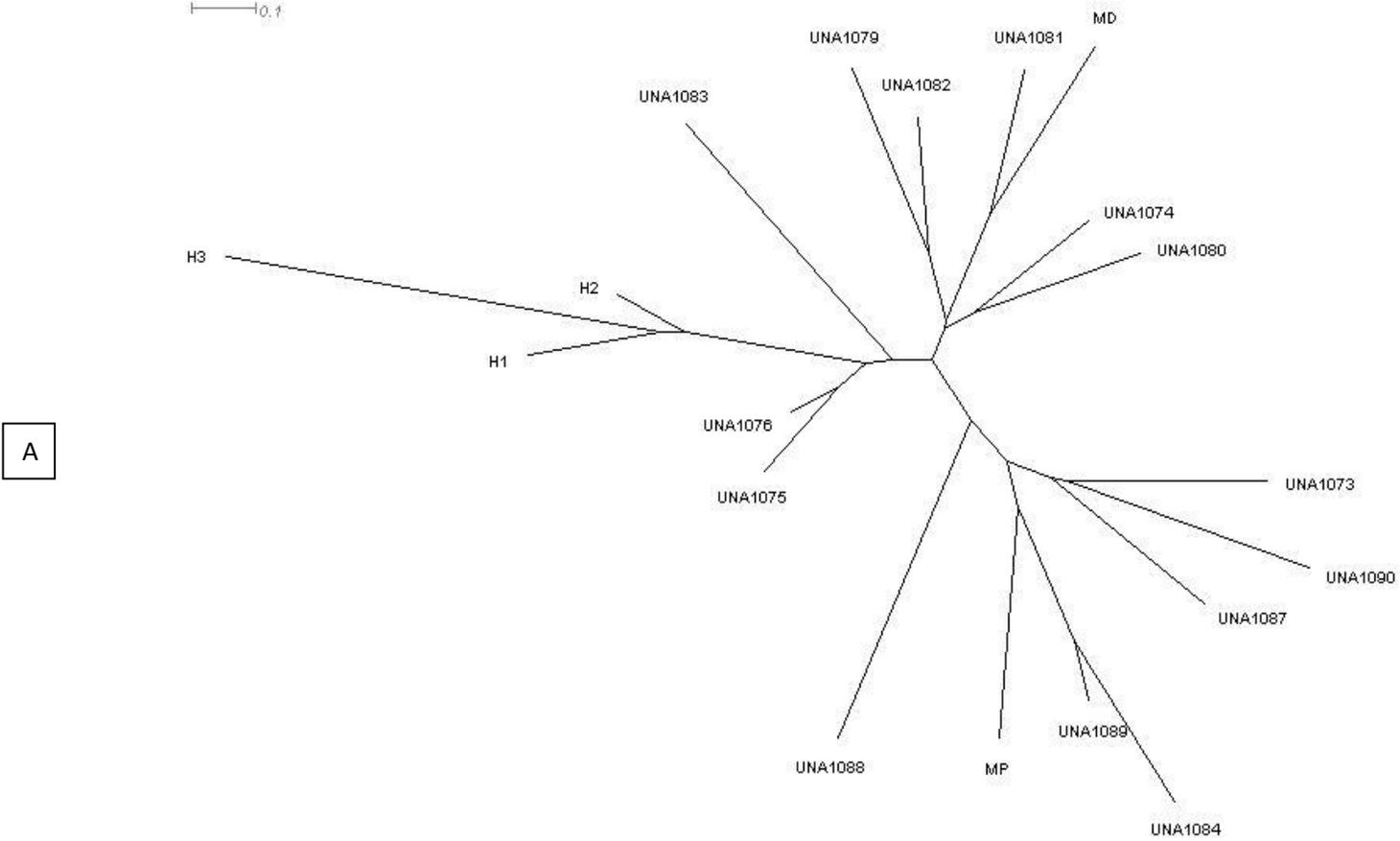
Anexo 4 (continuación)

Id. HF	Formación propietario				Continuidad familia		Acceso a agua		Apoyo instituciones		Componente 3			Puntaje vulnerabilidad HF
	Nivel educativo		Acceso información Cambio Climático		Percepción continuidad		Cantidad fuentes de agua y satisfac.		Satisfacción apoyo institucional		Capacidad adaptación			
	Observ.	Calific.	Observ.	Calific.	Observ.	Calific.	Observ.	Calific.	Observ.	Calific.	Promedio variables	Factor ponderación	Valor capacidad adaptación	
UP 1	sin educ	2	no ni mencionan tema	3	no, estudian se van	3	1, no satisfac	3	poco apoyo	5	3,2	0,1	0,32	5,44
UP 2	escuela	5	no hace 2 años hablaron	3	si, por la región	9	1, satisfecho	7	no, solo INA y poco	4	5,6	0,1	0,56	4,93
UP 3	escuela	6	muy poco	5	si	10	1, satisfecho	5	no, pocas charlas	5	6,2	0,1	0,62	4,04
UP 4	escuela	6	no, no llega info	3	si, produzcan tierra	9	2, no satisf.	4	no, pocas instituc.	5	5,4	0,1	0,54	4,48
GU 1	escuela	5	si, pero poca	5	si, aunque menos los nietos	8	3, satisfecho	9	no, solo reuniones	4	6,2	0,1	0,62	3,83
GU 2	escuela	4	no, muy poco	3	si, difícil	7	2, no satisfec.	7	no valoran productor	3	4,8	0,1	0,48	4,74
GU 3	escuela	4	no, no haban de eso	3	si, no estudiaron	9	1, satisfecho	7	si, visitas MAG	8	6,2	0,1	0,62	4,27
GU 4	escuela	4	si, charlas y asesor	9	si, espero	7	1, inseguro	3	si, MAG ayuda	8	6,2	0,1	0,62	4,80
GU 5	escuela	4	no, solo por tele	4	no, vive en ciudad	1	1, satisfecho	6	si, MAG e INDER	9	4,8	0,1	0,48	4,36
CH 1	colegio	7	si, talleres	9	si, los involucro	10	2, satisfecho	7	si, hacen lo que pueden	7	8,0	0,1	0,80	3,87
CH 2	sin educ	2	no	3	no, desinterés en parcela	1	2, satisfecho	7	si, con capacitación	8	4,2	0,1	0,42	4,67
CH 3	sin educ	2	no, solo por tele	4	si, ya trabaja campo	9	2, satisfecho	7	no, muy poca visita	5	5,4	0,1	0,54	5,10
CH 4	escuela	5	no, charlas esporádicas	4	si, motivar a esta vida	10	3, satisfecho	9	si, nos organizamos	9	7,4	0,1	0,74	4,19
CH 5	escuela	5	no, charlas esporádicas	4	si, les gusta	9	3, satisfecho	9	no, sin asesoría	8	7,0	0,1	0,70	4,61
Promedios		4,36		4,43		7,29		6,43		6,29	5,8			4,52

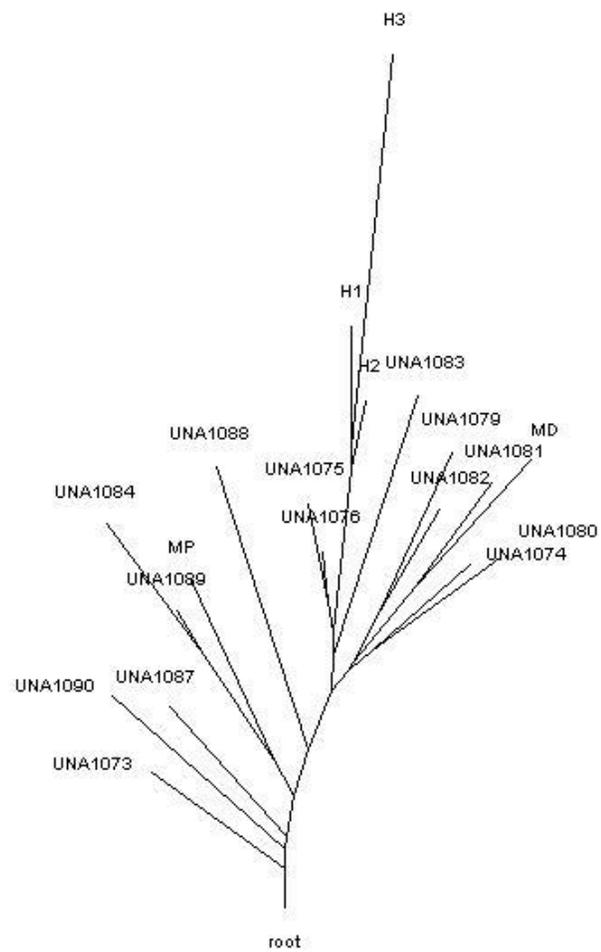
Anexo 5. Emparejamiento de poblaciones de maíz, 14 criollas de los huertos familiares de la ZNN y 5 comerciales, en la matriz de distancia genética de Nei.

1073	1074	1075	1076	1079	1080	1081	1082	1083	1084	1087	1088	1089	1090	H1	H2	H3	MD	MP	
0.000																			1073
0.877	0.000																		1074
0.876	0.542	0.000																	1075
0.634	0.457	0.259	0.000																1076
0.750	0.804	0.817	0.666	0.000															1079
1.036	0.499	0.671	0.607	0.671	0.000														1080
1.262	0.667	0.579	0.431	0.483	0.450	0.000													1081
0.875	0.553	0.754	0.512	0.503	0.699	0.662	0.000												1082
0.926	0.862	0.824	0.707	0.860	1.024	0.914	0.711	0.000											1083
1.192	0.664	1.413	1.229	1.148	1.197	1.099	1.198	1.044	0.000										1084
0.663	0.522	1.473	1.099	0.983	1.104	1.519	0.996	0.772	0.794	0.000									1087
1.365	0.949	1.065	1.048	1.201	0.774	1.033	0.993	1.294	0.925	1.093	0.000								1088
0.621	0.903	1.002	1.062	0.903	1.608	1.308	1.216	0.827	0.378	0.633	0.877	0.000							1089
0.712	0.968	0.985	1.231	0.881	1.440	1.540	0.934	1.443	1.129	0.703	0.945	0.654	0.000						1090
1.293	0.965	0.695	0.761	0.875	0.737	0.832	1.155	1.122	2.145	1.307	0.886	1.398	1.843	0.000					H1
0.669	0.631	0.538	0.537	1.537	1.010	1.370	1.032	1.000	1.625	0.843	1.098	1.155	0.886	0.436	0.000				H2
1.872	1.289	1.184	1.369	2.458	2.052	1.612	1.434	1.020	1.142	1.370	1.939	1.004	1.596	0.898	0.774	0.000			H3
1.262	0.846	1.088	0.739	0.847	0.976	0.516	1.150	1.352	1.216	0.916	1.172	1.041	1.137	0.510	0.699	1.451	0.000		MD
1.124	1.511	0.833	0.997	0.829	1.005	1.160	1.015	0.892	0.925	0.883	0.964	0.574	0.751	1.263	0.912	1.574	0.809	0.000	MP

Anexo 6. Visualizaciones alternativas del dendrograma filogenético de las variedades de maíz estudiadas



0.1



B